

EXPECTATIVAS DEL SECTOR DE LA BIOENERGÍA EN CASTILLA Y LEÓN

DOCUMENTO TÉCNICO

AUTORES

DIRECTORES

D. José Ignacio Sánchez-Macías
*Profesor Titular del Departamento de Economía Aplicada
de la Universidad de Salamanca*

D. Fernando Rodríguez López
*Profesor Titular del Departamento de Economía Aplicada
de la Universidad de Salamanca*

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

D. José Ignacio Sánchez-Macías
D. Fernando Rodríguez López
D. Javier Díaz Rincón

Las opiniones expresadas en el documento técnico corresponden a sus autores y su publicación no significa que el Consejo Económico y Social se identifique necesariamente con las mismas

PARTE II
DOCUMENTO TÉCNICO

EXPECTATIVAS DEL SECTOR DE LA BIOENERGÍA
EN CASTILLA Y LEÓN

1. INTRODUCCIÓN	63
1.1 El contexto	65
1.2 Resumen ejecutivo	69
1.2.1 Fuentes primarias de producción de bioenergía	69
1.2.2 Bioenergía: tecnologías y generaciones	72
1.2.3 Un estado de la cuestión	75
1.2.4 Oportunidades y amenazas en el sector de la bioenergía en Castilla y León	80
1.2.5 Fortalezas y debilidades en el sector de la bioenergía en Castilla y León	84
2. FUENTES PRIMARIAS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOENERGÍA	87
2.1 Biomasa energética: aspectos generales	89
2.1.1 Bioenergía y biomasa	94
2.1.2 Aspectos relevantes para el aprovechamiento energético de la biomasa	96
2.2 Clasificación de los recursos de la biomasa	97
2.2.1 Residuos forestales	98
2.2.2 Residuos ganaderos	103
2.2.3 Residuos sólidos urbanos	106
2.2.4 Biomasa derivada de recursos agrícolas	106
2.2.5 Cultivos energéticos	107
3. BIOENERGÍA: TECNOLOGÍAS Y GENERACIONES	110
3.1 Tecnología, procesamiento y conversión de la biomasa en energía	113
3.1.1 Métodos fisicoquímicos	113
3.1.2 Métodos termoquímicos	114
3.1.3 Métodos biológicos (o bioquímicos)	115
3.2 Biocarburantes de primera generación	115
3.2.1 Fuentes convencionales para la tecnología de primera generación	115
3.2.2 Tipos de biocarburantes	116
3.2.3 Nuevos cultivos para las tecnologías de primera generación	123
3.3 Segunda generación de biocombustibles	124
3.3.1 Fuentes para la tecnología de segunda generación	124
3.3.2 Tecnologías básicas: conversión bioquímica y termoquímica	125
3.3.3 Tipos de biocombustibles de segunda generación	126
3.3.4 Tecnologías avanzadas de tercera y cuarta generación de biocombustibles	136

4. UN ESTADO DE LA CUESTIÓN	141
4.1 Bioenergía en España	143
4.2 Biomasa	144
4.3 Biogás	148
4.4 Biocarburantes para el transporte	150
4.5 Regulación jurídica de la bioenergía en España	156
<i>4.5.1 Normativa de la Unión Europea</i>	156
<i>4.5.2 Normativa del Estado español</i>	157
4.6 Situación de la bioenergía en Castilla y León	162
5. OPORTUNIDADES Y AMENAZAS EN EL SECTOR DE LA BIOENERGÍA DE CASTILLA Y LEÓN	171
5.1 Amenazas actuales en el sector de la bioenergía	173
<i>5.1.1 Del contexto general</i>	173
<i>5.1.2 Del marco regulatorio</i>	176
<i>5.1.3 Del sector agroganadero</i>	177
<i>5.1.4 Del sector bioenergético</i>	180
5.2 Oportunidades presentes en el sector de la bioenergía	181
<i>5.2.1 Del contexto general</i>	181
<i>5.2.2 Del marco regulatorio</i>	184
<i>5.2.3 Del sector agroganadero</i>	185
<i>5.2.4 Del sector bioenergético</i>	187
6. FORTALEZAS Y DEBILIDADES EN EL SECTOR DE LA BIOENERGÍA DE CASTILLA Y LEÓN	193
6.1 Fortalezas	195
<i>6.1.1 Del sector agrario</i>	195
<i>6.1.2 Del sector industrial</i>	197
<i>6.1.3 Del ámbito general de la Comunidad</i>	198
6.2 Debilidades	201
<i>6.2.1 Del sector agrario</i>	201
<i>6.2.2 Del sector industrial</i>	202
<i>6.2.3 De la conexión entre el sector agrario y el sector industrial</i>	203
GLOSARIO DE TÉRMINOS	205
BIBLIOGRAFÍA	211
ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICOS	217

The background of the entire page is a photograph of a field, possibly a vineyard or a similar agricultural setting. A prominent feature is a large, circular wire mesh structure, likely a trellis or a protective cage, which is slightly out of focus. The field is filled with rows of plants, and the overall lighting is soft and natural, suggesting an outdoor environment. The colors are muted, with a lot of green and brown tones.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 El contexto

La política europea relativa al aprovechamiento de los recursos de la biomasa, al igual que otros instrumentos de ámbito internacional, como el Protocolo de Kioto, ha sido, sin duda, bien intencionada pero, al mismo tiempo, menos eficaz de lo que se suponía cuando se diseñó. En el ámbito nacional tampoco las medidas de fomento de la bioenergía han tenido el éxito esperado, a diferencia de lo ocurrido con otras formas de energía renovable, como la energía solar o la eólica. Ello ha provocado que, en sus distintos ámbitos de competencia, las instituciones correspondientes hayan apostado por un replanteamiento más radical de la cuestión. Así, por ejemplo, enmarcada en un contexto de preocupación creciente por la sostenibilidad ambiental, la Comisión Europea se ha embarcado en un cambio en profundidad en el marco jurídico de apoyo a los biocarburantes para el transporte –uno se los sectores en que se habían obtenido algunos resultados, aunque no tan satisfactorios como estaba previsto– que se ha plasmado en la nueva *Estrategia Europea sobre los Biocarburantes* surgida a partir de una consulta amplia a los agentes directamente implicados.

En España, las autoridades nacionales plantearon hace algunos años, y revisaron recientemente, un plan de energías renovables con el que se fijaban las bases para el crecimiento sostenible futuro. De igual forma que en el ámbito supranacional, hemos asistido en tiempos recientes a cambios sustanciales en los mecanismos nacionales de apoyo a las bioenergía a través de modificaciones legales o reglamentarias, como incorporación de las aplicaciones eléctricas de la biomasa al mecanismo previsto para la generación eléctrica de régimen especial o la introducción en nuestro ordenamiento jurídico de la obligación legal de mezcla de biocarburantes en gasolinas y gasóleos.

Coincidente con este proceso, los esfuerzos de investigación llevados a cabo por numerosos expertos del ámbito público y privado en los últimos años en todo el mundo han favorecido que algunas tecnologías de aprovechamiento energético de la biomasa estén hoy en una fase competitiva y comercial. Éstas coexisten con otras que, a pesar del avance experimentado en los últimos tiempos, requieren todavía esfuerzos adicionales.

Castilla y León es una Comunidad Autónoma bien dotada en recursos de biomasa que hasta la fecha han sido escasamente explotados y que presentan un potencial importante de cara a la diversificación de la actividad primaria, la mejora de la calidad de los recursos naturales, que son una marca distintiva de la región, la valoración de una dotación factorial natural, la creación de riqueza y empleo y la potenciación de las actividades de I+D+i.

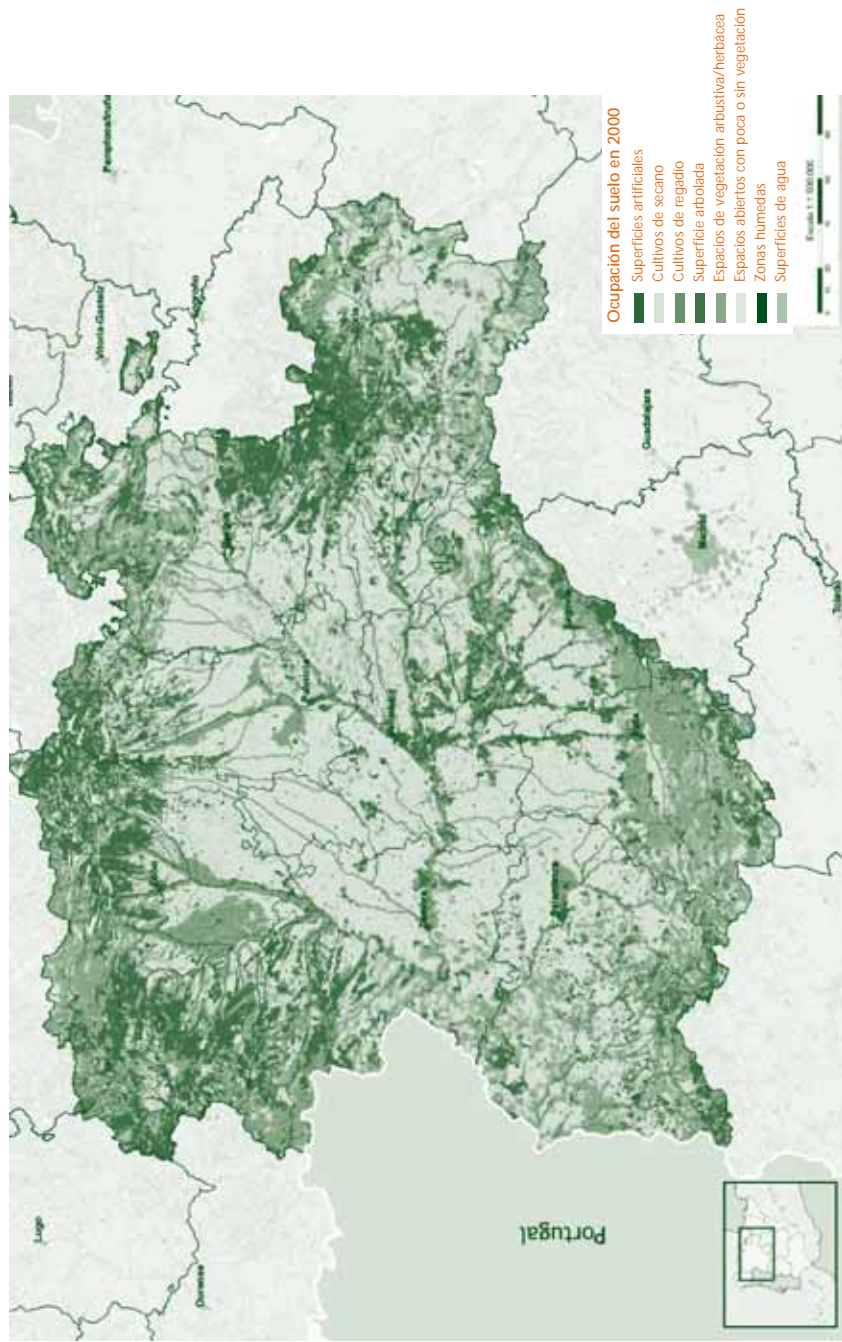
De las 9.422.641 hectáreas que ocupa Castilla y León, el 52,7% está destinado a algún tipo de actividad agrícola; el 45,6% está ocupado por zonas forestales; el 0,4% por humedales y superficies de agua y sólo un 1,3% por superficies artificiales (gráfico 1.1). El hecho de que la ocupación agraria y forestal represente más del 98% de la superficie total de la Comunidad ofrece una primera impresión del potencial de Castilla y León desde el punto de vista del aprovechamiento energético de la biomasa. Esta intuición se ve corroborada cuando se analiza separadamente el potencial de los distintos recursos de la biomasa (cuadro 1.1) variable ésta que será detallada con más precisión en el futuro Plan sectorial de la Bioenergía de Castilla y León, actualmente en preparación por el EREN y el ITACyL.

Cuadro 1.1 Disponibilidad de recursos de biomasa en Castilla y León

Recurso de biomasa	Cuantía
Biomasa forestal	280 ktep
Residuos industriales	116 ktep
Cultivos energéticos	65 ktep
Residuos urbanos	7 ktep
Residuos ganaderos	4,5 Mt
Residuos agrícolas	1 Mt

Fuente: Avance del Plan de la Bioenergía de Castilla y León (2007).

Gráfico 1.1 Ocupación del suelo de Castilla y León, 2000



Fuente: Observatorio de la Sostenibilidad en España (2006).

Las actividades económicas vinculadas a la explotación de la biomasa con fines energéticos no se acomodan a unas pautas homogéneas ni utilizan tecnologías unívocas ni atraen a agentes de características semejantes sino que una de sus notas características es precisamente la diversidad. A ello contribuyen fundamentalmente dos elementos: el primero, derivado de la finalidad última a la que responden, y el segundo vinculado a las aplicaciones tecnológicas en que se concretan; dicho con otras palabras, difieren tanto en la finalidad teleológica como en la finalidad tecnológica (cuadro 1.2).

Con relación al primero de los elementos, el impulso al aprovechamiento de la biomasa puede responder a una finalidad exclusivamente energética, relacionada con la obtención de alternativas factibles, desde el punto de vista técnico y económico, a los combustibles fósiles; puede también venir favorecida por la necesidad hacer frente al compromiso con la sostenibilidad ambiental; de esta manera, el empleo de los recursos de la biomasa y la subsiguiente utilización del input energético derivado de ellos pueden contribuir a dar respuesta al reto que representa para las generaciones actuales el deterioro del planeta. Por último, la explotación energética de la biomasa puede servir para potenciar y diversificar el desarrollo económico en el entorno rural, mediante el impulso de nuevas actividades en los sectores primario y secundario. Aunque, en realidad, los tres elementos están presentes en toda discusión acerca de la bioenergía, conviene no desconocer que la importancia relativa de cada uno de ellos condiciona la respuesta que se pretende alcanzar. Países o regiones con elevada dependencia energética, nivel de contaminación ambiental local alto e importantes recursos agrarios o forestales son candidatos naturales para liderar el impulso a la bioenergía.

Pero, en segundo lugar, el concepto que estamos estudiando engloba un conjunto de actividades tendentes a la producción de distintas formas de energía. El conjunto de aplicaciones energéticas que se pretendan desarrollar no es neutral, ni desde el punto de vista tecnológico, ni desde el punto de vista social, ni desde el punto de vista estrictamente económico. La producción de biocarburantes para el transporte (el área que mayor atención ha recibido en los últimos tiempos, vinculado a los denominamos biocarburantes de primera generación) exige unos inputs y una tecnología que poco tienen en común con los que son requeridos para la generación eléctrica o para las aplicaciones térmicas. Ello sigue siendo cierto hoy aunque los progresos que se vienen experimentando en el terreno de la investigación, el desarrollo y la transferencia, concretados en el avance de las denominadas segunda y tercera generaciones de bioenergía, están reduciendo la influencia que tienen las respuestas ofrecidas desde el ámbito teleológico en las decisiones referidas al ámbito tecnológico.

Cuadro 1.2 Finalidades de la bioenergía

Finalidad teleológica	Finalidad tecnológica
Energético	Biocarburantes
Ambiental	Generación eléctrica
Agroindustrial	Producción calor

Fuente: elaboración propia.

El informe que se presenta se fija como propósito fundamental el de ofrecer un estado de la cuestión en el ámbito de la bioenergía, con el fin de identificar dónde pueden buscarse las mayores oportunidades para su desarrollo en Castilla y León. El elevado grado de incertidumbre que caracteriza el momento presente recomienda que en el análisis se destaquen de manera clara aquellos aspectos que resultan potencialmente beneficiosos, sin depender de manera crucial del cumplimiento de condiciones restrictivas que en este momento no es posible garantizar.

1.2 Resumen ejecutivo

1.2.1 Fuentes primarias de producción de bioenergía

Aunque las propiedades de la biomasa como fuente de energía son conocidas desde hace tiempo, la relevancia y la atención de que disfruta es mucho más reciente. Los detonantes del protagonismo adquirido en los últimos años son básicamente cuatro. El primero se refiere al potencial efecto beneficioso asociado a la sustitución de los combustibles minerales o fósiles por un recurso renovable como es la biomasa, especialmente en lo relativo a la reducción de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), y de emisiones ácidas. Un segundo factor se refiere a la necesidad de asegurar un suministro de combustible que reduzca la dependencia de los combustibles minerales, indeseable tanto desde el punto de vista estratégico como económico. Conectada con la anterior, aparece una tercera consideración, importante desde el punto de vista geoestratégico, político y económico, que se vincula con la intención creciente de reducir la dependencia energética de los países, mientras que una cuarta y última razón se relaciona con las potencialidades que las actividades relacionadas con la obtención de biomasa y con la producción de energía a partir de ella pudieran desplegar desde el punto de vista del desarrollo rural.

La biomasa está compuesta por materia orgánica que, a través de procesos biológicos, ha incorporado y almacenado la energía del sol, por lo que puede considerarse que la biomasa es una forma de energía solar transformada. Plantas y algas, como seres fotosintéticos, constituyen la fuente primaria de biomasa. Por su parte, utilizamos generalmente el término bioenergía para referirnos a aquel tipo de energía

renovable que puede ser obtenida a partir de la biomasa. La obtención de la bioenergía, que puede ser empleada en una variedad de aplicaciones térmicas, eléctricas o como carburante para el transporte, requiere el empleo de procesos de conversión termoquímicos (como la combustión directa, la gasificación y la pirólisis), bioquímicos (como la fermentación alcohólica y la digestión anaeróbica), o físico-químicos (prensado y extracción), o una combinación de ellos.

En las últimas décadas los usos energéticos de la biomasa se han acrecentado notablemente. Los incrementos en los precios del petróleo, la seguridad en el suministro energético, y los objetivos planteados en normativa nacional e internacional relacionados con la sostenibilidad medioambiental, han estimulado un interés creciente por las tecnologías de conversión de la biomasa en energía. Esto ha dado lugar a que, en la actualidad, la biomasa se haya convertido en la principal fuente renovable de energía.

En los países desarrollados, en promedio, la biomasa contribuye con menos del 10% al suministro energético, mientras que en los países en desarrollo la contribución de la biomasa aumenta del 20 al 30%, llegando en algunos países a representar del 50 al 90% del mismo. Una parte considerable de esta utilización no tiene carácter comercial, sino que se destina a la utilización doméstica a pequeña escala, generalmente para los estratos más pobres de la población. La moderna bioenergía enfocada hacia la producción comercial de energía para la industria, electricidad y transporte todavía representa una contribución pequeña, aunque significativa, al suministro energético, encontrándose en pleno desarrollo y crecimiento.

En el caso de la Unión Europea, los datos más recientes muestran que existe una gran disparidad en lo concerniente a la penetración del uso de la biomasa sólida con fines energéticos. Aunque todos los países, con la excepción de Malta, poseen un sector dedicado al aprovechamiento de la biomasa sólida con fines energéticos, las diferencias son notables. En términos per cápita, Finlandia, Suecia, Letonia, Estonia y Austria encabezan el ranking, que coloca a Francia en el puesto duodécimo y dos puestos más abajo a Alemania. España ocupa un modesto decimoséptimo lugar, con tan solo 0,095 tep/hab, una cifra muy alejada de los primeros puestos y que pone de manifiesto que existen oportunidades importantes de aprovechamiento de la biomasa aún sin explotar.

Históricamente la madera ha sido la fuente de bioenergía más importante y ha tenido usos muy diversos, tanto domésticos como industriales. En la actualidad, la materia orgánica derivada de recursos leñosos se utiliza de manera creciente como fuente de energía, como combustible y, en especial, para aplicaciones térmicas.

En los países desarrollados, se ha experimentado un crecimiento significativo del uso de los combustibles de madera directos. La confluencia de tres circunstancias

explica en buena medida este hecho: (1) la bondad ambiental que hace que la biomasa forestal primaria pueda ser considerada como una de las fuentes de energía más respetuosas con el medio ambiente; (2) la ventaja adicional que supone para muchos países, aquellos que cuentan con grandes superficies forestales, el contar con una mayor seguridad energética; (3) la oportunidad que brinda para aprovechar la ventaja económica que supone la producción de esta energía en los lugares cercanos a las explotaciones madereras o simplemente dotados ampliamente de estos recursos.

Los cultivos energéticos han generado grandes expectativas en el sector de la bioenergía. En términos generales, cultivos energéticos son aquellos destinados específicamente para la producción de energía en alguna de sus formas (térmica, eléctrica o para el transporte). Se busca que la biomasa derivada de estos cultivos sea aprovechable casi en su totalidad para la producción de energía. Idealmente, los cultivos deben ser de crecimiento rápido y con características favorables para la producción de bioenergía, como una elevada productividad (con el objetivo de que la energía que se desprenda de la biomasa sea superior a la que requiere su transformación en biocombustible y a la que ha sido necesaria para su cultivo), un bajo coste unitario de producción, resistencia a las plagas, resistencia a la sequía, buena adaptación a tierras de baja productividad y que permitan el uso de tecnologías tradicionales.

Los cultivos energéticos pueden favorecer la diversificación del agro, abriendo nuevas oportunidades para los agricultores profesionales. Asimismo, constituyen en cierto modo un seguro para los productores de biocombustibles, en tanto que su disponibilidad supone una mayor garantía en el suministro. Existen además una serie de ventajas medioambientales, sociales y económicas, como son la reducción de residuos agrícolas, la reducción de emisiones de dióxido de carbono y de SO_2 , la potenciación del desarrollo rural y la independencia energética.

Los principales desafíos para el desarrollo de los cultivos energéticos son, entre otros, los siguientes:

- Conocer los cultivos energéticos potenciales en cuanto a su manejo, su adaptación a distintas zonas agrícolas, sus costes, productividad, selección y mejora de las especies, con el fin de realizar una elección adecuada de los mismos.
- Seleccionar las variedades que sean más eficientes como biomasa.
- Conseguir que la rentabilidad alcance niveles competitivos de manera que se consolide un mercado estable.
- Lograr que se desarrolle la cadena logística respecto de cada cultivo, posiblemente diferentes entre sí.

Es preciso tener en cuenta que la sustitución de carburantes por biocarburantes en el transporte no necesariamente elimina por completo las emisiones de dióxido de

carbono correspondientes al ciclo completo, es decir, incluyendo todas las actividades necesarias para obtener cultivos energéticos y producir biocarburante a partir de ellos. La investigación realizada sobre esta cuestión ha crecido exponencialmente en los últimos años, y los resultados sobre el saldo de emisiones son diversos y no siempre consistentes, aunque coinciden en señalar que la segunda y posteriores generaciones de producción de biocarburantes estarán mucho más cerca de conseguir un saldo neto nulo.

La agenda de investigación se dirige también en la actualidad a la posibilidad de multicultivos, de tal forma que convivan diversos tipos de plantaciones en una misma superficie, práctica que puede ser más adecuada desde la perspectiva energética aunque dificulte el proceso de cosecha. E incluso también se está investigando en cultivos de plantas acuáticas (como el jacinto de agua) o incluso algas.

1.2.2 Bioenergía: tecnologías y generaciones

La distinción entre biomasa con destino a aplicaciones térmicas o eléctricas, por un lado, y biocarburantes para el transporte, ha dominado la práctica y la investigación en las últimas décadas. Es preciso señalar, sin embargo, que tal distinción va perdiendo paulatinamente su sentido a medida que van evolucionando y se van desarrollando nuevas tecnologías de conversión de la materia prima en biocombustible, máxime cuando estos últimos pueden emplearse también para alimentar centrales generadoras de calor y/o electricidad.

Se considera que las estrategias ganadoras pasan por tratar de manera unificada los procesos y tecnologías de conversión de la biomasa tanto en biocombustibles como en electricidad, abandonando así la idea que es preciso optimizar de manera separada cada uno de los productos finales (y para una concreta aplicación, sea ésta térmica, eléctrica, de transporte, etc.). Las sinergias presentes en estas dos actividades, sólo podrán aprovecharse de forma plena, logrando una mayor eficiencia total, si se parte de esta configuración “hibrida”.

En la situación actual, los biocombustibles líquidos llamados “de primera generación” son elaborados principalmente a partir de cultivos alimentarios y han alcanzado una etapa de desarrollo más avanzada asociada a los bajos precios en el mercado agrícola. Dentro de esta categoría, los biocombustibles con mayor desarrollo industrial y comercial hasta la fecha han sido el bioetanol, principalmente a partir de caña de azúcar y maíz, y el biodiésel, a partir de semillas oleaginosas.

La materia prima biológica que utilizarán los diferentes países productores de biocombustibles viene determinada por las características climáticas y edáficas de su geografía. De esta manera, los países que se encuentran en regiones templadas generalmente usan cereales que crecen naturalmente en esas zonas, como el maíz,

mientras que los países en regiones tropicales habitualmente explotan dichas ventajas comparativas para producir caña de azúcar, aceite de palma, soja y yuca.

Los mayores productores de bioetanol a nivel mundial son los Estados Unidos y Brasil, que basan su producción en la hidrólisis y fermentación del almidón y la fermentación de la caña de azúcar, respectivamente, concentrando el 90% de la producción. La Unión Europea, por su parte, produce el 90% del biodiésel del mundo, principalmente a partir de aceite de colza. En otras regiones del mundo, el rendimiento oleico del aceite de palma lo ha convertido en una importante materia prima para la producción de biodiésel. Malasia e Indonesia, con más de 8,7 millones de hectáreas destinadas a su cultivo, se encuentran entre los mayores productores. Cabe resaltar que dadas las enormes demandas de energía en la región asiática muchas tierras forestales, pluviselvas y pantanos turbosos son convertidas en tierras agrícolas para el cultivo de aceite de palma (FAO, 2008c).

La biomasa que proviene de la industria agropecuaria, así como los residuos municipales orgánicos y los provenientes de podas agrícolas y forestales, puede ser utilizada como materia prima para la producción de biogás. Este combustible se produce por la digestión anaeróbica de la materia orgánica biodegradable, que se descompone mediante la acción de microorganismos (principalmente bacterias metanogénicas) en un ambiente en ausencia de oxígeno, generándose una mixtura aproximada al 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, con una presencia mínima de otros gases, a la que se conoce como biogás. El biogás es más liviano que el aire, y tiene como usos energéticos principales la generación de electricidad y calor, convirtiéndose en un buen sustituto del queroseno, la leña o el gas licuado. Al ser mezclado con el aire también puede ser utilizado como combustible en motores de combustión, aunque para ello se requieren ciertas modificaciones en los motores.

Existen cultivos que no son utilizados para la producción de biocombustibles, pero que podrían ser aprovechados para el desarrollo de combustibles de primera generación. Tal es el caso de la jatrofa, la yuca (también llamada mandioca o cassava) y el sorgo, materias primas en las cuales la intensidad energética para la elaboración de biocombustibles aparentemente es menor que en los demás cultivos tradicionales.

La yuca y el sorgo en la actualidad están siendo cultivados en grandes extensiones de tierra, y un factor adicional que apoya su utilización como materia prima para la biomasa de los biocombustibles de primera generación es la posibilidad de cultivarlos en tierras de baja calidad. La yuca es una planta tropical, por lo que puede crecer en climas cálidos con abundantes lluvias. Este cultivo tiene abundante almidón, lo que favorece a la obtención de buenos resultados en la elaboración del biocombustible. Por su parte el sorgo africano puede crecer en climas muy secos y es muy resistente al calor, aunque su productividad es inferior. En la actualidad se está investigando sobre variedades de sorgo de rápido crecimiento, que produce

grandes cantidades de biomasa, lo que serviría para la producción de biocombustible lignocelulósico y permitiría reservar el grano de este cultivo para otras aplicaciones.

Finalmente, la jatrofa es un cultivo no comestible, cuyas semillas trituradas pueden ser usadas para producir un aceite tóxico. También puede cultivarse en tierras semi-áridas, con climas cálidos y húmedos. India se está dedicando en la actualidad al cultivo de esta materia prima para el desarrollo de biocombustibles, y es posible que por sus características pueda cultivarse también en otras áreas tales como el sur de África, Latinoamérica o el sudeste asiático.

Cada vez es más aceptado que los biocarburantes de primera generación, obtenidos a partir de productos alimenticios como los granos, la caña de azúcar, la remolacha o las oleaginosas, presentan una limitación para poder alcanzar los objetivos de sustitución de los combustibles de origen fósil, mitigación del cambio climático e impulso del crecimiento económico. Se están poniendo en revisión cuestiones importantes, como la propia sostenibilidad ambiental y energética del proceso así como la posibilidad de que los cultivos energéticos representen una suerte de competencia desleal frente usos alimenticios o de producción textil de las cosechas. Todo ello ha conducido a un interés creciente en desarrollar tecnologías de producción de biocombustibles a partir de biomasa de uso no alimentario.

Estos avances en la segunda generación de biocombustibles permitirían la explotación de un recurso que incrementa de manera exponencial la variedad y cantidad del stock disponible para la producción de biocombustibles, la llamada "biomasa celulósica", que se encuentra en bioelementos tales como la madera, el pasto natural y los residuos forestales y agrícolas. En comparación con las tecnologías convencionales, que sólo llegan a explotar una fracción del material vegetal, la explotación de biomasa celulósica daría lugar a una mayor cantidad de materia prima por hectárea para su conversión en biocombustibles, mientras que por su capacidad para crecer en una amplia variedad de suelos degradados y fértilmente pobres reduciría el impacto agroalimentario de destinar tierras aptas para la agricultura con el fin de producir energía.

El desarrollo de la segunda generación de biocombustibles permitiría obtener bioetanol de biomasa lignocelulósica por rutas bioquímicas y termoquímicas, pero también gas sintético o *syngas*, con características químicas aptas para la producción de otros biocombustibles sintéticos, como el metanol, el gas natural biosintético, el DME o el diésel sintético (BLT). En ambos casos la segunda generación de tecnologías permitiría una sensible reducción de costes y ventajas ambientales respecto de la primera generación. La agenda tecnológica también incluye entre sus objetivos la síntesis de diésel por pirólisis verde, diésel HTU y carburante serie-P.

La tercera generación de biocombustibles difiere de la segunda en la materia prima que se utiliza en su elaboración, ya que emplea biomasa que ha sido genéticamente

modificada a fin de que resulta más apta para la finalidad energética a que está destinada. Aunque la categoría más habitual dentro de este contexto son determinados tipos de algas, también se ha actuado genéticamente sobre numerosos tipos de cultivos bioenergéticos como los eucaliptos con baja lignina (reducen los costes de pretratamiento y mejoran la calidad del etanol), los árboles de álamo, el maíz con celulasas integradas o la semilla de sorgo (para mejorar la producción del aceite).

La denominada cuarta generación de biocombustibles va un poco más allá, y tiene como objetivo que los cultivos bioenergéticos absorban altas (e inusuales) cantidades de CO₂, tanto a nivel de materia prima como en la tecnología del proceso. Nuevamente, el énfasis de esta cuarta generación está en el diseño del cultivo bioenergético, no en el proceso de su utilización. Tanto la tercera y cuarta generación, al igual que la segunda, están aún en un estadio incipiente de desarrollo, y requieren de esfuerzos significativos de I+D para conocer el alcance de las distintas posibilidades y su viabilidad económica.

La evolución lógica de las tecnologías de primera y segunda generación desemboca en la construcción de biorrefinerías, en las que se han de integrar los procesos e instalaciones tendentes al aprovechamiento y conversión de la biomasa. Este concepto de instalación industrial integrada permitiría valorizar de manera diferenciada los diversos componentes presentes en la biomasa y así obtener un conjunto amplio de productos: biocombustibles, electricidad, componentes químicos. Con esta visión multiproducto una biorrefinería puede además reducir los costes de producción al aprovechar no sólo las economías de escala sino también las sinergias y economías de gama.

De igual modo que en el modelo de industria de refino del petróleo se aborda el procesamiento integral del crudo para obtener gasolina y otros derivados, en las biorrefinerías se procesan distintas formas de biomasa, se combinan distintos procesos de conversión y se obtienen de forma eficiente biocombustibles y otros coproductos físicos y químicos de alto valor. El objetivo, por tanto, es lograr una coproducción integrada cuyos beneficios se extiendan a todos los productos generados, con el fin de reducir costes tanto en los productos primarios como en los coproductos, logrando economías de escala en procesos y maximizando el valor de materias primas de diferentes tipos. La biorrefinería, a través de la elección del *output mix*, trata de maximizar el rendimiento y cubrir todos los mercados que resulten atractivos, desde el punto de vista económico.

1.2.3 Un estado de la cuestión

La relevancia concedida a la bioenergía en los últimos años en España se debe fundamentalmente a tres factores. El primero se refiere al potencial efecto beneficioso asociado a la sustitución de las fuentes energéticas fósiles por bioenergía, especialmente

en lo relativo a la reducción de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), y de emisiones ácidas. Como es sabido, España en la actualidad incumple significativamente los compromisos de control de emisiones de CO₂ asumidos en el Protocolo de Kioto y en la Directiva 2003/87/CE, lo que aumenta su interés en posibles soluciones que tengan un amplio espectro de actuación. El segundo factor se refiere a la necesidad de asegurar un suministro energético que reduzca la dependencia de las fuentes fósiles, indeseable tanto desde el punto de vista estratégico como económico, teniendo en cuenta tanto el carácter no renovable de estos últimos como las tensiones en los mercados de crudo que se traducen en incrementos de precio y volatilidad. El tercer factor que explica la atención que actualmente se dispensa a la bioenergía deriva de la utilización de productos y residuos agrarios, forestales y urbanos en los procesos industriales de generación, lo que puede servir para revitalizar determinadas actividades agrícolas y forestales y para contribuir a la valorización de residuos. El fomento de la bioenergía, por tanto, puede convertirse además en una herramienta de desarrollo rural, segundo pilar de la Política Agrícola Común (PAC), con un protagonismo creciente en la búsqueda de alternativas que permitan el mantenimiento del tejido social y económico en las áreas rurales.

Tanto el Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010 (PFER), como su sustituto, el Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER), pretendían cubrir con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de energía para el año 2010. La evolución hasta el año 2004 podía considerarse como más lenta de lo deseable, especialmente en las áreas de biomasa eléctrica y térmica, aunque según las previsiones del Plan el objetivo es alcanzable incluso en un escenario energético que evoluciona de acuerdo con la tendencia actual y con una evolución tecnológica más probable.

El consumo de biomasa en España se estima en 4.167 ktep, utilizando las estimaciones del PER. De ellas, casi la mitad correspondería al sector doméstico, seguido de los de pasta y papel, madera, muebles y corcho, y alimentación, bebidas y tabaco. Por Comunidades Autónomas, Andalucía, Galicia, Castilla y León y País Vasco son las que presentan un mayor consumo en 2004. La evolución en el consumo de biomasa durante los años de vigencia del PFER, es decir, hasta 2004, no puede considerarse satisfactoria, dado que las cantidades logradas se situaban aún lejos de los objetivos para 2010. De acuerdo con el PER, los sub-sectores en los cuales el grado de incumplimiento de objetivos es mayor son los de residuos forestales, agrícolas leñosos y agrícolas herbáceos.

En el caso de los residuos agrícolas leñosos, procedentes de las podas de olivos, frutales y viñedos, se consideran como zonas prioritarias debido a su elevada producción las Comunidades de Andalucía, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana y

Cataluña, que abarcan casi el 66% del total para España (686,6 ktep). En cuanto a los residuos agrícolas herbáceos, principalmente pajas de cereal y cañote de maíz, las zonas prioritarias son las Comunidades de Castilla y León, Castilla-La Mancha y Andalucía. Nuevamente la Comunidad de Castilla y León dispone del máximo potencial de aprovechamiento con 2.863 ktep, el 36,4% del total español (7.886 ktep). Los residuos de industrias forestales (de industrias de transformación de la madera) y agrícolas (principalmente de industrias de aceite de oliva, conserveras y de frutos secos) se producen en su mayor parte en Andalucía, que con 1.084,2 ktep acumula un 37% del total los recursos potenciales del país (2.949 ktep), por lo que el Plan considera a esta Comunidad como zona prioritaria de actuación.

Aunque cada tipo de biomasa tiene sus propias peculiaridades, los principales problemas que en la actualidad existen para el aprovechamiento de la biomasa están relacionados con la recogida de los recursos, la logística de suministro y la adecuación a la aplicación energética.

La utilización del biogás como fuente energética para la producción de electricidad sólo ha comenzado a explotarse de manera reciente. La forma de aprovechamiento varía dependiendo del lugar de obtención del biogás. Así, el biogás procedente de los vertederos y basureros simples se emplea únicamente para aplicaciones eléctricas, mientras que el obtenido en las estaciones depuradoras (urbanas e industriales), en pequeñas explotaciones agrícolas, en unidades centralizadas de co-digestión y en centros de tratamiento de residuos, generalmente sigue un proceso de cogeneración, que permite el aprovechamiento eléctrico al mismo tiempo que ofrece el aprovechamiento térmico de la instalación.

La evolución de los biocarburantes dentro del sector de la bioenergía es muy diferente. Junto al objetivo general que recoge el PER de cubrir en 2010 con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de energía, se añade como objetivo indicativo que al menos el 5,75% (el PER prevé que se alcance el 5,83%) del consumo de energía en el transporte, medido en unidades equivalentes de petróleo, corresponda a biocarburantes.

Dada la evolución prevista para el consumo de carburantes, la consecución de los objetivos del PER requeriría que el consumo de bioetanol aumentara desde 205.000 toneladas en el año 2004 hasta 1.176.000 en 2010, es decir, un crecimiento medio anual del 78,9%, mientras que el de biodiésel debería pasar de las 78.000 toneladas del año 2004 hasta 1.616.000 en 2010, lo que supone un incremento anual medio de más del 160%.

Estas elevadas cifras ponen de manifiesto el gran esfuerzo que aparentemente será preciso realizar para lograr los objetivos establecidos en el PER, aunque hay razones para pensar que el cumplimiento de los mismos desde el punto de vista del

consumo puede no ser tan difícil como podría deducirse primeramente, sobre todo porque es posible que ello no exija un cambio sustancial de los hábitos de consumo de los ciudadanos. Así, en primer lugar, el Real Decreto 61/2006 permite que los productos etiquetados como gasolinas y gasóleo A incorporen hasta en un 5% bioetanol y biodiésel, respectivamente, sin tener que informar al consumidor de ello. En segundo lugar, una parte del bioetanol producido puede utilizarse como componente en un 45% del ETBE (etil terbutil éter), aditivo que puede incorporarse a las gasolinas hasta llegar al 15% de su volumen. Teniendo en cuenta ambas posibilidades, las cantidades de biocarburantes que sería preciso distribuir como producto independiente en los mercados se reducen significativamente, aunque para el caso del bioetanol todavía suponen una cantidad relativamente elevada, 685.000 toneladas.

El mercado de biodiésel en España presenta una situación peculiar. El aumento de la capacidad no va acompañado de un incremento proporcional de la producción, a pesar de que el consumo sí sigue una pauta de crecimiento rápido. De acuerdo con la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA, 2008), este hecho se ha debido a la entrada masiva, por vez primera en 2007, de biodiésel importado de EEUU directamente por los operadores españoles de carburantes, que se beneficia de una subvención en origen adicional al tipo cero del impuesto especial de hidrocarburos español. La situación para los productores nacionales de biodiésel se ha visto agravada por la reducción de sus exportaciones, que antes realizaban principalmente a Alemania y a Francia y que ahora son cubiertas bien por los productores nacionales en estos países o bien igualmente por las importaciones de EEUU en estos países.

Los datos disponibles para el año 2008 indican un significativo aumento de la capacidad de producción, que podría incluso alcanzar los 3,3 millones Tm. Este incremento se debe a la entrada en funcionamiento de 20 plantas de biodiésel a lo largo de 2008, de las cuáles 6 superan la capacidad nominal de 200.000 Tm/año. En cualquier caso, las cifras de producción disponibles para el primer semestre de 2008 indican que la utilización real de la capacidad de producción sigue siendo muy reducida, cercana al 16%, y que continúa la pauta de importaciones de biodiésel de EEUU beneficiado por la doble subvención. El consumo de biodiésel por los usuarios españoles también continúa su pauta creciente, de tal forma que en el primer semestre de 2008 supone ya una cuota del 1,46% sobre el consumo total de gasóleo.

En cuanto al bioetanol, la capacidad total de producción instalada en 2007 ascendía a 456.000 toneladas, repartidas en únicamente 4 plantas. Ello corresponde a un aumento del 77% frente a la capacidad instalada en 2005, y del 3,4% frente a la correspondiente a 2006. Sin embargo, la producción siguió una pauta claramente diferente, al reducirse un 11,5% entre 2006 y 2007. Para el año 2008 no se prevé

un aumento del número de plantas en funcionamiento ni de la capacidad de producción. Las cifras de producción disponibles para el primer semestre del año indican que probablemente se produzca una nueva reducción al final del ejercicio, aunque el hecho de que en el segundo semestre la planta de Babilafuente haya retomado la producción puede cambiar esta tendencia. En cuanto al consumo de bioetanol, los datos disponibles indican un ligero retroceso en el primer semestre del año 2008, suponiendo el 1,52% del consumo total de gasolina.

Desde el punto de vista del cumplimiento de los objetivos del PER cabe destacar que, conjuntamente, la cuota del 0,98% alcanzada por el biodiésel en 2007 y del 1,87% correspondiente al bioetanol suponen una cuota conjunta del 1,16% en toneladas equivalentes de petróleo sobre el total de carburantes fósiles. La cifra está aún lejos del 5,83% asumida como objetivo por el PER para el año 2010, pero supone un aumento significativo frente a los logros de años anteriores.

Cabe esperar que la tendencia alcista se vea impulsada por las medidas legislativas adoptadas en 2007 (reforma de la Ley del Sector de Hidrocarburos) y 2008 (desarrollo reglamentario), que establecen una obligación de mezcla de los biocarburantes para los años 2009 y 2010 y que limitan la vulnerabilidad de los productores españoles ante las importaciones de biocarburante subvencionado procedente de EEUU.

En Castilla y León, una región tradicionalmente caracterizada por una presencia importante del sector agrario, después de unos años de auge de los cultivos energéticos, 2007 ha registrado una reducción de la actividad agrícola destinada a este fin, debido indudablemente al aumento del precio del trigo y la cebada en los mercados agroalimentarios, en clara competencia con el energético.

En cuanto al resto de la biomasa, probablemente el mayor reto en la actualidad para la Comunidad de Castilla y León sea valorizar los residuos forestales y agrícolas. La biomasa procedente de residuos forestales se compone principalmente de residuos de cortas, tratamientos silvícolas y leñas. Con 2,8 millones ha de terreno forestal, Castilla y León es la región española de mayor capital forestal. De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, la biomasa forestal residual existente en Castilla y León supone aproximadamente 35 millones de Tm (de un total de 200 millones Tm en el conjunto del país), de tal forma que la biomasa forestal residual disponible anualmente ascendería a más de 1,3 millones Tm. La explotación está dificultada por los accesos, la meteorología y la temporalidad, y en condiciones óptimas precisaría ser acondicionada al destino energético previsto. En la actualidad, los residuos forestales se utilizan en la Comunidad para obtener bioenergía en una proporción ínfima.

En cuanto a los residuos agrícolas, tanto herbáceos (paja de cereal o cañote de maíz) como leñosos (podas de vid o frutales), suponen una producción valorizable

energéticamente que en 2005 superó en la Comunidad el millón de Tm. Son recursos de fácil obtención, accesibilidad y gestión, lo que favorece su aprovechamiento.

En cuanto a la producción industrial de bioenergía en la Comunidad de Castilla y León, puede decirse que pivota en torno a la generación de biocarburantes. Las empresas productoras de biodiésel se espera que vayan en aumento durante los años 2008 a 2010, al igual que la capacidad de producción. Sin embargo, no es previsible la apertura de nuevas plantas de bioetanol en la Comunidad en los próximos años.

1.2.4 Oportunidades y amenazas en el sector de la bioenergía en Castilla y León

Una de las principales amenazas que afectan al sector de la bioenergía en la actualidad es la incertidumbre y el riesgo idiosincráticos. A la incertidumbre propia de todo proceso innovador se le han unido en los últimos tiempos numerosos interrogantes cuya respuesta cabal es difícil dar en estos momentos. Algunas preguntas son esenciales. Una primera puede ser la relativa a la estimación de la magnitud real de las ventajas medioambientales de determinados biocombustibles cuando el análisis abandona la seguridad del equilibrio parcial a corto plazo y se comienza a hacer preguntas más propias del equilibrio general y del largo plazo. Es aquí donde entran, por ejemplo, las preocupaciones por los efectos derivados de las posibles talas de bosques en países en desarrollo, el incremento de riesgo de desertificación en determinadas áreas, el agravamiento de la explotación de acuíferos estimulada por los cultivos energéticos, o los resultados obtenidos por los análisis de ciclo de vida.

Otra cuestión de no menor importancia guarda relación con el balance energético total de algunas formas de obtención de determinados biocombustibles. Cada vez son más numerosas las voces que afirman que en muchas ocasiones la energía total consumida durante el proceso de producción de bioenergía es mayor que la propia cantidad generada. Aunque los resultados no son concluyentes, todo parece apuntar a que en ocasiones la producción de biocarburantes tiene un balance energético negativo.

Una tercera fuente de incertidumbre se refiere a los efectos que la extensión de los cultivos energéticos puede estar ocasionando a los cultivos alimentarios. Los críticos sostienen que una concepción de la bioenergía que compite con el destino final del producto y que compite también por el uso de las tierras, introduce en las decisiones de los agentes abundante ruido informativo, toda vez que las regulaciones y los incentivos fiscales hacen que sea difícil realizar un verdadero análisis de eficiencia. Y esta idea debe ser compartida por el regulador y el legislador por cuanto las modificaciones en normas de diverso rango han sido frecuentes, desde la forma de

articular los incentivos a la producción agraria, a la manera de favorecer el consumo de energía verde, pasando por el mecanismo de fijación de objetivos ambientales para el futuro próximo.

La ausencia de información perfecta que estas cuestiones suscitan, llevan a plantearnos que en el actual contexto hay que aplicar principio del "*primum non nocere*". Mientras no tengamos respuestas definitivas para las cuestiones planteadas, las decisiones que hayan de adoptarse en el momento actual deben permitir mejorar siempre.

La ausencia de respuestas precisas relativas a la bondad ambiental, económica y energética ha provocado una cierta opinión contraria por parte de determinados colectivos, que se constituye en una amenaza propia, así como la concentración a corto plazo de la actividad relacionada con la biomasa en unas pocas empresas que puede ocasionar problemas de poder de mercado, y el desinterés en la planificación de I+D.

En cuanto a las oportunidades de la bioenergía para la Comunidad de Castilla y León, probablemente una de las más interesantes es su conexión con el desarrollo rural e, implícitamente, a la fijación de población de forma más homogénea y al crecimiento del empleo rural gracias a la diversificación de las actividades vinculadas con el sector forestal, agrario e industrial.

En definitiva, la actividades conectadas con el aprovechamiento energético de la biomasa, la producción directa de materia prima para la industria, el cuidado y limpieza de los bosques y montes, no sólo favorecen el aumento de la rentas agrarias sino que también potencian y complementan otras actividades como las relacionadas con el turismo de interior, el turismo activo o el turismo enológico, por ejemplo. El sector bioenergético impulsaría la creación de empleo, con puestos de trabajo destinados fundamentalmente a jóvenes profesionales con formación que puedan servir de relevo y compensar la pérdida de aquellos otros, menos cualificados y más envejecidos.

Dado que la producción de biocombustibles para transporte es más intensiva en mano de obra que el empleo de biomasa para la producción de calor y electricidad, la primera alternativa es preferible desde el punto de vista de la creación de empleo a la segunda. En cualquier caso, la creación de empleo en última instancia depende de la escala de las plantas transformadoras (las plantas más pequeñas son generalmente más intensivas en trabajo) y el tipo de biomasa considerado.

El desarrollo de la industria bioenergética, en especial aquella vinculada los residuos forestales y agrarios, es además un instrumento para mejorar el medio ambiente. Y no sólo por los argumentos basados en el ciclo del carbono y el secuestro del CO₂ sino también porque la explotación económica de esos recursos redundará en un medio ambiente más ordenado y limpio, y en el que los riesgos de incendios deben necesariamente ser más bajos.

En este punto conviene recordar que la sustitución de combustibles fósiles por biomasa para la generación de calor y electricidad es menos costosa y da lugar a mayores reducciones de las emisiones de CO₂ que la sustitución de gasolina o diésel por biocombustibles, debido a las pérdidas energéticas que inevitablemente se producen en la conversión de la biomasa en biocombustibles.

Debe ser destacado igualmente que si desde el punto de vista de la lucha contra el cambio climático o la reducción de la dependencia energética del exterior, los esfuerzos en bioenergía deberían concentrarse en promover la investigación y el desarrollo de tecnologías basadas en el aprovechamiento energético de la biomasa lignocelulósica y la procedente de residuos urbanos, agrícolas y ganaderos.

La existencia de una regulación favorable, tanto en el ámbito europeo como español, es también una oportunidad que puede ser aprovechada. Aunque tanto desde la perspectiva industrial, como agraria, existen incentivos que favorecen la actividad de generación de bioenergía, no puede desconocerse que convendría reducir el grado de incertidumbre regulatoria que se presenta en el momento actual. Conviene potenciar esta oportunidad a través de una estrategia general que permita la coordinación efectiva entre los distintos subsistemas normativos, como se espera que haga el inminente Plan de Bioenergía de Castilla y León.

La oportunidad de introducir diversificación en las explotaciones agrarias se añade a la que se abre con la potenciación de nuevos cultivos dedicados específicamente a servir de materia prima al sector bioenergético que no entren en colisión con los destinados a la alimentación y que experimentarán un mayor impulso una vez se consoliden los biocarburantes de segunda generación. Se espera que las actividades vinculadas a la logística de los residuos agrarios y ganaderos experimenten un impulso significativo, lo que puede ampliar el escenario de negocio a los agentes integrantes del sector. De igual manera, la organización de la logística de la biomasa seca y la instalación de instalaciones de gasificación-cogeneración permitiría poner en explotación áreas dedicadas exclusivamente a la producción de biomasa con fines energéticos.

La existencia de diversas tecnologías que han alcanzado o están a punto de alcanzar el punto de explotación comercial y que pueden suponer un avance decisivo en la implementación de estrategias de penetración de la bioenergía constituye una destacada oportunidad del momento actual, concretamente las siguientes:

- Tecnología de gasificación de la biomasa sólida que permite transformar el potencial energético de la biomasa en estado sólido en syngas, que es más conveniente y presenta menores problemas de almacenamiento, manipulación y transporte.

- Emparejamiento con la tecnología de cogeneración, que permite aprovechar el potencial exotérmico de las reacciones de gasificación para aplicaciones térmicas, de manera que se alcanzan índices de aprovechamiento energético elevados.
- Tecnología de adaptación de instalaciones convencionales a la co-combustión, manteniendo los efectos ambientales positivos sin tener que incurrir de manera inmediata en costosas instalaciones nuevas.
- Tecnología de conversión de la biomasa residual en biogás que puede ser inmediatamente aprovechado en aplicaciones eléctricas.

Junto a ellas existen otras que se espera puedan alcanzar en un plazo breve un estado de desarrollo que les permita ser competitivas:

- Tecnologías de obtención de biocarburantes de segunda y tercera generación a partir de material lignocelulósico. Es importante incentivar la entrada de las tecnologías de segunda generación con el fin de que no se generen barreras a la salida en relación con la primera generación, que podrían dificultar la adopción de aquéllas.
- Biorrefinerías.
- Tecnologías de conversión de biomasa en líquido (BTL) mediante la obtención previa de syngas.

En el momento actual, las regiones geográficas con abundancia de recursos naturales están en condiciones de liderar, desde el momento inicial, el proceso de desarrollo tecnológico bioenergético de frontera.

Esta oportunidad es, en buena medida, consecuencia directa del contexto tecnológico que acabamos de señalar y también de la experiencia adquirida en el ámbito de los biocarburantes de primera generación. Esta experiencia ha sido positiva y debe seguir potenciándose (como se ha hecho recientemente con la apertura de la nueva Planta de Investigación de Biocombustibles y Bioproductos del Villarejo de Órbigo) pero no puede cerrar el paso a nuevos desarrollos orientados a una concepción integral del fenómeno bioenergético que ligue la producción a la explotación de los recursos de biomasa autóctonos.

La bioenergía está en condiciones de servir de eje vertebrador de actuaciones industriales y agronómicas y forestales con una importante componente tecnológica de vanguardia, como lo atestiguaría un repaso a las líneas prioritarias de investigación establecidas en convocatorias públicas y privadas de ámbito internacional, europeo, nacional o regional.

1.2.5 Fortalezas y debilidades en el sector de la bioenergía en Castilla y León

La principal fortaleza que presenta Castilla y León con relación a la bioenergía deriva, obviamente, de la importancia cuantitativa y cualitativa de su sector agrícola. La contribución de este sector al PIB regional es del 7,3% en 2006, o lo que es igual, 2,5 veces la media nacional. Posición igualmente destacada presenta en el ámbito forestal. Castilla y León dispone del 18,6% de la superficie total de España; de ella, más del 45% es superficie forestal o abierta, que presenta una gran diversidad de tipos de vegetación. Además, buena parte de los recursos forestales están bajo la titularidad o bajo la gestión de la administración, lo que puede favorecer el despegue inicial de las actividades de aprovechamiento energético de los residuos forestales. Algo semejante ocurre con relación a los residuos ganaderos, pues con casi 3,5 millones de cabezas es la tercera Comunidad Autónoma que más ganado porcino posee.

También es posible encontrar fortalezas en el ámbito industrial. Castilla y León es una región con experiencia en la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (hidroeléctrica, eólica o solar) y también con importante sector bioenergético, con varias plantas productoras de biodiésel y de bioetanol ya operativas y en funcionamiento, y de tratamiento de purines basadas en la cogeneración, cuyo elevado grado de innovación e investigación aplicada las coloca en la frontera del estado del arte.

Desde el punto de vista institucional, Castilla y León dispone de estructuras de investigación susceptibles de ser empleadas para impulsar el desarrollo de una industria bioenergética centrada en la promoción y la difusión de las tecnologías de segunda generación. El sistema universitario de Castilla y León cuenta con un potente entorno de investigación en áreas como la ingeniería agraria, la biología, la biotecnología, las ciencias ambientales, la economía energética, entre otras, que han alcanzado niveles de excelencia.

Junto a las universidades, parques científicos, centros tecnológicos (como Cartif, Cidaut o Inbiotec) y organismos de apoyo de la Junta de Castilla y León (como el EREN, el ITACyL o la ADE) están en disposición de seguir contribuyendo a la expansión del sector bioenergético en condiciones de excelencia.

La explotación de los recursos naturales con el objeto de producir energía es una actuación que combina con otras políticas regionales. El desarrollo de la bioenergía no sólo no es incompatible, sino que permite reforzar los objetivos propios de la política agraria, de la política de desarrollo rural, de la política industrial, de la política ambiental, de la política de transporte, de la política industrial, de la estrategia de investigación científica y de desarrollo logístico, por poner algunos ejemplos, cimentando la imagen de Castilla y León como Comunidad comprometida con la conservación del medio ambiente.

También existen algunos problemas que se presentan como debilidades que deben ser superadas para lograr el despegue de la industria bioenergética en la región. En primer lugar, las consideraciones sociodemográficas, que podrían limitar la incorporación de nuevos modelo de gestión de explotaciones agrarias; fundamentalmente, la elevada edad media de los agricultores y ganaderos y la falta de experiencia y formación específica en nuevos cultivos energéticos y otras formas de obtener recursos de la biomasa con finalidad energética.

Con relación al sector industrial, las principales debilidades tienen su origen en la limitada preocupación demostrada hasta el momento por la región con relación a la bioenergía de segunda generación, la dependencia tecnológica del exterior, los elevados costes de inversión de instalaciones complejas, especialmente las biorrefinerías y las carencias en las infraestructuras logísticas y de transporte.

Las debilidades mayores tienen que ver con la estrechez del mercado que relaciona a agricultores con productores de bioenergía y que explica el divorcio existente entre ambos subsectores; los primeros, no ofrecen en el mercado energético sus producciones y los segundos se abastecen de materia prima importada. Este hecho se ve agravado por la dificultad, prácticamente imposibilidad, de firmar entre ambos tipos de agentes contratos de largo plazo que permitieran reducir la incertidumbre y crear mercado.

Aunque a medida que se avance hacia la segunda generación de biocarburantes esta limitación disminuirá su importancia, convendría, en aras al crecimiento de este nicho de mercado, que se redoblasen los esfuerzos para encontrar un mecanismo que fuese satisfactorio para ambas partes.

Cuadro 1.3 Resumen del análisis DAFO

<p>Fortalezas</p> <p>Potencial de producción de biomasa</p> <p>Potencial de investigación</p> <p>Existencia de bioindustria de 1ª generación</p> <p>Vocación en energías renovables</p>	<p>Debilidades</p> <p>Dependencia tecnológica del exterior</p> <p>Mercado estrecho en cultivos energéticos</p> <p>Dificultades logísticas</p> <p>Escasa apuesta por la 2ª generación</p>
<p>Oportunidades</p> <p>Conexión con el desarrollo rural</p> <p>Sostenibilidad ambiental</p> <p>Independencia energética</p> <p>Avances tecnológicos notables</p>	<p>Amenazas</p> <p>Incertidumbre</p> <p>Disminución ayudas agrarias</p> <p>Competencia por el uso de la tierra</p> <p>Imposibilidad de atender la demanda</p>

Fuente: elaboración propia.

The background of the page is a photograph of a field of plants, possibly a crop field, with a circular graphic overlay consisting of several concentric, slightly offset rings. The entire image has a warm, brownish-orange color cast. A dark green horizontal band is positioned across the middle of the page, containing the section header text in white.

2. FUENTES PRIMARIAS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOENERGÍA

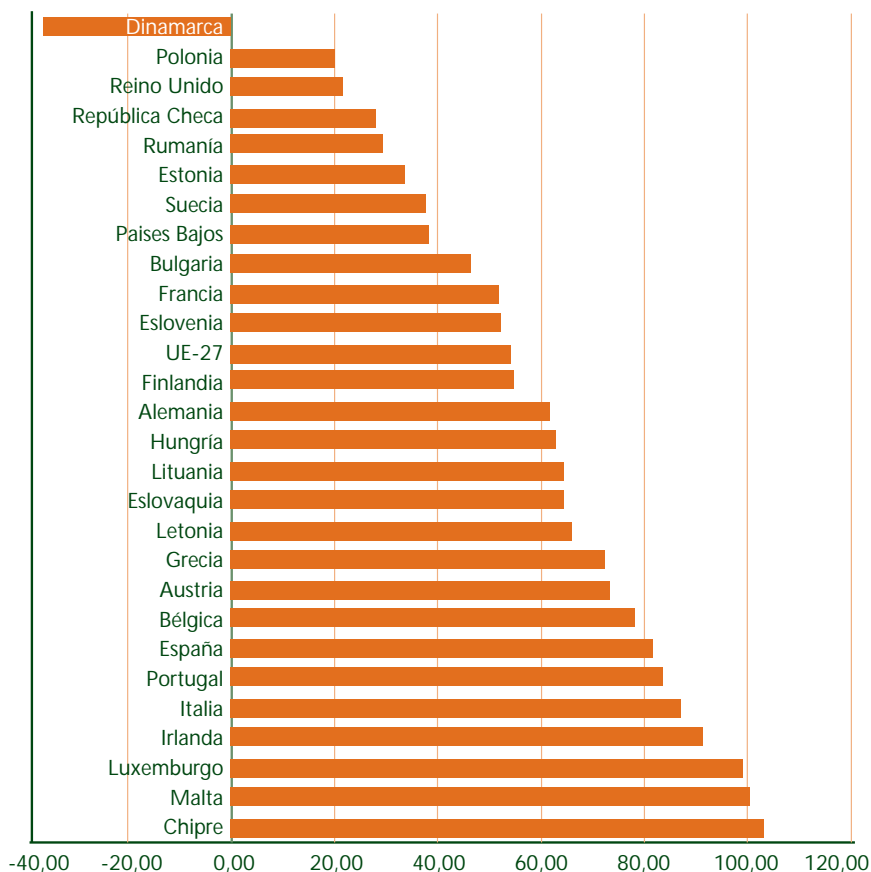
2. FUENTES PRIMARIAS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOENERGÍA

2.1 Biomasa energética: aspectos generales

Aunque las propiedades de la biomasa como fuente de energía son conocidas desde hace tiempo, la relevancia y la atención de que disfruta es mucho más reciente. Los detonantes del protagonismo adquirido en los últimos años son básicamente cuatro. El primero se refiere al potencial efecto beneficioso asociado a la sustitución de los combustibles minerales o fósiles por un recurso renovable como es la biomasa, especialmente en lo relativo a la reducción de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), y de emisiones ácidas. Según este razonamiento, si se internalizasen los costes ambientales evitados con su consumo, la eficiencia del empleo de la biomasa energética se incrementaría sustancialmente.

Un segundo factor se refiere a la necesidad de asegurar un suministro de combustible que reduzca la dependencia de los combustibles minerales, indeseable tanto desde el punto de vista estratégico como económico, teniendo en cuenta el carácter no renovable de estos últimos así como las tensiones en los mercados de crudo que se traducen en incrementos de precio y volatilidad. Esta evolución afecta a los precios relativos de los biocombustibles que, en determinadas circunstancias, se muestran como superiores económicamente a los derivados del petróleo (éste sería el caso del bioetanol en Brasil). Conectada con la anterior, aparece una tercera consideración, importante desde el punto de vista geoestratégico, político y económico, que se vincula con la intención creciente de reducir la dependencia energética de los países. En buena parte de las economías occidentales, la cobertura de la demanda energética depende de manera crucial de las importaciones provenientes de países terceros, como pone de manifiesto el gráfico 2.1. España, con un índice del 81,4%, está entre los siete países con mayor dependencia energética de toda la Unión Europea.

Gráfico 2.1 Dependencia energética en la UE-27, 2006



Fuente: elaboración propia sobre datos de Eurostat.

Nota: el índice de dependencia energética se calcula como el cociente entre las importaciones netas y el consumo bruto de energía.

De manera en absoluto sorprendente, la búsqueda de formas de energía alternativas a los combustibles fósiles se intensifica cuando los precios del crudo atraviesan por una espiral alcista o cuando por razones geopolíticas se (re)descubre la necesidad de buscar formas alternativas de satisfacer las necesidades energéticas de un país. Durante la Segunda Guerra Mundial, las dificultades de aprovisionamiento llevaron a diversos países al desarrollo de proyectos para obtener combustibles alternativos –como por ejemplo la obtención de etanol a partir de celulosa– que con el final de la guerra y la normalización de abastecimientos quedaron prácticamente abandonados por falta de competitividad en términos de costes.

Con la primera crisis del petróleo algunos países vuelven a plantearse la posibilidad de fabricar combustibles biológicos. El caso paradigmático es Brasil, que dispone de abundante materia prima en condiciones competitivas. Para este país, la producción de bioetanol a partir de la fermentación del azúcar de caña era una excelente alternativa desde el punto de vista agrario, ante un clima internacional proteccionista que imponía restricciones al comercio en productos agrícolas. La implementación del *Programa Proalcool* convirtió a Brasil en referente mundial en el uso del etanol como carburante para el transporte, alcanzando unas cifras de producción de aproximada de aproximadamente 8 millones de toneladas a la altura de 1984 (LIN y TANAKA, 2006). Cifras similares se alcanzaron en el otro país pionero en la implementación de la tecnología del bioetanol, en este caso obtenido fundamentalmente a partir del maíz: los Estados Unidos. En el año 2005 esas cifras se habían duplicado, situándose en unos niveles de 15.500 y 16.200 millones de litros, respectivamente (DE MIGUEL, 2006). Obviamente, el diferente tamaño de sus respectivos mercados, hace que el porcentaje sobre el consumo de carburantes total sea mucho mayor en el país sudamericano.

En Europa, la apuesta por los biocombustibles es más reciente. El primer paso decidido se dio con la aprobación de la Directiva 2003/30/CE, la comúnmente conocida como Directiva de biocarburantes.

Una cuarta y última razón que explica la atención que actualmente se dispensa a la bioenergía se relaciona con las potencialidades que las actividades relacionadas con la obtención de biomasa y con la producción de energía a partir de ella pudieran desplegar desde el punto de vista del desarrollo rural. Se sugiere en esta línea que la demanda industrial de determinados productos agrarios podría servir para revitalizar una actividad, la agrícola, que se enfrenta a un proceso de adaptación a un nuevo paradigma caracterizado por la disminución de las ayudas. De esta forma, el aprovechamiento energético de la biomasa adquiere un protagonismo creciente en la búsqueda de alternativas que permitan el mantenimiento del tejido social y económico en las áreas rurales.

Gráfico 2.2 Cadena de valor de la bioenergía

Recursos de la biomasa	Sistemas de oferta	Conversión	Productos finales
Cultivos y residuos Agrarios	Siembra	Mecánica	Biocarburantes
Plantas oleaginosas	Recolección	Termoquímica	Electricidad
Biomasa maderera	Manipulación	Bioquímica	Calor
Residuos industriales y municipales	Almacenamiento	Fisicoquímica	Combustibles sólidos

Fuente: IEA.

Como resulta obvio, los productores de bioenergía necesitan inputs forestales o agrarios para alimentar su proceso. Ello supone que el sector primario se convierte en un eslabón decisivo en la cadena de valor del output bioenergético (gráfico 2.2). Esta situación surge, por lo demás, en un contexto de replanteamiento de las políticas agrarias, tanto en el ámbito internacional como específicamente en el europeo, que pretenden incentivar la mejora de la competitividad y la productividad en medida mayor que en décadas anteriores. Sin subvenciones concebidas a la manera tradicional, pero valorando la extraordinaria importancia que tiene evitar la despoblación del campo, lograr la fijación de población al territorio, elevar la calidad de vida y las rentas del entorno rural, el denominado “segundo pilar”, el desarrollo rural, adquiere protagonismo en el ámbito de las políticas públicas.

Hacer frente a la demanda de biocombustibles requiere contar con un suministro adecuado de elementos de biomasa, sea esta cultivada por el hombre o surgida de manera espontánea. Por ejemplo, se estima que el cumplimiento del objetivo de consumir, en 2010, al menos una proporción de biocarburante equivalente al 5,75% del total de combustible de transporte, requeriría destinar a cultivos energéticos entre el 5% y el 10% de la superficie agraria útil comunitaria, siempre que ello se hiciera con biocarburantes de primera generación producidos a partir de materia prima obtenida en la propia Unión (SIEMONS *et al.*, 2004).

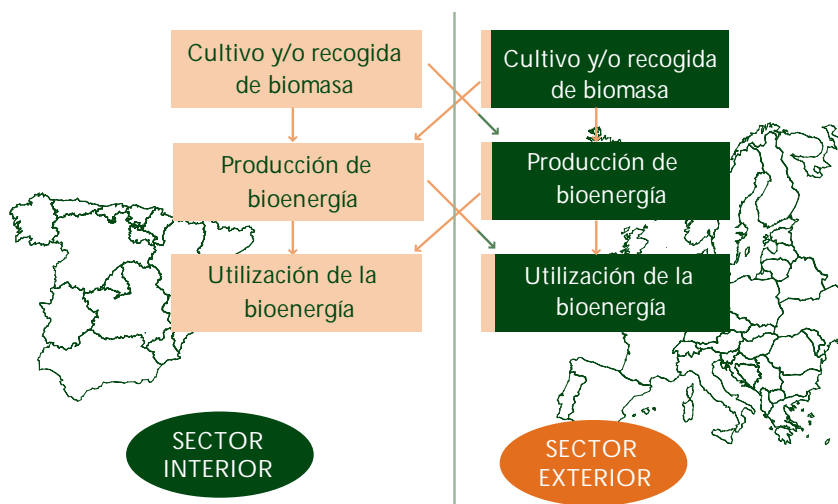
Fomentar el uso del producto final es, en cierto modo, una manera de incentivar la producción agrícola y forestal, y por tanto una forma de favorecer al sector primario. Pero para ello es preciso que no se rompa la cadena causal que relaciona a los distintos agentes que aparecen en el gráfico 2.2: consumidores de energía, productores de bioenergía y empresarios de los sectores agrícola y forestal.

Los tres grupos de agentes antes mencionados conforman una cadena causal que relaciona los consumidores de bioenergía con los empresarios agrícolas y forestales, y cuya quiebra en cualquier eslabón lógicamente eliminaría toda posibilidad de que el uso de la bioenergía produjera efectos positivos sobre estos últimos. Sin embargo, ello no implica que cualquier medida dirigida a impulsar el consumo o la producción de bioenergía necesariamente lleve al resultado de una mayor demanda de biomasa o de cultivos energéticos de los productores nacionales, regionales o locales, ya que en el contexto económico actual es posible que dicha demanda se traslade a productores del resto del mundo. Igualmente es posible que la demanda de biomasa o de cultivos energéticos que realicen empresas productoras de bioenergía de otras áreas geográficas se nutra de la producción nacional, regional o local, y que la bioenergía producida en cualquier parte del mundo finalmente sea consumida por ciudadanos que habiten en zonas completamente diferentes (gráfico 2.3).

Resulta pertinente, pues, recordar que no todas las medidas dirigidas a impulsar el consumo o la elaboración de biocombustibles van a provocar necesariamente una

mayor demanda en el sector agrario o forestal nacional, regional o local y que las consecuencias que puedan inducir en el ámbito rural, dependerán del diseño estratégico escogido, de los instrumentos empleados y de eslabón de la cadena de valor dónde se apliquen (SÁNCHEZ MACÍAS, *et al.*, 2006).

Gráfico 2.3 Comercio internacional y bioenergía



Los intereses de los distintos agentes involucrados en los mercados de bioenergía no son, en general, coincidentes. Los consumidores finales, buscan una alternativa capaz de disminuir la dependencia y de reducir las emisiones contaminantes, y de que esta sea lo más económica posible. Su demanda de bioenergía lógicamente incentiva la actividad de, por otro lado, un segundo grupo de agentes formado por productores. Esta actividad no es necesariamente inocua para el medio ambiente, pero produce igualmente un efecto externo positivo en cuanto que facilita la difusión de nuevas técnicas y tecnologías que facilitarán la entrada en los mercados de nuevas generaciones de bioenergía. Su lógico objetivo de obtener beneficios les lleva a intentar cobrar del usuario final (de manera directa, en cuanto consumidor o indirecta, en tanto que contribuyente) la cantidad máxima que esté dispuesto a tolerar. Por el otro lado, su interés estará en adquirir la materia prima a los oferentes más baratos, sean proveedores locales o globales. Precisamente son los empresarios de los sectores agrícola y forestal los que se encuentran en la base del proceso y en su interés prima más que ningún otro el objetivo de elevar sus rentas, asegurarse frente a la incertidumbre provocada por la volatilidad de los precios. De manera obvia, el interés de estos últimos agentes de ofrecer al mercado bioenergético productos que tienen un uso alternativo en el ámbito alimentario no surgirá si los precios en este último son superiores.

Todo ello hace que hablar de un único sector de la bioenergía, como si estuviera formado por un grupo compacto de elementos que evoluciona de forma pareja al estado y condición de la bioenergía, pueda resultar confuso y equívoco. Los objetivos de los diversos grupos son variados, e incluso frecuentemente resultan divergentes, de tal forma que los cambios que pueden beneficiar a alguno de ellos podrían ser neutrales o incluso perjudiciales para el resto.

2.1.1 Bioenergía y biomasa

En los textos legales, tanto comunitarios como nacionales, se define la biomasa como la fracción biodegradable de los productos, subproductos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias de origen vegetal y animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales. En definitiva, podemos utilizar biomasa como sinónimo de materia orgánica, tanto la originada en un proceso biológico espontáneo como la favorecida por la acción del hombre, es decir, cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación, ya sea natural o artificial.

La biomasa está compuesta por materia orgánica que, a través de procesos biológicos, ha incorporado y almacenado la energía del sol, por lo que puede considerarse que la biomasa es una forma de energía solar transformada. Plantas y algas, como seres fotosintéticos, constituyen la fuente primaria de biomasa. Los seres vivos que se alimentan de vegetación incorporan y transforman biológicamente la energía contenida en dicha fuente primaria, y los productos de dicha transformación que también forman parte de la biomasa, como podrían ser los excrementos de ganado, pueden también ser utilizados como recurso energético.

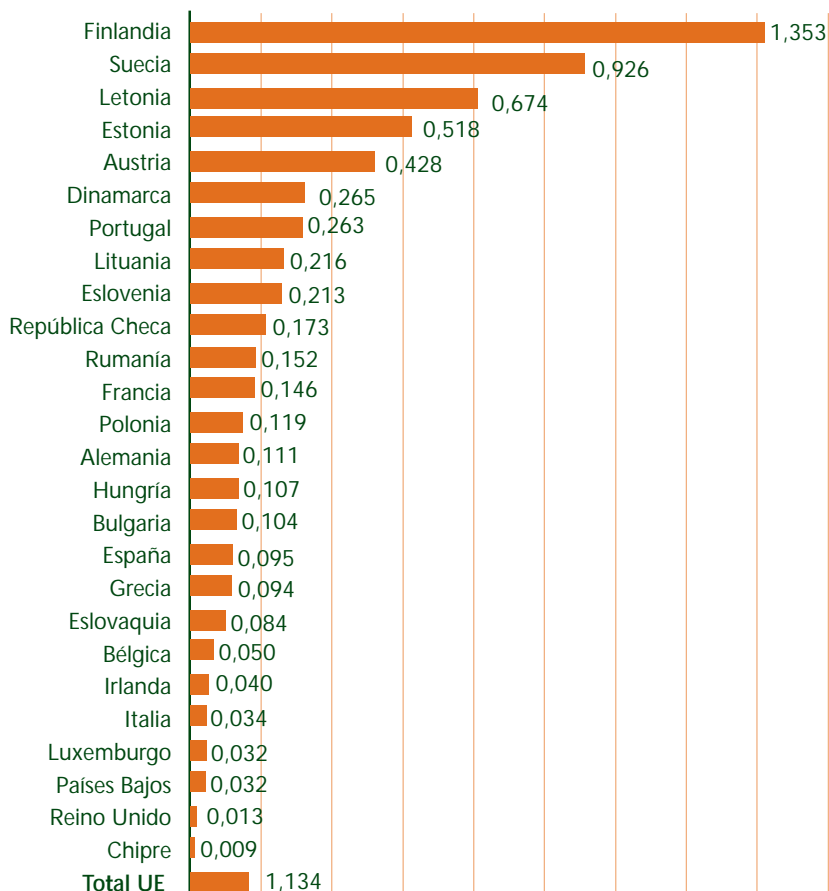
Por su parte, utilizamos generalmente el término bioenergía para referirnos a aquel tipo de energía renovable que puede ser obtenida a partir de la biomasa. La obtención de la bioenergía, que puede ser empleada en una variedad de aplicaciones térmicas, eléctricas o como carburante para el transporte, requiere el empleo de procesos de conversión termoquímicos (como la combustión directa, la gasificación y la pirólisis), bioquímicos (como la fermentación alcohólica y la digestión anaeróbica), o fisicoquímicos (prensado y extracción), o una combinación de ellos.

En las últimas décadas los usos energéticos de la biomasa se han acrecentado notablemente. Los incrementos en los precios del petróleo, la seguridad en el suministro energético, y los objetivos planteados en normativa nacional e internacional relacionados con la sostenibilidad medioambiental, han estimulado un interés creciente por las tecnologías de conversión de la biomasa en energía. Esto ha dado lugar a que, en la actualidad, la biomasa se haya convertido en la principal fuente renovable de energía.

En los países desarrollados, en promedio, la biomasa contribuye con menos del 10% al suministro energético, mientras que en los países en desarrollo la contribución de la biomasa aumenta del 20 al 30%, llegando en algunos países a representar del 50 al 90% del mismo. Una parte considerable de esta utilización no tiene carácter comercial, sino que se destina a la utilización doméstica a pequeña escala, generalmente para los estratos más pobres de la población. La moderna bioenergía enfocada hacia la producción comercial de energía para la industria, electricidad y transporte todavía representa una contribución pequeña, aunque significativa, al suministro energético, encontrándose en pleno desarrollo y crecimiento.

Centrándonos en el caso de la Unión Europea, los datos más recientes del Observatorio sobre biomasa sólida elaborado por EurObserv'ER muestran que existe una gran disparidad en lo concerniente a la penetración del uso de la biomasa sólida con fines energéticos. Aunque todos los países, con la excepción de Malta, poseen un sector dedicado al aprovechamiento de la biomasa sólida con fines energéticos, las diferencias son notables. Los indicadores de producción per cápita reproducidos en el gráfico 2.4 permiten calibrar la importancia real que se atribuye a la biomasa más allá de factores más o menos exógenos como la extensión del país o la importancia de sus recursos forestales (que explicarían que Francia, Alemania, Suecia, Finlandia y Polonia sean por este orden los líderes en términos absolutos). Sin embargo, en términos per cápita, Finlandia, Suecia, Letonia, Estonia y Austria encabezan el ranking, que coloca a Francia en el puesto duodécimo y dos puestos más abajo a Alemania. España ocupa un modesto decimoséptimo lugar, con tan solo 0,095 tep/hab, una cifra muy alejada de los primeros puestos y que pone de manifiesto que existen oportunidades importantes de aprovechamiento de la biomasa aún sin explotar. Y este análisis sirve tanto para todas las aplicaciones energéticas de la biomasa (producción de calor, electricidad, combustibles para el transporte y biomateriales). Es por ello que, siendo una de las fuentes energéticas renovables más confiables, eficientes y limpias, y dadas las expectativas de desarrollo técnico de los procesos de conversión es previsible un crecimiento sustancial de su aprovechamiento en las próximas décadas.

Gráfico 2.4 Producción de energía primaria a partir de biomasa sólida en 2007 (tep/hab)



Fuente: EurObserver (2008).

2.1.2 Aspectos relevantes para el aprovechamiento energético de la biomasa

Para apreciar la viabilidad económica de un proceso de conversión de biomasa en bioenergía resulta imprescindible evaluar ciertas características y parámetros técnicos que determinan, en primer lugar, la elección del proceso de conversión más apropiado en relación con el grado de disponibilidad y la calidad del material biológico a utilizar y, en segundo lugar, la rentabilidad del producto final frente a las alternativas a las que pretende sustituir. El primero de los aspectos incluye, además,

numerosas consideraciones relacionadas con el proceso en sí, y entre ellas las siguientes:

- **Recolección, transporte y manejo de la biomasa.** Debido a la naturaleza de los recursos energéticos, los procedimientos de recolección, transporte y manejo en planta del material biológico resultan elementos imprescindibles en el análisis y determinación de la estructura de costes de inversión y costes operativos para todo proceso de conversión energética.
- **Humedad de la biomasa.** Los procesos de conversión de biomasa en bioenergía tienen límites en el contenido de agua, generalmente inferior al 30%. Con frecuencia el contenido de humedad se encuentra por encima de lo apropiado, y consecuentemente deben adoptarse procedimientos adicionales de acondicionamiento antes de su uso energético, lo que puede aumentar los costes de procesamiento. Asimismo la humedad relativa influye notablemente en el poder calórico de la biomasa, que en definitiva determina la energía disponible en ella. En concreto, un tipo de biomasa con un bajo grado de humedad relativa aumenta la eficiencia de la combustión.
- **Densidad aparente de la biomasa.** Cuando existe una baja densidad aparente disminuye el rendimiento energético por unidad de volumen, y puede haber problemas en el proceso de combustión, aumentando los costes.
- **Composición química y estado físico de la biomasa.** La composición química determinará el tipo de biocombustible o subproducto energético que se puede generar, mientras que el estado físico de la biomasa indicará los procesos aplicables a cada categoría en particular. Asimismo, las características físicas determinan si para la conversión de la biomasa en energía es necesario un tratamiento previo. Por último es importante igualmente analizar el porcentaje de cenizas, sobre todo para los procesos de conversión energética que incluyen la combustión.

La biomasa incluye una amplia variedad de materiales y fuentes como los recursos forestales, agrícolas, residuos de procesos industriales, residuos sólidos municipales, residuos urbanos maderables, o los cultivos energéticos. Debido a que cada una posee características diferenciadas conviene analizarlas separadamente.

2.2 Clasificación de los recursos de la biomasa

La amplia diversidad de materia prima que comprende la biomasa podría clasificarse según su empleo, por una parte, en biomasa para usos tradicionales, como la leña y el carbón, que son utilizados desde la cocción de alimentos o la calefacción doméstica, hasta en pequeñas actividades productivas como el secado de granos y, por otra parte, en biomasa para procesos modernos de generación de energía a

gran escala como las plantas energéticas o los procesos de valorización de residuos urbanos, agrícolas y forestales.

2.2.1 Residuos forestales

Históricamente la madera ha sido la fuente de bioenergía más importante y ha tenido usos muy diversos, tanto domésticos como industriales. En la actualidad, la materia orgánica derivada de recursos leñosos se utiliza de manera creciente como fuente de energía, como combustible y, en especial, para aplicaciones térmicas. Se ha popularizado recientemente la denominación *dendroenergía* para referirse a la energía producida tras la combustión de recursos derivados de los bosques, árboles y otra vegetación de terrenos forestales.

La explotación de esta materia prima está fundamentalmente relacionada con el aprovechamiento de las explotaciones madereras y de las actividades silvícolas. Siendo la biomasa forestal aquella que viene asociada a los montes, la diversidad de los puntos de obtención puede comprenderse más fácilmente empleando la siguiente clasificación:

- **Biomasa forestal primaria.** La biomasa forestal es susceptible de ser aprovechada de forma industrial. Una parte importante de ella se utiliza como materia prima para en diversos productos comercializables (fabricación de madera, corcho, pasta de celulosa, esparto, resinas). Otra se destina de manera inmediata al aprovechamiento energético, como combustible de madera directo.
- **Biomasa forestal indirecta.** Es una suerte de residuo industrial de las industrias primarias y secundarias de la madera. De esta manera, una parte de la biomasa extraída del ámbito forestal no se incorpora al bien manufacturado correspondiente sino que permanece como residuo; aunque estos residuos no son aprovechables con fines comerciales sí son susceptibles de aprovechamiento como combustible orgánico.
- **Biomasa forestal recuperada.** Surge del aprovechamiento y recuperación de residuos leñosos en actividades ajenas al sector (por ejemplo, residuos domésticos, residuos surgidos en las actividades de construcción, contenedores, cajas de madera, etc.). La explotación energética de estos residuos está mucho menos difundida.

BIOMASA FORESTAL PRIMARIA

La *dendroenergía* producida a partir de los recursos forestales primarios (fundamentalmente productos leñosos), se caracteriza por tener niveles energéticos altos y elevada eficiencia. La leña y el carbón vegetal usados como combustibles suministran más del 14% de la energía primaria total del planeta siendo de importancia

crucial para más de 2.000 millones de personas, especialmente en los países en desarrollo, siendo sus principales aplicaciones la producción de calor y la obtención de electricidad.

Pero también en los países desarrollados, se ha experimentado un crecimiento significativo del uso de los combustibles de madera directos. La confluencia de tres circunstancias explica en buena medida este hecho: (1) la bondad ambiental que hace que la biomasa forestal primaria pueda ser considerada como una de las fuentes de energía más respetuosas con el medio ambiente; (2) la ventaja adicional que supone para muchos países, aquellos que cuentan con grandes superficies forestales, el contar con una mayor seguridad energética; (3) la oportunidad que brinda para aprovechar la ventaja económica que supone la producción de esta energía en los lugares cercanos a las explotaciones madereras o simplemente dotados ampliamente de estos recursos.

El proceso para su gestión, desde el acopiamiento de los recursos hasta su conversión en energía, es costoso, y para ser eficiente se precisa una muy buena planificación así como el uso de tecnologías avanzadas. Dadas sus características físicas, principalmente en relación con su volumen y su baja densidad aparente, su transporte también resulta costoso y requiere de grandes áreas para su almacenamiento.

Las materias más comúnmente empleadas para la producción de bioenergía dentro de este campo son las siguientes:

- Ramas procedentes de trabajos de poda.
- Restos que se derivan de trabajos de corta.
- Leñas de pies no maderables y trasmochos, es decir, partes mal formadas de los troncos.
- Cultivos energéticos leñosos, que se caracterizan por ser plantaciones de turnos cortos y con alta densidad.
- Desbroces derivados de la limpieza de matorrales leñosos de arbustos.

La explotación de esta materia prima es beneficiosa desde el punto de vista ambiental dado que su permanencia en los medios forestales conlleva un riesgo de incendio y tiene un impacto negativo sobre el paisaje. Sin embargo, su aprovechamiento depende del tipo de residuo y de los métodos y tecnologías disponibles para su recogida, lo que puede hacer su aprovechamiento ineficiente desde el punto de vista económico. Asimismo, se teme que dicho aprovechamiento lleve a la disminución de fertilidad y del contenido de materia orgánica del suelo, por lo que hay que velar porque los sistemas de aprovechamiento sean adecuados y correctamente ejecutados.

Los procesos para el tratamiento de la biomasa forestal y los residuos forestales incluyen:

- Secado, que puede ser natural o artificial.
- Astillado, triturado o molienda.
- Densificación, mediante empacados, briquetas y *pellets*.

BIOMASA FORESTAL INDIRECTA

La biomasa en este caso está relacionada con los procesos productivos de las industrias de la madera, son residuos procedentes de las diferentes etapas del proceso productivo. Estos residuos se derivan de las siguientes fuentes:

- **Industrias de primera transformación:** son aquellas que procesan directamente el material leñoso proveniente del monte. Dos de las industrias características son la del aserrado y la de fabricación de tableros y la de la obtención de pasta.
- **Industria de segunda transformación:** son aquellas que procesan los productos de las industrias de primera transformación para su conversión en productos comercializables.

Las manifestaciones de los residuos de primera transformación dependen de la industria maderera de la que deriven. Los más comunes son las virutas, el serrín, los tacos y recortes, las cortezas, los lijados, pedazos pequeños de madera, entre otros. Por su parte, las industrias de segunda transformación producen menos residuos debido a que trabajan con productos madereros ya procesados. Son típicamente las industrias de muebles, de la construcción y las industrias madereras. Los tipos de residuos producidos son el polvo de la madera al ser cortada, pequeños trozos, etc. Tienden a tener aditivos y colas y son usados frecuentemente para generar energía para la misma industria, o bien son reciclados en otros productos. En el cuadro 2.1 se resumen los tipos de residuo generados en las industrias forestales de primera y segunda transformación y su forma de aprovechamiento.

Cuadro 2.1 Biomasa residual generada en la industria forestal de primera y segunda transformación y su aprovechamiento

Aprovechamiento de la biomasa en aserradero	
Fuste	Industria del tablero
Corteza	Aplicaciones energéticas Sustratos vegetales
Serrín blanco (procedente de coníferas, mezcla de ambos)	Fabricación productos derivados de eucalipto o la madera
Serrín rojo (procedente de frondosas y especies tropicales)	Aplicaciones energéticas
Costeros y leñas	Industria de tableros derivados de la madera
Biomasa residual en la industria del tablero y chapa	
Corteza	Aplicaciones energéticas
Polvo de lijado	Aplicaciones energéticas
Biomasa residual en la industria de la celulosa	
Corteza	Aplicaciones energéticas
Lejías negras	
Biomasa residual en la industria de segunda transformación	
Serrines y virutas	Aplicaciones energéticas Industria de tableros derivados de la madera Cama animal en explotaciones agropecuarias
Tacos y recortes	Aplicaciones energéticas
Biomasa residual en la industria de palés, envases y embalajes	
Serrines y virutas	Aplicaciones energéticas Tableros de partículas Cama animal en explotaciones agropecuarias
Residuos de madera urbana	
Residuos voluminosos	Aplicaciones energéticas Tableros de partículas

Fuente: Velázquez (2006).

BIOMASA FORESTAL RECUPERADA

La biomasa forestal recuperada está constituida por los restos de demoliciones o construcciones y de residuos domésticos, que a su vez comprenden desde los residuos orgánicos de madera (por ejemplo, derivados de la alimentación) hasta los aparatos domésticos y utensilios desechados. Aproximadamente el 55% de estos residuos son utilizados como combustible o reciclado para compostaje.

Los residuos de demoliciones son más costosos y difíciles de usar, ya que suelen estar contaminados y resulta más complejo separar en función de su origen. Muchos

factores afectan la viabilidad de este tipo de residuos, y entre ellos el tamaño y la condición de los materiales, su contaminación, su ubicación y concentración, así como los costes de adquisición, transporte y procesamiento.

APLICACIONES DE LOS RECURSOS FORESTALES

Los biocombustibles derivados de recursos forestales, tienen sus expresiones más comunes en los siguientes, que tomamos de la Terminología Unificada sobre Dendroenergía (FAO, 2001):

- La **leña** comprende toda la madera que se puede obtener de los bosques. Para su mejor aprovechamiento energético debe secarse, siendo su contenido de humedad óptimo alrededor del 15%, ya que de lo contrario se ralentizaría la combustión, se produciría una mayor cantidad de alquitrán y se obtendría una menor cantidad de energía.
- Las **astillas** son resultado de procesos de trituración en las explotaciones forestales. Son residuos naturales, sin aditivos, lo que es beneficioso en relación a la emisión de gases. Suelen tener un tamaño no mayor de 10 cm de largo y 2 cm de diámetro.
- Los **pellets de madera** son biomasa compactada que se deriva de astillas de madera y serrín, con forma cilíndrica. Su forma y tamaño permite la automatización de las calderas de biomasa mediante un sistema de tornillo sin fin. Además, su densidad facilita la combustión, no requiere mucho espacio para su almacenamiento, y son fáciles de transportar por lo que resultan una alternativa eficiente al gasóleo de calefacción.
- El **carbón vegetal** se produce por la combustión de la madera y de otros materiales orgánicos sin aire, a altas temperaturas (400-700°C). Ello lo dota de un gran contenido de carbono, por lo que produce más energía que la madera. Su composición es inalterable y es de largo almacenamiento, pues no se ve afectado por hongos ni insectos.
- Las **briquetas de carbón vegetal** son formaciones de biomasa compactada que además pueden contener otras materias, como el carbón vegetal. Tiene forma cilíndrica, a semejanza de los pellets. Son compactas y uniformes, lo que facilita su almacenamiento, transporte y uso. Sin embargo al ser de mayor tamaño que los *pellets* (de 5 a 10 cm de largo), es un material menos manejable. Puede ser usada en chimeneas cortas, o bien para controlar la potencia de la combustión.
- Los **licores negros** (junto con otros combustibles) se obtienen como subproducto de procesos químicos y mecánicos de conversión de la madera en la manufactura de productos de papel. Los licores negros son utilizados en la propia

industria para proveerse de energía, y satisfacen aproximadamente el 60% de su demanda de energía, al ser juntado con otros residuos de madera. En la actualidad se está buscando la forma de gasificar los licores negros con el fin de obtener una mayor eficiencia energética.

Las oportunidades más prometedoras en la producción de bioenergía a partir de la madera se vinculan a la explotación de especies aún no utilizadas por la industria, principalmente cultivos energéticos leñosos. Ello favorecería la utilización sostenible de los bosques, a lo que se sumaría la posibilidad de hacer una explotación ordenada y sostenible de los bosques secundarios, que no pueden ser utilizados para la industria maderera pero que brindan oportunidades para el sector de la bioenergía (FAO 2008a).

2.2.2 Residuos ganaderos

Son residuos muy heterogéneos, compuestos por heces de animales, restos de alimentos, o residuos fitosanitarios, entre otros. Se clasifican en estiércoles y purines, contando los segundos con una mayor proporción de agua en su composición. Dado que el promedio diario de las deyecciones equivale a un porcentaje que oscila entre el 3% y el 7% del peso vivo del animal, su volumen de producción es considerable.

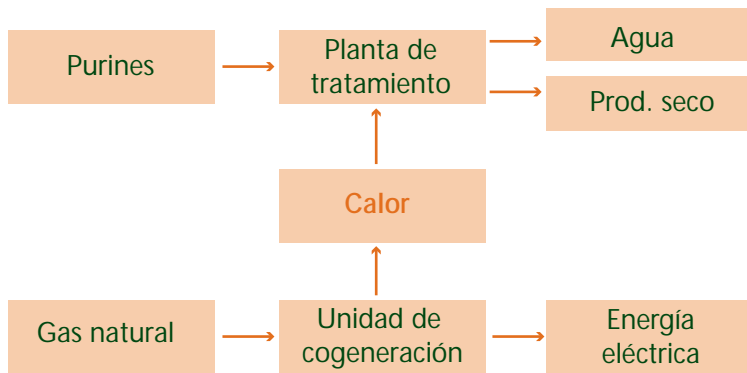
Tradicionalmente las deyecciones han sido utilizadas como abonos, para mejorar la calidad de la tierra. Sin embargo, la intensificación de la producción ganadera ha llevado a una superpoblación de espacios ganaderos reducidos, lo que implica una cantidad de residuos mayor a la deseada.

El exceso de residuos ganaderos tiene consecuencias ambientales perjudiciales, por la cantidad de sustancias químicas que contienen (especialmente compuestos nitrogenados) y que pueden afectar la productividad, a la calidad de la tierra y a la calidad de las aguas continentales. Así, por ejemplo, el Real Decreto 261/1996, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, en cumplimiento de la Directiva 91/675/CE estableció un nivel máximo de vertido de nitrógeno al suelo de 210 kilogramos por hectárea y año que se reduce a 170 en las aquellas zonas que sean calificadas como "vulnerables".

La utilización de estos residuos para la producción de bioenergía contribuye a solucionar un problema que se percibe como importante en el ámbito de la ganadería intensiva, sobre todo la de la cabaña porcina. Los purines, por ejemplo están formados en un 95% de agua y un elevado contenido en nitrógeno que hace que no se pueda utilizar sin transformación como fertilizante. Por otro lado ese alto contenido en compuestos nítricos provocaría contaminación de los acuíferos si no se controla su vertido.

Una primera opción de tratamiento consiste en deshidratar los purines para producir con abono orgánico. A tal fin se diseñaron plantas de producción conjunta de calor y electricidad (cogeneración) de hasta 10 MW. La electricidad generada a partir de la combustión de gas natural se vierte a la red y el calor se aprovecha para el secado de los purines.

Gráfico 2.5 Esquema de funcionamiento de una planta de cogeneración para tratamiento de purines



Fuente: Asociación de Empresas para el Desimpacto Ambiental de los Purines (ADAP).

Esta tecnología que ha sido empleada en numerosos países (y también en España, vinculado a la regulación original de la cogeneración), se ha enfrentado a diversos problemas. El más importante se deriva de la propia dimensión ambiental del fenómeno. Dado que las deyecciones son residuos con alto contenido de humedad, el uso de procesos termoquímicos para su conversión en bioenergía resulta poco adecuado, al suponer una pérdida irrecuperable de agua, un recurso cada vez más limitado. Por otro lado, la energía que se produce no aprovecha el potencial energético que contienen los purines sino que se deriva del combustible fósil. Otros factores técnicos que han limitado el desarrollo de esta vía han sido el aumento del precio del gas natural con relación al de la electricidad generada, el estancamiento de la prima a la generación eléctrica a través de la cogeneración y las dificultades de vertido a la red de la electricidad generada.

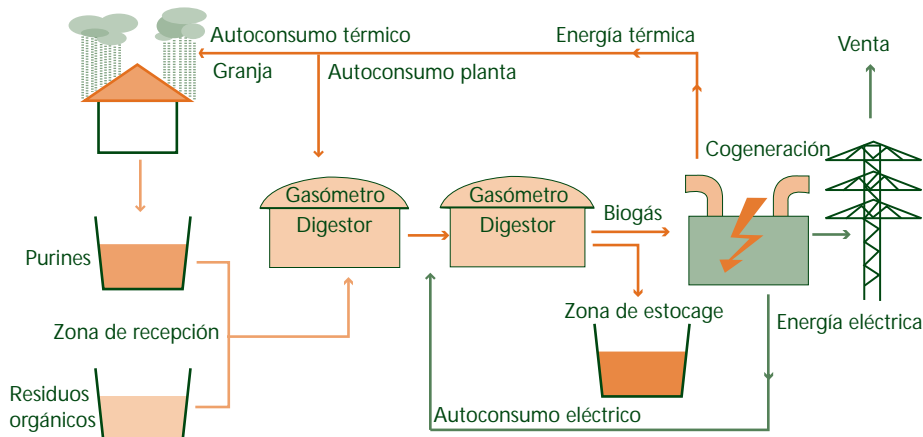
Una segunda alternativa consiste en aprovechar las propiedades biológicas de los residuos que permiten realizar una digestión anaeróbica de los mismos. En ausencia de aire, la descomposición de los residuos ganaderos producen gas metano (entre 23 y 33 m³ por tonelada de purín) y purín desgasificado, que es utilizable como fertilizante. Esta es una opción más conveniente, pues en estos casos el

proceso, en vez de consumir energía, la produce, pudiendo ser utilizada para el autoabastecimiento consumo.

Se han producido importantes avances en el tratamiento simultáneo en una misma planta de diferentes clases de residuos, tales como purines, gallinaza, residuos agrícolas, de vertedero, de matadero e incluso industriales. En este tipo de instalaciones, denominadas de co-digestión, se optimiza la inversión en infraestructura, se contribuye a resolver las dificultades asociadas al tratamiento de residuos diversos que presentan dificultades específicas de almacenamiento y tratamiento, y se alcanza un mayor volumen de producción de biogás.

Modernas instalaciones, como la representada en el gráfico 2.6, permiten el procesamiento de purines y otros residuos orgánicos, en proporciones aproximadas de 70-30%, en una instalación de cogeneración que utiliza el metano obtenido en los biodigestores para la producción de calor y electricidad, que puede ser vertida a la red.

Gráfico 2.6 Esquema de una planta de biogás para tratamiento de purines



Fuente: Ecobiogas.

En el ámbito nacional, la publicación del Real Decreto 2828/1998 de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración, supuso un incentivo para la aplicación de la primera de las rutas comentadas, que llevó a la instalación de una treintena de plantas.

La reforma operada por el Real Decreto 661/2007 en la regulación de la producción de energía eléctrica en régimen especial ha servido para mitigar las dificultades por

las que atravesaban este tipo de plantas, al mejorar sensiblemente el tratamiento retributivo y establecer un régimen transitorio específico para estas plantas.

En este Decreto el regulador español se alinea con la ruta basada en la biodigestión, al establecer un sistema estable y permanente de primas para la electricidad renovable producida por plantas que utilizan el biogás como carburante. Esta misma apuesta está presente en las Medidas Urgentes de la Estrategia Española del Cambio Climático y la Energía Limpia, de 2007 y más recientemente en el Plan de Biodigestión de Purines, aprobado el 26 de diciembre de 2008.

2.2.3 Residuos sólidos urbanos

Se derivan de la basura doméstica que no puede ser reciclada. Estos residuos pueden recibir distintos tratamientos de conversión, ser incinerados o ser tratados para obtener *compost*. Los procesos de tratamiento de los residuos urbanos son beneficiosos porque contribuyen a la mejora de la calidad del medio ambiente, y los gases que despiden son aprovechados con fines energéticos.

Por ejemplo, en los procesos de incineración la energía térmica generada por la combustión de los residuos puede ser rentable para un volumen de residuos tratados superior a 15.000 toneladas al año. En los procesos de compostaje o “disposición controlada”, consistentes en el almacenamiento de los residuos bajo tierra, también se obtienen gases utilizables con fines energéticos, como el biogás. Este proceso requiere que las masas compactadas de residuos sean enterradas en superficies impermeabilizadas, carentes de oxígeno, y que se acondicionen conductos por los que se puedan extraer los gases que se derivan de la fermentación de los residuos enterrados. El biogás que se deriva de estos procesos contiene altas concentraciones de metano, hasta un 50%, elemento que contribuye al efecto invernadero cuatro veces más que el dióxido de carbono, por lo que es indispensable que este gas no se libere directamente en la atmósfera.

2.2.4 Biomasa derivada de recursos agrícolas

RESIDUOS DERIVADOS DE LA BIOMASA AGRÍCOLA

Los residuos derivados de la biomasa agrícola están constituidos por los desechos de la actividad agrícola, incluyendo aquellos productos que no cumplen los requerimientos para ser comercializados, y por los restos que se derivan de las podas o limpiezas que se realizan para mejorar la producción agrícola. Los residuos agrícolas pueden ser leñosos, como las podas de los olivos u otros árboles frutales, o herbáceos, como la paja.

En España los principales residuos herbáceos son la paja de cereal y el cañote (tallo) de maíz. Las Comunidades Autónomas con mayor producción son Castilla y León,

Castilla-La Mancha y Andalucía, acumulando el 65% del total. Los principales residuos leñosos, por su parte, son los derivados de los olivos y los viñedos (Asociación de Productores de Energías Renovables, 2008), concentrándose la producción en Andalucía, Castilla y León, Castilla-La Mancha y Valencia.

Dado que los residuos agrícolas son un subproducto, y por tanto dependen de lo que se decide cultivar y se cosecha efectivamente en un territorio y periodo determinado, resulta difícil planificar su producción. Los residuos de cosechas pueden presentar un mal estado fitosanitario como consecuencia de plagas o enfermedades en los cultivos que los originan, lo que debe ser tomado en cuenta la decisión de tratamiento y gestión posterior.

Los biocombustibles que pueden derivarse de estos residuos o de su combinación con otros materiales orgánicos son ser muy diversos, dependiendo de las tecnologías aplicables y de su destino, que puede ir desde la combustión directa en una caldera hasta la producción de biogás.

RESIDUOS DERIVADOS DE LAS INDUSTRIAS DE TRANSFORMACIÓN AGRÍCOLA

En la actualidad existen una gran variedad de industrias agrícolas cuyos residuos pueden ser dedicados a la producción de biocombustibles. Algunas de las más comunes son las siguientes:

- **Industrias arroceras.** La cascarilla del arroz puede ser usada para la fabricación de combustibles. Por el peligro de su fitotoxicidad, lo más recomendable es que se tueste antes de ser almacenada, lo que incrementa su coste.
- **Frutos Secos.** Las cáscaras rotas, trituras o tostadas, también son utilizadas como combustible. Se suelen triturar para reducir el coste de almacenamiento.
- **Café.** Estas industrias, tras el tostado o molido del grano, generan una cascarilla que sirve como combustible, generalmente para las mismas plantas de café.

2.2.5 Cultivos energéticos

En términos generales, cultivos energéticos son aquellos destinados específicamente para la producción de energía en alguna de sus formas (térmica, eléctrica o para el transporte). Se busca que la biomasa derivada de estos cultivos sea aprovechable casi en su totalidad para la producción de energía. Idealmente, los cultivos deben ser de crecimiento rápido y con características favorables para la producción de bioenergía, como una elevada productividad (con el objetivo de que la energía que se desprenda de la biomasa sea superior a la que requiere su transformación en biocombustible y a la que ha sido necesaria para su cultivo), un bajo coste unitario de producción, resistencia a las plagas, resistencia a la sequía, buena adaptación a tierras de baja productividad y que permitan el uso de tecnologías tradicionales.

Los cultivos energéticos pueden favorecer la diversificación del agro, abriendo nuevas oportunidades para los agricultores profesionales. Asimismo, constituyen en cierto modo un seguro para los productores de biocombustibles, en tanto que su disponibilidad supone una mayor garantía en el suministro. Existen además una serie de ventajas medioambientales, sociales y económicas, como son la reducción de residuos agrícolas, la reducción de emisiones de dióxido de carbono y de SO₂, la potenciación del desarrollo rural y la independencia energética.

Los principales desafíos para el desarrollo de los cultivos energéticos son, entre otros, los siguientes:

- Conocer los cultivos energéticos potenciales en cuanto a su manejo, su adaptación a distintas zonas agrícolas, sus costes, productividad, selección y mejora de las especies, con el fin de realizar una elección adecuada de los mismos.
- Seleccionar las variedades que sean más eficientes como biomasa.
- Conseguir que la rentabilidad alcance niveles competitivos de manera que se consolide un mercado estable.
- Lograr que se desarrolle la cadena logística respecto de cada cultivo, posiblemente diferentes entre sí.

Con respecto a las clases de cultivos energéticos existentes, existen diversas clasificaciones. Nosotros nos remitiremos a la clasificación más común que los diferencia en función al tipo de biomasa y el biocombustible que le corresponde (por ej. Ballesteros, 2001):

- **Cultivos oleaginosos.** Son utilizados para la producción de biodiésel. Los cultivos tradicionales para este uso son la palma aceitera, la soja, el girasol y la colza, aunque también otros como el algodón o el ricino. En la actualidad se busca la difusión de otros cultivos alternativos, que no compitan con los usos alimentarios, como la jatrofa, el cardo, la *Brassica Carinata* (colza etíope) o *Camelina Sativa*.
- **Cultivos alcoholígenos.** Son cultivos con alto contenido en azúcar y almidón, utilizados para la producción de bioetanol. Las materias primas tradicionales para estos fines son la caña de azúcar, el maíz, el trigo, la cebada, la remolacha y la yuca. También en este sector se busca una mayor difusión de cultivos alternativos, como el sorgo, el cardo, la patata o la chumbera.
- **Cultivos lignocelulósicos.** Comprenden tanto cultivos leñosos (como el eucalipto o el chopo) como herbáceos (como la *Cynara*, el *Mischantus*, el *switchgrass*). Para satisfacer eficientemente la demanda producción de biomasa para combustibles deben ser plantaciones de alta densidad con especies de rápido crecimiento, que puedan establecerse fácilmente en cualquier terreno, incluso

terrenos marginales, y con un balance energético positivo. Estos cultivos cuentan con grandes perspectivas de desarrollo por sus altos rendimientos en producción de bioenergía por hectárea.

Es preciso tener en cuenta que la sustitución de carburantes por biocarburantes en el transporte no necesariamente elimina por completo las emisiones de dióxido de carbono correspondientes al ciclo completo, es decir, incluyendo todas las actividades necesarias para obtener cultivos energéticos y producir biocarburante a partir de ellos. La investigación realizada sobre esta cuestión ha crecido exponencialmente en los últimos años, y los resultados sobre el saldo de emisiones son diversos y no siempre consistentes, aunque coinciden en señalar que la segunda y posteriores generaciones de producción de biocarburantes estarán mucho más cerca de conseguir un saldo neto nulo. Aunque una revisión de los resultados de este debate excede los objetivos de este informe, puede resultar interesante conocer los datos compendiados por la Agencia Internacional de la Energía que a modo de resumen se presentan en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2 Reducción potencial de las emisiones de GEI, según cultivo

Producto	Mínimo	Máximo
Bioetanol de maíz	20 %	50 %
Bioetanol de remolacha de azúcar	30 %	50 %
Bioetanol de trigo	30 %	60 %
Biodiésel de aceite vegetal (colza, soja, girasol...)	45 %	75 %
Bioetanol de caña de azúcar	70 %	90 %
Biodiésel de aceites residuales	65 %	100 %
Bioetanol lignocelulósico	70 %	100 %


Fuente: Agencia Internacional de la Energía.

La agenda de investigación se dirige también en la actualidad a la posibilidad de multicultivos, de tal forma que convivan diversos tipos de plantaciones en una misma superficie, práctica que puede ser más adecuada desde la perspectiva energética aunque dificulte el proceso de cosecha. E incluso también se está investigando en cultivos de plantas acuáticas (como el jacinto de agua) o incluso algas.

Son numerosos los cultivos energéticos alternativos que han suscitado interés considerable en la última década, destacando probablemente en nuestro país el caso del cardo, la patata y el sorgo papelero. El *cardo* es una especie herbácea perenne que se adapta muy bien a las condiciones del clima mediterráneo. En los años en los que se produce una pluviometría adecuada, una vez que el cultivo está bien establecido, se pueden llegar a producciones medias de biomasa de aproximadamente 15 toneladas de materia seca por hectárea y año, y aún más si se provee de riego en la época de invierno. Es un cultivo apto para grandes áreas de secano, no

utilizadas por cultivos agroalimentarios tradicionales, y zonas de regadío con problemas de sobreexplotación de acuíferos. Su característica de cultivo perenne permitiría también la recuperación de zonas áridas, con el consiguiente beneficio medioambiental adicional a los económicos que produce la biomasa aprovechable para la fabricación de combustibles.

La *pataca* es otro cultivo energético experimental para la obtención de biocarburantes (en este caso bioetanol). Es un cultivo de tipo perenne de cuya planta se aprovechan las hojas, tallos, flores y tubérculos. Requiere de un clima cálido o templado para su desarrollo, y es resistente a las temperaturas bajas. Su cosecha es relativamente poco costosa y es altamente productivo, pero su eficiencia energética no resulta tan alta debido al bajo contenido de azúcares totales. El *sorgo papelero* es un cultivo lignocelulósico con bajos costes de producción, que requiere pocos fertilizantes y poco riego. Precisa temperaturas cálidas o templadas para su desarrollo, 12°C en fase inicial y 20°C durante su crecimiento. Tiene un sistema radicular potente, semillas débiles y tallos que llegan a alcanzar los cuatro metros de altura. El sorgo y la pataca, presentan, además una elevada producción de biomasa adicional, que puede ser aprovechada para la generación de energía calorífica.

The background of the entire page is a photograph of a field of tall, thin plants, possibly a crop like rapeseed, with a large, circular, metallic structure, possibly a wind turbine or a large-scale agricultural machine, partially visible in the background. The image is overlaid with a semi-transparent green filter. The text is centered in a dark green horizontal band.

3. BIOENERGÍA: TECNOLOGÍAS Y GENERACIONES

3. BIOENERGÍA: TECNOLOGÍAS Y GENERACIONES

3.1 Tecnología, procesamiento y conversión de la biomasa en energía

La distinción entre biomasa con destino a aplicaciones térmicas o eléctricas, por un lado, y biocarburantes para el transporte, ha dominado la práctica y la investigación en las últimas décadas. Es preciso señalar, sin embargo, que tal distinción va perdiendo paulatinamente su sentido a medida que van evolucionando y se van desarrollando nuevas tecnologías de conversión de la materia prima en biocombustible, máxime cuando estos últimos pueden emplearse también para alimentar centrales generadoras de calor y/o electricidad.

Se considera que las estrategias ganadoras pasan por tratar de manera unificada los procesos y tecnologías de conversión de la biomasa tanto en biocombustibles como en electricidad, abandonando así la idea que es preciso optimizar de manera separada cada uno de los productos finales (y para una concreta aplicación, sea ésta térmica, eléctrica, de transporte, etc.). Las sinergias presentes en estas dos actividades, sólo podrán aprovecharse de forma plena, logrando una mayor eficiencia total, si se parte de esta configuración “híbrida”, por utilizar la terminología de UNIDO (2008).

Aunque por razones de conveniencia expositiva, en estas páginas vamos a seguir el esquema más clásico, no debemos dejar de lado las advertencias que acabamos de hacer.

Comenzamos señalando brevemente los distintos métodos y procedimientos que pueden ser necesarios para la conversión de la biomasa en energía.

3.1.1 Métodos fisicoquímicos

La biomasa debe ser sometida a determinados procesos antes de ser finalmente convertirla en combustible.

Los procesos físicos hacen referencia a los procedimientos previos de tratamiento de los inputs que se conocen como densificación y homogeneización, que son necesarios para preparar y acondicionar la biomasa para los procedimientos posteriores. La densificación es un tratamiento para lograr que la biomasa sea más compacta y de

esta manera mejoren sus propiedades. Se obtiene un producto similar a los aglomerados de madera, facilitando su transporte y almacenamiento. La homogeneización comprende los procedimientos de astillado, triturado y secado, que facilita el tratamiento de la biomasa con fines energéticos, dotándola además de las condiciones adecuadas de humedad y tamaño.

Los procedimientos químicos consisten, por ejemplo, en la esterificación de los compuestos para obtener combustibles líquidos. Tal es el caso, de los aceites vegetales derivados del prensado de la biomasa, que sometidos al proceso de esterificación producen ésteres puros, con propiedades muy parecidas a las del gasóleo.

3.1.2 Métodos termoquímicos

Son procesos mediante los cuales la biomasa se somete a determinadas condiciones de presión y temperatura, que la transforman en combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, dependiendo de la técnica empleada. En función a la cantidad de oxígeno involucrada, estos métodos se clasifican en combustión, pirólisis y gasificación.

- **Combustión directa.** Es un procedimiento por el que se someten los residuos a temperaturas entre los 150° y los 800°C, sin controlar la cantidad de oxígeno. Los residuos se oxidan, liberándose agua y dióxido de carbono y obteniéndose energía térmica que puede ser usada en viviendas o industrias.
- **Pirólisis.** La pirólisis consiste en la descomposición térmica de la materia en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. En este caso, se somete la materia prima a temperaturas entre 500° y 600°C, en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Se logra así la descomposición de la materia y se obtiene una mezcla en parte sólida (principalmente carbón), en parte líquida y en parte gaseosa. El gas que se desprende está compuesto por monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos ligeros. Es un gas pobre, de bajo poder calorífico, que puede ser utilizado para producir electricidad, mover vehículos o accionar motores. Este gas también puede servir de base para la producción de metanol, que podría sustituir a la gasolina en los motores de combustión interna.
- **Gasificación.** La gasificación es un proceso termoquímico por el que un residuo orgánico es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua). Es un tipo de pirólisis que utiliza el oxígeno como comburente para optimizar la producción del gas pobre antes mencionado. Su composición y sus propiedades

caloríficas dependen de la materia prima utilizada para su elaboración. Se reduce significativamente la obtención de materia sólida en relación al procedimiento anterior.

3.1.3 Métodos biológicos (o bioquímicos)

En este proceso se hace uso de la composición bioquímica de las materias primas y se aprovecha la acción de microorganismos para la producción de combustibles líquidos y gaseosos, mediante los siguientes procedimientos:

- **Digestión anaeróbica.** Digestión de la biomasa en un ambiente sin oxígeno, y en una temperatura alrededor de los 30°C. Es aplicado fundamentalmente a productos biodegradables para reducir su carga contaminante. Este proceso da como resultado el biogás, compuesto fundamentalmente por metano, y una materia sólida que sirve como fertilizante.
- **Fermentación alcohólica.** Consiste en la acción de ciertas enzimas sobre carbohidratos para obtener etanol, y sobre cultivos azucareros o de cereales para obtener alcoholes o bioalcoholes. Para que ello se logre, el proceso se realiza en presencia de oxígeno, y el resultado de la destilación es el biocombustible, que puede utilizarse como carburante en reemplazo de la gasolina.
- **Fotoproducción de combustibles.** Algunos autores consideran a este proceso dentro de los mecanismos de transformación de la biomasa, aunque su reconocimiento no es generalizado. Consiste en la acción de determinados microorganismos sobre una mezcla de agua con compuestos orgánicos, que llevará a obtener hidrógeno, que se puede utilizar directamente como combustible o para producir energía eléctrica.

3.2 Biocarburantes de primera generación

3.2.1 Fuentes convencionales para la tecnología de primera generación

En la situación actual, los biocombustibles líquidos llamados “de primera generación” son elaborados principalmente a partir de cultivos alimentarios y han alcanzado una etapa de desarrollo más avanzada asociada a los bajos precios en el mercado agrícola. Dentro de esta categoría, los biocombustibles con mayor desarrollo industrial y comercial hasta la fecha han sido el bioetanol, principalmente a partir de caña de azúcar y maíz, y el biodiésel, a partir de semillas oleaginosas.

La materia prima biológica que utilizarán los diferentes países productores de biocombustibles viene determinada por las características climáticas y edáficas de su

geografía. De esta manera, los países que se encuentran en regiones templadas generalmente usan cereales que crecen naturalmente en esas zonas, como el maíz, mientras que los países en regiones tropicales habitualmente explotan dichas ventajas comparativas para producir caña de azúcar, aceite de palma, soja y yuca.

Los mayores productores de bioetanol a nivel mundial son los Estados Unidos y Brasil, que basan su producción en la hidrólisis y fermentación del almidón y la fermentación de la caña de azúcar, respectivamente, concentrando el 90% de la producción. La Unión Europea, por su parte, produce el 90% del biodiésel del mundo, principalmente a partir de aceite de colza. En otras regiones del mundo, el rendimiento oleico del aceite de palma lo ha convertido en una importante materia prima para la producción de biodiésel. Malasia e Indonesia, con más de 8,7 millones de hectáreas destinadas a su cultivo, se encuentran entre los mayores productores. Cabe resaltar que dadas las enormes demandas de energía en la región asiática muchas tierras forestales, pluviselvas y pantanos turbosos son convertidas en tierras agrícolas para el cultivo de aceite de palma (FAO, 2008c).

3.2.2 Tipos de biocarburantes

BIODIÉSEL

Este biocarburante es un sustituto del diésel y se deriva principalmente de aceites vegetales tales como los de colza, soja, girasol o palma, aunque también de grasas animales y aceite reciclado. Es por ello que un parámetro de importancia capital a la hora de escoger un cultivo como base de la producción de biodiésel es el rendimiento oleico del mismo (cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Rendimiento oleico de determinados cultivos

Cultivo	kg aceite/ha	litros aceite/ha
Maíz	145	172
Avena	183	217
Cáñamo	305	363
Soja	375	446
Café	386	459
Avellana	405	482
Sésamo	585	696
Girasol	800	952
Cacao	863	1.026
Cacahuete	890	1.059
Amapola	978	1.163
Colza	1.000	1.190
Aceituna	1.019	1.212

Continúa

Continuación

Cultivo	kg aceite/ha	litros aceite/ha
Ricino	1.188	1.413
Nueces de pecán	1.505	1.791
Jojoba	1.528	1.818
Jatrofa	1.590	1.892
Nueces de macadamia	1.887	2.246
Nueces de Brasil	2.010	2.392
Aguacate	2.217	2.638
Coco	2.260	2.689
Palma	5.000	5.950

Fuente: Sánchez Macías, *et al.* (2006).

El proceso para la producción de biodiésel es relativamente sencillo. Se inicia obteniendo el aceite a partir de las semillas mencionadas. El proceso más común consiste en la transformación mediante un proceso químico llamado transesterificación, por el cual se mezcla la materia prima con metanol y sosa cáustica, produciéndose metiléster y, como residuo, glicerina. La glicerina obtenida de esta forma puede ser utilizada en otros sectores como los vinculados a la alimentación animal, la industria farmacéutica y otros sectores industriales.

El proceso de transesterificación se lleva a cabo en un reactor, en el que además se producen las fases posteriores de separación, purificación y estabilización. Es preciso destacar que la transesterificación no es el único proceso existente, sino que existen otros que pueden ser más viables y eficientes dependiendo de la cantidad de producción deseada y la calidad y recuperación del alcohol y del catalizador. En concreto, las plantas con menor capacidad y alimentación discontinua pueden encontrar rentable utilizar procesos *Batch*, aunque resultan menos respetuosos con el medio ambiente (cf. KENT, MICHAEL Y KATHERINE, ANDREWS, 2007).

La materia prima más usada en Europa es la colza, que tiene problemas para su expansión como cultivo debido a la necesidad de rotación. A pesar de que las proyecciones indican una mayor demanda de biodiésel en el futuro, es previsible que el crecimiento de la producción de colza sea más lento.

Obviamente, el coste de producción del biodiésel depende básicamente de la materia prima utilizada. El biodiésel obtenido de grasa animal y aceites reciclados, por ejemplo, tiene un coste mucho menor que el que procede de aceites vegetales como la colza y la soja, incluso más bajo que el de fuentes fósiles.

Cuadro 3.2 Costes de producción de biodiésel por áreas geográficas y materias primas

Costes de producción	Dólares
Gasóleo	0,25 - 0,27
Biodiésel de colza/girasol (UE)	0,65 - 0,80
Biodiésel a base de materia prima importada (UE)	0,35 - 0,50
Biodiésel de soja (EEUU)	0,40 - 0,75

Fuente: Sánchez Macías, *et al.* (2006).

Nota: costes por litro de contenido energético equivalente.

En Europa, la producción de biodiésel se realiza a escala industrial desde 1992, en respuesta a las directivas de la Unión Europea. Es realizada principalmente por Alemania, Francia, Italia y Austria. La producción en los últimos años ha crecido aproximadamente un 35% cada año, y se estima que el total anual producido es mayor a los 6,1 mill. Tm.

En España la fabricación de biodiésel se realiza básicamente a partir de aceite de girasol y aceite de soja. El cultivo de girasol es preferente en España por las condiciones geográficas y climáticas, que favorecen a su desarrollo. Existen políticas desde la Unión Europea que tradicionalmente han favorecido el cultivo de estas semillas, como la retirada de tierras obligatoria de la Política Agrícola Común (PAC), sin embargo la volatilidad en la demanda y oferta de los biocombustibles en el tiempo y la poca eficiencia económica de su cultivo para la producción de aceites reducen el interés de los agricultores. También se están realizando pruebas con aceite de colza y con *Brassica Carinata*.

En la actualidad existen en España aproximadamente 24 plantas que producen biodiésel, con una capacidad de producción instalada que supera las 815.000 Tm. En 2007, la producción efectiva ha sido inferior al 20% de la producción potencial.

BIOETANOL

El bioetanol es un producto químico que se deriva de un proceso de fermentación de los azúcares que se encuentran en las plantas en forma de sacarosa, celulosa, hemicelulosa y almidón. El proceso de obtención comienza con el molido de la biomasa, principalmente compuesta por semillas, granos y plantas para extraer el azúcar, que será combinado con levadura y posteriormente sometido a un proceso de fermentación en una cámara anaeróbica. Existen dos tipos de procesos de molido, que se utilizan en razón del interés en obtener otros productos además del etanol:

- Proceso de **molido húmedo**, aplicado en plantas con una producción a gran escala de alcohol, donde se busca obtener además subproductos como la dextrosa,

sirope o fructuosa. Es muy costoso en el pre-tratamiento de la biomasa y su separación en diferentes componentes.

- Proceso de **molido en seco**, consistente en pulverizar los granos hasta obtener finas partículas usando un sistema mecánico, con el fin de obtener una harina que, una vez hidrolizada o convertida en sacarosa a través de enzimas, es enfriada y combinada con levadura para que empiece la fermentación. Además del alcohol se obtienen granos secos de destilería con solubles (DDGS) que, una vez pelletizados, pueden ser utilizados como alimento de ganado.

Durante el proceso de fermentación la levadura segrega enzimas que digieren el azúcar, descomponiéndola en ácido láctico, hidrógeno, dióxido de carbono y bioetanol.

Cuando la materia prima son cereales, el proceso necesita un paso previo de sacarificación para poder romper las grandes moléculas de almidón en azúcar simple, lo que implica un mayor gasto de energía. Finalmente el producto debe ser destilado para eliminar la levadura y los subproductos, para luego ser deshidratado y lograr un resultado con un 95% a 98,5% de concentración de bioetanol. El rendimiento alcohólico de las diferentes materias primas se torna así un factor relevante (cuadro 3.3).

Cuadro 3.3 Rendimiento alcohólico de diferentes materias primas

Materia prima (toneladas)	Alcohol (hectolitros)
Azúcar (remolacha)	1
Melaza (caña)	3
Trigo	3,6
Maíz	4

Fuente: European Union of Ethanol Producers (UEPA).

El uso de bioetanol para vehículos puede realizarse al mezclarse con la gasolina, o bien ser usado directamente como combustible, lo que obliga a realizar unas ligeras modificaciones en el sistema de encendido del motor. La energía que contiene un litro de bioetanol representa el 66% de la que contiene un litro de gasolina, aunque su alto octanaje mejora la combustión y el rendimiento de la gasolina. Comparado con la gasolina, el bioetanol contiene tan sólo restos de azufre, y al combinarse con la gasolina reduce las emisiones de óxido sulfúrico, un componente de la lluvia ácida. Las emisiones netas de dióxido de carbono dependen básicamente de la cantidad de combustibles fósiles empleada para su producción.

El coste más importante de la producción de bioetanol es el de la materia prima agraria, por lo que no existe un único tipo de producción de etanol, sino que dependiendo de la materia prima empleada encontraremos diferentes cifras de costes.

Como ya apuntamos, el referente mundial en la producción de bioetanol es Brasil. Los datos fiables disponibles por la IEA (2004) arrojan un coste de 0,34 \$ para un contenido energético equivalente a un litro de gasolina. Unos elevados precios del petróleo provocan un efecto impulsor de la producción de bioetanol en todos aquellos países cuyos climas permiten la producción masiva a partir de caña. En este sentido, en la India se ha producido un importante despegue en la producción y uso de este combustible donde su presencia en la formulación de las gasolinas tradicionales es obligatoria en un porcentaje del 5% (E-5).

El maíz es la materia prima empleada más comúnmente en EEUU. La EIA (2004) estima un coste por litro en el entorno de 0,29 \$ (coste equivalente al litro de gasolina de 0,43 \$), para la producción en nuevas plantas con una capacidad en el entorno de las 200.000 toneladas al año.

Las estimaciones del coste de producción de bioetanol en Europa presentan importantes oscilaciones dependiendo de varios factores. Las más importantes son el país donde se lleva a cabo la producción, el tamaño de planta, la materia prima empleada, y el origen geográfico de esta. La IEA (2004) estima unos costes para Alemania de 0,48 \$ por litro (0,71 \$ en coste equivalente). En este caso, la explicación del mayor coste radica nuevamente en el mayor coste de la materia prima agraria, así como en el de los inputs energéticos, cuyo coste es mayor en Europa (cuadro 3.4).

Con relación a España, se han detectado importantes diferencias en costes según la materia prima utilizada. Campo Heredero (2005) calcula el coste del litro de bioetanol producido a partir de patata, trigo, cebada y sorgo y obtiene unos valores de 0,57, 0,67, 0,48 y 0,39 euros, respectivamente.

Cuadro 3.4 Comparación internacional de costes de producción de bioetanol

Capacidad de la planta	Alemania		EEUU		
	50 millones de litros		200 millones de litros		53 millones litros
Materia prima	Trigo	Remolacha	Trigo	Remolacha	Maíz
Coste de la materia prima	0,28	0,35	0,28	0,21	0,07
Coproductos	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	0,00
Coste neto materia prima	0,21	0,28	0,21	0,14	0,07
Mano de obra	0,04	0,04	0,01	0,03	0,01
Otros costes operativos	0,20	0,18	0,20	0,11	0,09
Recuperación del coste de capital	0,10	0,10	0,06	0,04	0,06
Total	0,55	0,59	0,48	0,32	0,23
Total equivalente	0,81	0,88	0,71	0,48	0,34

Fuente: IEA (2004) y elaboración propia.

BIOBUTANOL

El biobutanol, comúnmente llamado biogasolina, es un alcohol que puede ser obtenido a partir de biomasa azucarera y/o amilácea, como el maíz, el trigo, la caña de azúcar y la remolacha, pero obtenido a través un proceso diferente de fermentación y destilación conocido como proceso ABE (acetona-butanol-etanol), y por procesos que emplean otras bacterias y enzimas. Las investigaciones apuntan al uso futuro de lignocelulosa como materia prima para la producción de biobutanol.

El biobutanol presenta una densidad energética 30% mayor al bioetanol, y puede ser quemado directamente dentro de los motores de gasolina sin necesidad de modificaciones del motor. Además es menos corrosivo y es menos soluble en el agua que el bioetanol, y puede ser distribuido con la infraestructura existente. A pesar que existen empresas que se encuentran desarrollando la viabilidad comercial de sus procesos, por el momento el biobutanol no está desarrollado en fase comercial.

MTBE

Otra de las potencialidades que ofrecen los bioalcoholes como el etanol o el metanol es que, al ser combinados con isobuteno, derivado del petróleo o del gas natural, permiten obtener combustibles líquidos llamados éteres. Estos éteres son componentes aptos para ser mezclados con la gasolina, por las ventajas que presentan su alto octanaje y la reducción de la volatilidad de la gasolina, además de la reducción de su evaporación y la disminución en la producción de gases contaminantes. La utilización de aditivos oxigenantes para recobrar el octanaje y reducir emisiones de gas de efecto invernadero llevaron al uso de bioalcoholes tales como el etanol, metanol, terbutil alcohol (TBA), y principalmente el metil-terbutil éter (MTBE), y el etil-terbutil éter (ETBE).

Antes que el MTBE fuera utilizado como aditivo para la gasolina se utilizaba el plomo para aumentar el octanaje, pero ante las externalidades negativas causadas principalmente sobre la salud y el medioambiente las empresas empezaron a reemplazarlo por MTBE hacia la década de 1980, principalmente en los Estados Unidos. Su uso se fue incrementando hacia la década de 1990, pero al no ser fácilmente degradable y presentar una alta solubilidad en el agua, el MTBE causó problemas de contaminación, sobre todo de recursos acuíferos, haciendo al agua no apta para el consumo humano, lo que terminó con una declaración de producto contaminante en septiembre de 1999 por parte de la Agencia para la Protección Ambiental de EEUU.

ETBE

El ETBE se obtiene de la reacción catalítica entre el isobuteno y el etanol, presentando frente al MTBE una serie de ventajas como aditivo, entre las cuales cabe

mencionar su baja solubilidad en el agua (disminuyendo la posibilidad de contaminación), su menor contenido de oxígeno (por lo que no es necesario modificar el carburador), una presión de vapor más idónea, una mayor reducción de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados, menor poder corrosivo, mayor potencia de calor, y mayor resistencia y rendimiento de producción.

BIOGÁS

La biomasa que proviene de la industria agropecuaria, así como los residuos municipales orgánicos y los provenientes de podas agrícolas y forestales, puede ser utilizada como materia prima para la producción de biogás. Este combustible se produce por la digestión anaeróbica de la materia orgánica biodegradable, que se descompone mediante la acción de microorganismos (principalmente bacterias metanogénicas) en un ambiente en ausencia de oxígeno, generándose una mezcla aproximada al 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, con una presencia mínima de otros gases, a la que se conoce como biogás. El biogás es más liviano que el aire, y tiene como usos energéticos principales la generación de electricidad y calor, convirtiéndose en un buen sustituto del queroseno, la leña o el gas licuado. Al ser mezclado con el aire también puede ser utilizado como combustible en motores de combustión, aunque para ello se requieren ciertas modificaciones en los motores.

Los procesos de obtención del biogás parten del empleo de biodigestores, que se utilizan en muchos países en desarrollo a nivel familiar y también en pequeñas instalaciones pecuarias, a partir principalmente de estiércol animal y demás residuos. En países industrializados, como Alemania o Suecia, se han construido biodigestores a gran escala con tecnologías más perfeccionadas, sobre la base del uso de los lodos de aguas residuales, los desechos municipales sólidos o las aguas orgánicas residuales de origen industrial, básicamente de los sectores papeleros, cervecero y lácteo. También se utilizan subproductos de los cultivos que tienen un bajo contenido de lignina, como el trigo y la alfalfa.

La producción de biogás a través de la digestión anaeróbica presenta numerosas ventajas, entre las que mencionamos:

- Previene la liberación de metano en el aire, contribuyendo a la reducción de la contaminación atmosférica.
- Reduce la contaminación de las aguas, al utilizar el material contaminante en el proceso de generación energética.
- La materia orgánica es de fácil recuperación, siendo económicamente viable con un suministro estable de biomasa (estiércol de ganado u otros residuos).
- No se requieren amplias instalaciones.
- Reduce el olor e incrementa la higiene.

- Genera subproductos a partir de los lodos residuales que pueden servir como fertilizante de rápida producción, contribuyendo la conservación de los suelos.
- Ayuda a reducir plagas de plantas.

ACEITE VEGETAL PURO

El aceite vegetal puro (AVP) es elaborado a través de un proceso de prensado y filtrado (sedimentado) de plantas oleaginosas, como la palma, el coco, la colza, el cacahuete, el girasol o la soja. Además de la extracción de aceite vegetal natural, se obtiene un subproducto en el mismo proceso, conocido como torta, que, dependiendo de la variedad vegetal oleaginosa, puede ser utilizada como alimento para ganado por su alto contenido proteico o como fertilizante natural. Asimismo, presenta un consumo energético en su proceso de producción equiparable al que presentan los combustibles fósiles, e inferior en un 12% del consumo de contenido energético que presentan el biodiésel y el bioetanol.

El uso de AVP como carburante para el transporte requiere modificaciones del sistema de combustión del motor. Estas modificaciones pueden no ser de índole menor, acarreando incluso el cambio de pistones y sistema de inyección. De cualquier forma, una vez realizados los cambios técnicos, el motor modificado no solo será capaz de funcionar con AVP sino con cualquier combinación de biodiésel o gasóleo.

En países desarrollados como Alemania se ha desplegado a nivel comercial la producción del AVP como combustible para el transporte, especialmente el transporte industrial, con productos tales como el aceite de colza completamente refinado, el aceite de colza prensado, y mezclas de aceites vegetales, para lo cual se ha implementado una amplia red de estaciones de servicio en las principales ciudades del territorio alemán. En este mismo país, también se utiliza aceite puro en motores agrícolas, como sustituto del gasóleo pesado, existiendo a la fecha varias marcas alemanas que comercializan vehículos adaptados a este biocombustible.

3.2.3 Nuevos cultivos para las tecnologías de primera generación

Existen cultivos que no son utilizados para la producción de biocombustibles, pero que podrían ser aprovechados para el desarrollo de combustibles de primera generación. Tal es el caso de la jatrofa, la yuca (también llamada mandioca o casava) y el sorgo, materias primas en las cuales la intensidad energética para la elaboración de biocombustibles aparentemente es menor que en los demás cultivos tradicionales.

La yuca y el sorgo en la actualidad están siendo cultivados en grandes extensiones de tierra, y un factor adicional que apoya su utilización como materia prima para la biomasa de los biocombustibles de primera generación es la posibilidad de cultivarlos en

tierras de baja calidad. La yuca es una planta tropical, por lo que puede crecer en climas cálidos con abundantes lluvias. Este cultivo tiene abundante almidón, lo que favorece a la obtención de buenos resultados en la elaboración del biocarburante. Por su parte el sorgo africano puede crecer en climas muy secos y es muy resistente al calor, aunque su productividad es inferior. En la actualidad se está investigando sobre variedades de sorgo de rápido crecimiento, que produce grandes cantidades de biomasa, lo que serviría para la producción de biocombustible lignocelulósico y permitiría reservar el grano de este cultivo para otras aplicaciones.

Finalmente, la jatrofa es un cultivo no comestible, cuyas semillas trituradas pueden ser usadas para producir un aceite tóxico. También puede cultivarse en tierras semi-áridas, con climas cálidos y húmedos. India se está dedicando en la actualidad al cultivo de esta materia prima para el desarrollo de biocombustibles, y es posible que por sus características pueda cultivarse también en otras áreas tales como el sur de África, Latinoamérica o el sudeste asiático.

3.3 Segunda generación de biocombustibles

3.3.1 Fuentes para la tecnología de segunda generación

Cada vez es más aceptado que los biocarburantes de primera generación, obtenidos a partir de productos alimenticios como los granos, la caña de azúcar, la remolacha o las oleaginosas, presentan una limitación para poder alcanzar los objetivos de sustitución de los combustibles de origen fósil, mitigación del cambio climático e impulso del crecimiento económico (IEA, 2008a). Se están poniendo en revisión cuestiones importantes, como la propia sostenibilidad ambiental y energética del proceso así como la posibilidad de que los cultivos energéticos representen una suerte de competencia desleal frente usos alimenticios o de producción textil de las cosechas. Todo ello ha conducido a un interés creciente en desarrollar tecnologías de producción de biocombustibles a partir de biomasa de uso no alimentario.

Estos avances en la segunda generación de biocombustibles permitirían la explotación de un recurso que incrementa de manera exponencial la variedad y cantidad del stock disponible para la producción de biocombustibles, la llamada “biomasa celulósica”, que se encuentra en bioelementos tales como la madera, el pasto natural y los residuos forestales y agrícolas. En comparación con las tecnologías convencionales, que solo llegan a explotar una fracción del material vegetal, la explotación de biomasa celulósica daría lugar a una mayor cantidad de materia prima por hectárea para su conversión en biocombustibles, mientras que por su capacidad para crecer en una amplia variedad de suelos degradados y fértilmente pobres reduciría el impacto agroalimentario de destinar tierras aptas para la agricultura con el fin de producir energía.

Hay que tener en cuenta que la descomposición de la biomasa sobre los suelos es muy importante para preservar la fertilidad y, por ende, la productividad de la tierra, por lo que una sobreexplotación de los residuos podría tener efectos negativos en la calidad de los suelos.

Otro de los beneficios más destacados de las tecnologías de segunda generación es el que se refiere a la considerable reducción de emisiones de gas de efecto invernadero, en comparación con los procesos de producción basados en combustibles fósiles. La utilización de cosechas permanentes, maderas y residuos, así como la minimización del uso de fertilizantes y el uso de biomasa y otras fuentes renovables para el proceso de producción, conduce principalmente a la notable disminución de emisiones de CO₂, al ser absorbido por la biomasa durante su propio ciclo de vida.

Una de las características moleculares que definen la biomasa celulósica es su fuerza de tensión, debido a la cual el proceso de transformación para la obtención de biocombustibles se hace más difícil en comparación con la obtención proveniente del resto de la biomasa. Sin embargo, esta misma desventaja puede transformarse en una ventaja cuando se trata del almacenamiento, el mantenimiento de la calidad y la resistencia al deterioro de la materia prima. Por otro lado, su carácter voluminoso puede requerir el desarrollo de una infraestructura de transporte propia que, junto al proceso de cosecha, deberá mantener al mínimo posible el contacto con el oxígeno y la humedad a efectos de minimizar la pérdida de biomasa.

Los principales elementos que componen la biomasa celulósica son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. La celulosa es una molécula compuesta por largas cadenas de glucosa. La hemicelulosa, con menos carbono en su composición que la celulosa, es más fácil de transformar con calor y procesos químicos. La lignina es el elemento que dota de rigidez a la estructura de árboles y plantas. Las proporciones de las cantidades de estos elementos varían según los tipos de árboles y plantas, manteniéndose entre 40% a 55% de celulosa, 20% a 40% de hemicelulosa y 10% a 25% de lignina.

3.3.2 Tecnologías básicas: conversión bioquímica y termoquímica

La conversión de biomasa celulósica tanto para la generación de biocombustibles, como para la generación de calor, electricidad y bioproductos se produce principalmente a través de la conversión termoquímica y bioquímica.

El proceso de conversión termoquímico para el desarrollo de biocombustibles avanzados incluye tanto la gasificación y síntesis, mediante el proceso Fischer-Tropsch, como la pirólisis. De esta forma la biomasa celulósica, que es calentada en un espacio con escaso oxígeno, procede a convertirse en una mixtura de monóxido de carbono, hidrógeno, dióxido de carbono y metano, que mediante licuefacción puede

ser convertido en diferentes clases de combustible tales como el bioetanol, hidrógeno, diésel sintético y gasolina sintética. Como la gasificación permite convertir el total de la biomasa, la producción de combustibles por tonelada métrica es mucho mayor que la producción obtenida con las tecnologías de primera generación.

La pirólisis consiste en el calentamiento de la biomasa en un ambiente carente de oxígeno, proceso por el cual se obtiene carbón, gas no condensable y aceite pirolítico, utilizable directamente como combustible, combustible refinado o para productos químicos. El proceso pirolítico puede ser clasificado como convencional, rápido o muy rápido, dependiendo de la temperatura, la ratio de quema, el tamaño de las partículas y el tiempo de estancia sólida durante el proceso. Muchas formas de biomasa pueden ser empleadas en este proceso, entre las que se encuentran los residuos agrícolas como paja, huesos del olivo, o cáscaras de nueces, y residuos forestales como cortezas de árboles, ramas y tallos.

Aunque la pirólisis es muy usada en pequeñas plantas, todavía no ha logrado un desarrollo a gran escala de infraestructura e instalaciones en la mayoría de casos. Asimismo, sería deseable que los diferentes métodos de conversión para los diferentes tipos de biomasa se pudieran encontrar en una misma instalación de producción, con la finalidad de optimizar y regular la cantidad de biomasa que el proceso de obtención energética requiere, objetivo que por el momento está lejos de cumplirse.

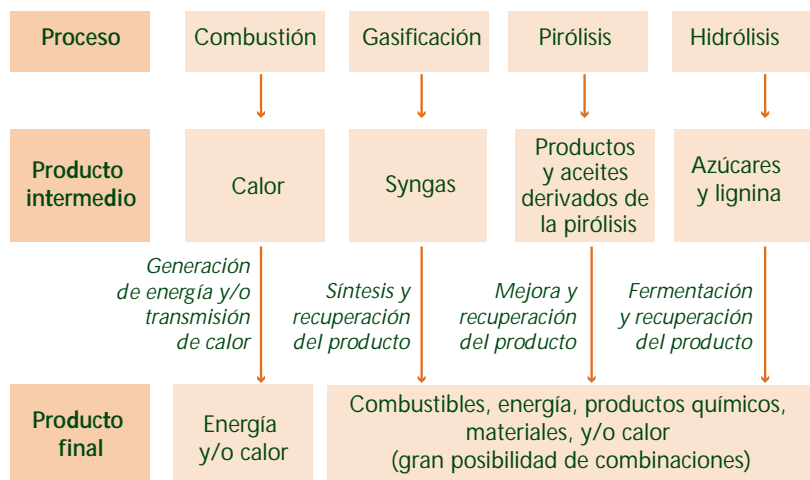
La hidrólisis es un proceso bioquímico de conversión de la biomasa en combustibles líquidos, como el bioetanol basado en el uso de ácidos para romper las cadenas de la robusta molécula de celulosa en pequeñas moléculas de azúcar listas para su fermentación. En este caso se habla de hidrólisis ácida. Si, por el contrario, se busca romper las cadenas por medio de levaduras u otros enzimas, la hidrólisis se denomina enzimática.

3.3.3 Tipos de biocombustibles de segunda generación

BIOETANOL DE LIGNOCELULOSA

El bioetanol puede obtenerse de la biomasa lignocelulósica, que se encuentra en forma de madera o paja, o incluso en residuos municipales sólidos, que están compuestos por celulosa, hemicelulosa y lignina como sustancias principales. Una gran variedad de combustibles pueden ser obtenidos a partir de material lignocelulósico. Aunque actualmente la investigación se encuentra principalmente orientada hacia su utilización para obtener bioetanol, también existe interés en producir otros componentes químicos y biocombustibles a través de estas tecnologías.

Gráfico 3.1 Biomasa lignocelulósica: rutas tradicional y moderna



Fuente: UNIDO (2008).

La obtención de bioetanol a partir de material lignocelulósico es más laboriosa y costosa que por medio de la fermentación azucarera y almidonera, debido principalmente a la dificultad química en la transformación de sus polímeros, más complejos, que requiere un pretratamiento adicional donde el material lignocelulósico sea separado en sus tres componentes principales y se hidroliza la hemicelulosa en azúcares, para posteriormente realizar la hidrólisis propia de la celulosa. Debido a estas razones, la producción de biocombustibles mediante esta tecnología se encuentra actualmente en una etapa de investigación, desarrollo y demostración precomercial.

Existen dos rutas tecnológicas para la producción de este biocarburante a partir de materia lignocelulósica: la primera es bioquímica y la segunda termoquímica. La primera se centra en la llamada hidrólisis enzimática, pues son enzimas los responsables de extraer, en una fase de pretratamiento, las fracciones de celulosa, hemicelulosa y lignina presentes en la materia lignocelulósica. La lignina, además, puede utilizarse como biomasa combustible en el mismo proceso, dados los requerimientos energéticos del mismo.

La ruta termoquímica encadena un doble proceso, gasificación y síntesis catalítica. Por un lado con la gasificación, que somete a la biomasa a elevadas temperaturas en presencia de oxígeno o aire y vapor de agua, obteniéndose un gas que contiene hidrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos y alquitranes. Posteriormente, mediante una síntesis catalítica entre el monóxido de carbono y el hidrógeno se

obtiene el etanol. Sin embargo, del proceso de gasificación nos ocuparemos más adelante cuando hablemos del syngas.

Sin embargo, existe un número de áreas clave que aún necesitan un fuerte esfuerzo de I+D, como son los procesos de hidrólisis enzimática y de fermentación de algunos de los tipos de azúcares producidos. Entre los esfuerzos de investigación destacan por su importancia los vinculados al denominado bioprocesamiento consolidado (CBP). Este procedimiento consiste en que en vez de utilizar dos reactores, enzimas y levadura, para la hidrólisis y la fermentación, se utiliza un único agente biológico que, gracias a la ingeniería genética, sea capaz de realizar ambas etapas de manera conjunta. La importancia de la I+D en este campo radica en el objetivo de hacer eficiente el proceso de obtención de bioetanol, así como de otros combustibles y aditivos reduciendo el coste del proceso a través del impulso de nuevas tecnologías.

En el ámbito del proceso, la I+D se orienta principalmente al diseño de plantas, el control del tamaño y la magnitud del proceso y el desarrollo microbiótico, para lo cual se prevé la construcción de las primeras plantas comerciales con el fin de evaluar la conveniencia del proceso para una aplicación a gran escala. Estados Unidos ha liderado este proceso que empieza a contar ya con apoyo decidido en el ámbito de la Unión Europea. El objetivo es una sensible reducción de costes que convierta la producción de bioetanol en competitiva, de acuerdo con las expectativas de la Agencia Internacional de la Energía presentadas en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Evolución prevista de los costes de producción de bioetanol

Origen	2005	2030
Caña de azúcar	0,26 - 0,51	0,22 - 0,35
Maíz	0,60 - 0,81	0,35 - 0,55
Remolacha	0,65 - 0,82	0,42 - 0,60
Trigo	0,70 - 0,92	0,45 - 0,66
Lignocelulósico	0,80 - 1,10	0,25 - 0,65

Fuente: Agencia Internacional de la Energía. Unidades: dólares EEUU/litro.

SYNGAS (GAS SINTÉTICO)

Es difícil exagerar la importancia que el gas de síntesis, gas sintético o *syngas* presenta en el momento actual de desarrollo de la bioenergía. El *syngas* está compuesto fundamentalmente por monóxido de carbono e hidrógeno, por lo que su utilización directa como fuente energética en aplicaciones eléctricas y/o térmicas no presenta complicaciones. Al tiempo, sus características químicas le atribuyen un papel focal en la producción de otros biocombustibles sintéticos, como el diésel sintético (BLT), el metanol, el gas natural biosintético, o el DME, entre otros.

En el pasado, los procesos de obtención de gas sintético a partir de carbón fueron empleados de manera razonablemente eficiente en el ámbito de la iluminación pública y doméstica (farolas de gas) y el desarrollo urbano, a través del popular “gas ciudad”. Aunque hasta la fecha la mayor parte de la producción de syngas se obtiene a partir de combustibles fósiles como el carbón o el gas natural, la novedad del momento actual radica en la posibilidad, cada vez más barata y más eficiente, de aprovechar la biomasa para dar como resultado el gas de síntesis. De este modo, la generalización de los procesos de gasificación de la biomasa derivada de los residuos agrícolas, forestales, urbanos o cultivos energéticos, para su transformación en syngas representa, con toda seguridad, uno de los más importantes hitos de la bioenergía de segunda generación.

El rendimiento del proceso de obtención de syngas varía dependiendo de la tecnología, el combustible y el agente gasificante (i.e. el gas que aporta calor para iniciar las reacciones y oxígeno) que se utilice, en el rango de 70-80%.

El proceso se puede resumir esquemáticamente:



Siguiendo a IDAE (2007), podemos distinguir dos familias de tecnologías de obtención de syngas a partir de la biomasa, atendiendo al tipo de gasificador:

- La de lecho fluidizado, en la que el agente gasificante mantiene en suspensión a un inerte y al combustible, hasta que las partículas de éste se gasifican y convierten en cenizas volátiles y son arrastradas por la corriente del syngas.
- La de lecho móvil que, a su vez, se subdivide dependiendo del sentido relativo de las corrientes de combustible (biomasa) y agente gasificante. Cuando las corrientes son paralelas, el gasificador se denomina *downdraft* o de corrientes paralelas; cuando circulan en sentido opuesto, se denomina *updraft* o de contracorriente.

Con independencia de que el lecho sea fluidizado o móvil la biomasa pasa por varias etapas:

- Etapa de calentamiento (hasta 100°C), que logra el secado de la biomasa al tiempo que absorbe el calor sensible para elevar la temperatura.
- Etapa de pirólisis, en la que se rompen las moléculas grandes dando lugar a otras de cadena más corta que, a la temperatura del reactor, están en fase gaseosa.
- Etapa de reducción. En los reactores “updraft” la tercera etapa es la reducción, por combinación del vapor de agua producido en la primera etapa, con el dióxido de carbono que viene arrastrado por la corriente del gasificante, desde la cuarta etapa (oxidación).

- Etapa de oxidación de la fracción más pesada (carbonosa) de la biomasa al entrar en contacto con el agente gasificante (aire, oxígeno, o vapor de agua).

Aunque la gasificación puede tener por objeto obtener una materia prima para una síntesis posterior, conviene destacar el atractivo que presenta su utilización como uso final en una aplicación térmica o eléctrica, o ambas de forma combinada, para lo que es preciso emplear un Motor de Combustión Interna Alternativo (MCIA). De hecho, las aplicaciones más inmediatas, útiles y prometedoras del syngas se vinculan a la generación eléctrica y a la cogeneración. Con el syngas de biomasa se pueden obtener rendimientos eléctricos altos, de hasta un 30-32% mediante el uso de moto-generadores, 10 puntos superiores a las que se obtendrían con un sistema convencional basado en el vapor de agua.

Dependiendo de la demanda de calor y de electricidad que se pretenda cubrir, y dependiendo también de la tecnología concreta que se emplee, los MCIA permiten aprovechar la energía que consumen de la siguiente manera:

- 33-38% electricidad.
- 35-40% calor a través del agua de refrigeración a 90°C.
- 18-22% calor a través de los gases de combustión.
- 5-8% pérdidas.

En función del concreto destino térmico o eléctrico del syngas, será preciso que el este cumpla unos requisitos determinados en cuanto a partículas, alquitranes, poder calorífico, concentración de cada gas, temperatura, etc. Generalmente, las aplicaciones en motor o turbina de gas, orientadas a la generación eléctrica o a la cogeneración, son más exigentes en cuanto a la limpieza de gas (partículas) y a las posibles emisiones contaminantes post-combustión (alquitranes). Aunque las tecnologías que minimizan la producción de partículas favorecen, en general, la producción de alquitranes y viceversa, hoy en día, el control de flujos, de temperaturas, los filtros, los sistemas de lavado, así como variantes tecnológicas, permiten producir syngas de buena calidad, y que cumplen las normas sobre emisiones a la atmósfera. La utilización del syngas con destino a la co-combustión (sustitución de un porcentaje de combustible convencional biomasa) especialmente en las centrales térmicas de carbón está sometida a menores exigencias en términos de alquitranes y partículas.

Destaca el dinamismo que las tecnologías de gasificación están experimentando en el ámbito de la investigación, desarrollo e innovación, con el objetivo último de optimizar el proceso de conversión de la biomasa en gas, de manera que resulte energética y económicamente rentable, incluso a pequeña escala.

Este proceso está favorecido por el hecho de que, en la actualidad, ya existan tecnologías de gasificación de la biomasa comercialmente aplicables. En efecto, la

gasificación, por su capacidad de producir combustibles aptos para MCIAs y turbinas, está tomando gran auge en todo el mundo. Para grandes potencias, y con el objetivo de producir un syngas destinado a co-combustión existen plantas operando desde hace bastante tiempo, sobre todo en Escandinavia. También se están poniendo a punto últimamente tecnologías de plantas de menor tamaño, que pueden procesar entre 7.000 y 8.000 Tm/año de biomasa y producir un gas sintético de calidad suficiente para alimentar un motogenerador.

Existe un interés creciente en acelerar la introducción y comercialización de plantas de gasificación de biomasa de capacidad moderada. Nuestro país no es ajeno a este fenómeno. En España, no se producen grandes concentraciones de biomasa, pero es atractivo producir electricidad y disponer de calor para actividades industriales. En la actualidad, existen varias plantas (algunas de en funcionamiento y otras en construcción) basadas en la gasificación y la cogeneración, entre las que se cuentan las proyectadas por Energía Natural de Mora (Mora de Ebro, Campo de Criptana), Guascor (Júndiz) e Inerco (Sevilla), a las que se unen otros desarrollos pioneros como el proyecto de planta de pequeño tamaño diseñada por Cidaut, que ha visto la luz recientemente.

La gasificación a partir de biomasa es una tecnología que puede contribuir de manera significativa al impulso de las energías renovables, en general, y la bioenergía, en particular. Aunque desde el punto de vista tecnológico ha alcanzado el punto de implementación práctica y comercialización, persisten barreras legales a su desarrollo derivadas de la inexistencia de normas adecuadas que regulen los aspectos ambientales, y de salud y seguridad.

SYNDIÉSEL (BTL, BIOMASS TO LIQUID)

A partir del gas natural o del syngas es posible obtener un biocombustible líquido de características semejantes al del gasóleo, que se conoce con el nombre de syndiésel. El procedimiento de obtención se fundamenta en un proceso catalítico realizado en condiciones de temperatura y presión específicas, conocido como síntesis de Fischer-Tropsch (FT).

El proceso FT convierte ese gas, compuesto fundamentalmente por monóxido de carbono e hidrógeno, en agua, dióxido de carbono e hidrocarburo líquido, utilizando algún catalizador como el cobalto o el hierro. La elección del catalizador, la presión y la temperatura determina el producto final. Así, a 330°C se obtiene gasolina, mientras que el gasóleo requiere una temperatura inferior (180°C y 250°C).

Fue desarrollado por vez primera en los años 20 en Alemania, para obtener combustible líquido a partir del carbón y fue aplicado en ese mismo país durante la Segunda Guerra Mundial y más tarde en Sudáfrica, en los tiempos del boicot derivado del

apartheid. Los fundamentos termoquímicos del proceso son similares en el caso de la transformación del carbón en líquido (CTL), del gas natural a líquido (GTL), y de la biomasa a líquido (BTL).

La reacción química central del proceso de Fischer-Tropsch puede representarse esquemáticamente así:



En el momento actual de desarrollo de la tecnología BTL, se están realizando importantes inversiones en I+D+i para determinar la viabilidad económica y técnica de este proceso para la transformación de biomasa sólida en biocombustibles para el transporte, líquidos o gaseosos, con el paso intermedio de la gasificación.

Los esfuerzos recientes para afianzar esta ruta de obtención de biocombustibles líquidos se centran en lograr incrementar su rentabilidad económica, así como sus beneficios energéticos y ambientales. Según la Agencia Internacional de la Energía, el proceso FT permitirá una reducción significativa de los costes de producción de combustible diésel de segunda generación, como se refleja en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6 Evolución prevista de los costes de producción de biodiésel

Origen	2005	2030
Grasa animal	0,40 - 0,55	0,35 - 0,50
Aceite vegetal	0,70 - 1,00	0,40 - 0,75
Síntesis FT	0,90 - 1,10	0,70 - 0,85

Fuente: Agencia Internacional de la Energía. Unidades: dólares EEUU/litro.

Los retos principales en la actualidad son los siguientes: (1) la elección de la tecnología de gasificación; (2) la determinación de las tecnologías limpias que satisfagan los requerimientos del proceso catalizador de la producción del biocombustible minimizando las pérdidas de eficiencia térmica; (3) el diseño de procesos de flujos y optimización de resultados basados en la eficiencia y la importancia de los productos; (4) encontrar la combinación idónea de diferentes tipos de biomasa; (5) finalmente, es preciso encontrar la forma de que el proceso de elaboración de este biocombustible se realice en pequeña escala, es decir sin necesidad de operar con grandes plantas de procesamiento, como sucede en la actualidad. Con el fin de reducir los costes de transporte para la comercialización de este biocombustible, sería conveniente encontrar la manera de una producción en pequeña escala que permita que las fábricas estén cerca de los lugares en los que se producen los residuos.

GAS NATURAL BIOSINTÉTICO

El gas natural de origen fósil presenta una composición variable, aunque sus principales componentes son el metano, en proporción cercana al 90%, el etano, el nitrógeno y el dióxido de carbono. Una primera alternativa para obtener una suerte de gas natural a partir de la biomasa es el biogás, producido mediante la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un grupo de microorganismos. Una segunda ruta es la que se conoce como gas natural biosintético.

El proceso de producción se basa principalmente en la gasificación de la biomasa y la metanación del syngas. El proceso de metanación es fuertemente exotérmico, por lo cual el calor acumulado debe ser extraído del reactor y el metano debe ser enfriado antes de ser almacenado. Además, uno de los más grandes desafíos técnicos es la limpieza del gas, dada la alta sensibilidad a las impurezas que presenta la catálisis por metano.

Por el momento, el resultado de la producción de gas natural biosintético como producto individual ha sido bastante insatisfactorio, aunque se espera que pueda complementarse con una coproducción integrada junto a biocombustibles obtenidos mediante tecnologías Fischer-Tropsch. Un sistema integrado de coproducción generaría eficiencias en términos de conversión y reducción de costes.

En Suecia se planea en la actualidad la construcción de una planta de demostración, en cuyas instalaciones se intenta transformar biomasa obtenida a partir de residuos forestales en gas natural biosintético a la vez que el calor generado por el proceso se utiliza para los sistemas de calefacción. Las infraestructuras de gas de la Unión Europea podrían ser utilizadas fácilmente para el transporte de este gas, y en una posible aplicación en el sector del transporte podría tener ventajas relacionadas con las bajas emisiones de gases contaminantes, aunque para su uso en automóviles debería ser previamente comprimido o licuado, lo cual requeriría también el uso de energía.

METANOL

El metanol se produce por reacción de síntesis a partir de gas natural, carbón y biomasa. Su producción se da en grandes cantidades para satisfacer diferentes objetivos en la industria química. La síntesis del metanol se produce en reacciones exotérmicas, por lo que los reactores deben remover eficientemente el calor. Es preciso un proceso de destilación posterior para separar el agua del metanol, que puede ser después convertido en dimetil éter.

El metanol puede ser utilizado como combustible para el transporte en los motores de combustión interna y para la producción de energía eléctrica. Sus principales beneficios son el incremento del número de octanaje, la mejora de la calidad de las

emisiones (menos dióxido de carbono y más oxígeno) y una mayor eficiencia con respecto a los combustibles fósiles. Sus principales desventajas son su menor contenido energético en relación al uso de la gasolina, su alta toxicidad y el incremento de emisiones de dióxido de azufre y formaldehído. Una forma de reducir los costes de producción puede ser la integración de las plantas de gasificación a las plantas procesadoras de papel y de pulpa.

DIMETIL ÉTER (DME)

El DME es un combustible sintético que puede obtenerse a partir de carbón, gas natural o biomasa, y que puede ser utilizado para diferentes propósitos como la generación de calor, como combustible para turbinas a gas generadoras de electricidad, y como combustible de alta calidad en motores diésel.

Tradicionalmente se ha venido obteniendo mediante un proceso con dos fases importantes, una primera en la cual el gas sintético, derivado del carbón, del gas natural o de la biomasa, es convertido en metanol, y otra en la que éste es deshidratado. Posteriormente se han comenzado a utilizar catalizadores bifuncionales para simplificar los procesos, que actúan tanto en la fase de formación del metanol como en su deshidratación. Este procedimiento con catalizadores bifuncionales está siendo comercializado en la actualidad.

A pesar de los esfuerzos realizados durante la década pasada para impulsar el DME como sustituto para el gasóleo, la viabilidad económica de las plantas dependerá de la obtención de la materia prima al menor coste posible. Asimismo, el alto coste de proveer stock de biomasa suficiente para el funcionamiento de plantas de DME hace recomendable, una vez más, el empleo de procesos integrados de gasificación y, por ejemplo, procesamiento de pulpa y papel, con el fin de reducir los costes de producción del biocombustible.

El DME presenta una serie de ventajas frente a los otros combustibles fósiles, incluso frente a otros biocombustibles. Así, puede ser utilizado directamente en motores tipo diésel de combustión interna produciendo menos emisiones de óxidos de nitrógeno y de dióxido de azufre que el gasóleo convencional, y no produce hollín. Además, emite una menor cantidad de gases de efecto invernadero en comparación con el biodiésel, el biodiésel sintético, el metanol, el metano, y el etanol. Por otro lado, cuando es usado para la producción de energía eléctrica las infraestructuras necesarias son menos costosas que para el hidrógeno, dado que el DME puede usar las mismas que se usan actualmente para el transporte y almacenaje del gas licuado de petróleo (GLP) o del gas natural.

Las desventajas del DME están relacionadas con sus propiedades físicas, debido a que a temperaturas normales el DME se encuentra en forma gaseosa, lo cual implica la

necesidad de una cierta infraestructura de distribución. Además, cuando es usado como sustitutivo del gasóleo el tanque deberá tener un volumen mucho mayor, dada su baja densidad de energía. En la actualidad se está investigando para aumentar la lubricidad del DME para evitar problemas con los inyectores de combustible.

Aunque actualmente el DME no es producido a partir de syngas, algunas empresas como Volvo y Chemrec planean obtenerlo a través de la gasificación de licor negro y probar sus propiedades en camiones, para lo cual se está produciendo DME desde biomasa en una planta piloto.

DIÉSEL POR PIRÓLISIS VERDE

El llamado diésel verde se obtiene también mediante un proceso termoquímico. Sin embargo, en lugar de gasificación se emplea un proceso especial de pirólisis, mediante la descomposición térmica de la biomasa en un espacio con ausencia de oxígeno. Al igual de lo que sucede en la gasificación, el tratamiento pirolítico de la biomasa puede producir una variedad de productos dependiendo de los parámetros de reacción. La pirólisis rápida ocurre en pocos segundos con el rápido calentamiento de las partículas de biomasa. Luego, los vapores resultantes son rápidamente enfriados para producir el bioaceite, cuyas condiciones deben mejorarse en procesos posteriores para reducir su heterogeneidad y permitir que pueda ser utilizado en motores diésel. En cualquier caso, aunque los bioaceites presentan eficiencias térmicas similares al gasóleo, los problemas de retraso en la ignición requieren modificaciones en los motores para su utilización.

Una importante propiedad de estos bioaceites radica en que pueden ser utilizados como input en la producción de syngas. La transformación a vapor de los bioaceites produce gas sintético, que puede ser convertido en una gran variedad de combustibles. La importancia de esta posibilidad radica en los costes a los que puede dar lugar, ya que permite que los bioaceites puedan ser producidos en pequeñas plantas para luego ser transportados a grandes refinerías para su transformación en gas sintético, lo que evitaría los costes de transporte de la biomasa.

El diésel verde por pirólisis no es un producto comercialmente rentable en la actualidad, principalmente debido a los elevados costes de capital destinados a las instalaciones de producción. A pesar de ello, existe un gran interés en la producción de combustibles líquidos a partir del procedimiento de pirólisis rápida. De hecho, existen plantas piloto en países como Estados Unidos, Alemania y Brasil, y en la actualidad los aceites pirolíticos son comercializados para la producción química, la producción de calor y energía estacionaria.

DIÉSEL HTU

Es otra variante de diésel sintético obtenido a partir de un proceso conocido como *hydrothermal upgrading* (HTU) que es un proceso de licuefacción que permite la utilización energética de biomasa que contenga un importante grado de humedad, como ocurre en el caso de los residuos y lodos de depuradoras. El proceso somete estos residuos a temperatura y presión altas, para facilitar la eliminación de oxígeno, que se convierte en dióxido de carbono y agua, logrando un biocrudo que puede ser transformado en un diésel sintético de alta calidad. Aunque está en fase experimental, es una tecnología que presenta buenas perspectivas, especialmente vinculada a otras en una biorrefinería.

CARBURANTE SERIE-P

El carburante serie-P (*P-series fuel*) es un combustible "alternativo", resultado de una mezcla de etanol, metil-tetra-hidrofurano (MTHF), pentanos, alcanos y butano. El MTHF tiene un número de octanaje de 87, el mismo que la gasolina de octanaje básico, y puede ser producido mediante deshidratación de pentosa y azúcares de glucosa. La producción de MTHF, además, puede convertirse en parte de los mecanismos de procesamiento utilizados en las modernas biorrefinerías para lograr mayores eficiencias térmicas y económicas que en los procedimientos separados.

La I+D en este campo principalmente tiene como objetivo lograr la integración de todos los procesos dentro de una misma refinería, con el fin de lograr un mejor y más eficiente uso de ambos tipos de tecnologías, las de bioprocesamiento y las de conversión catalítica de los azúcares. El principal desafío se relaciona con el desarrollo de procesos para controlar y catalizar las reacciones para obtener mejores resultados en la producción. Asimismo, sus objetivos de investigación son similares a los del etanol de celulosa, dado que se hace preciso contar con una fuente coste-efectiva de azúcares relativamente puros para la producción del MTHF.

3.3.4 Tecnologías avanzadas de tercera y cuarta generación de biocombustibles

FUENTES PARA LAS TECNOLOGÍAS AVANZADAS

La tercera generación de biocombustibles difiere de la segunda no en el procedimiento y tratamientos empleados para la obtención del producto final, sino en la materia prima que se utiliza en su elaboración. En la tercera generación se emplea biomasa que ha sido genéticamente modificada a fin de que resulta más apta para la finalidad energética a que está destinada.

Aunque la categoría más habitual dentro de este contexto son determinados tipos de algas, también se ha actuado genéticamente sobre numerosos tipos de cultivos

bioenergéticos como los eucaliptos con baja lignina (reducen los costes de pretratamiento y mejoran la calidad del etanol), los árboles de álamo, el maíz con celulosas integradas o la semilla de sorgo (para mejorar la producción del aceite).

Lo más destacable de esta tercera generación es que producen una mayor biomasa en relación a los mismos cultivos no diseñados genéticamente, y que su transformación en biocombustibles es mucho más adecuada por sus altos contenidos de azúcar y bajos contenidos de lignina.

La denominada cuarta generación de biocombustibles va un poco más allá, y tiene como objetivo que los cultivos bioenergéticos absorban altas (e inusuales) cantidades de CO₂, tanto a nivel de materia prima como en la tecnología del proceso. Nuevamente, el énfasis de esta cuarta generación está en el diseño del cultivo bioenergético, no en el proceso de su utilización. Cabe destacar, por último, que tanto la tercera y cuarta generación, al igual que la segunda, están aún en un estadio incipiente de desarrollo, y requieren de esfuerzos significativos de I+D para conocer el alcance de las distintas posibilidades y su viabilidad económica.

BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE ALGAS

Hasta el momento presente, las algas han sido cultivadas con fines farmacológicos o relacionados con la salud, pero nunca con fines energéticos. Sin embargo, algunas algas (como la *Chlorella Vulgaris*, la *Macrocystis Pyrifera*, *Scenedesmus Obliquus*) y micro algas (*Arthrospira Platensis* y la *Haematococcus Pluvialis*) resultan ser una materia prima con grandes potencialidades para la producción de biocombustibles, dado su rápido crecimiento y escasos requerimientos en cuanto a su cultivo. Además, tienen altos rendimientos energéticos, del orden de 30 veces más que el de las semillas de soja obtenidas en un área comparable. El problema para su desarrollo radica en la dificultad de extraer el aceite de la misma y la dificultad para cosecharla y en las grandes inversiones precisas para la instalación de plantas foto-bio-reactoras. Entre sus alicientes está su pequeño tamaño, lo que facilita su producción tecnificada a gran escala dado el poco espacio ocupado, y los bajos costes de producción, dado que sus insumos son agua, sol y CO₂.

Entre los principales beneficios de esta tecnología y sus productos puede destacarse que no compete con el sector agroalimentario, tiene una productividad elevada, no genera emisiones de compuestos del azufre, tiene una nula toxicidad, es altamente biodegradable, y que consume grandes cantidades de CO₂ de forma necesaria para la fotosíntesis. Por ello cabe esperar que esta tecnología atraiga un interés creciente, aunque aún es preciso un gran esfuerzo en investigación antes de que el biocombustible derivado de las algas sea viable.

BIORREFINERÍAS

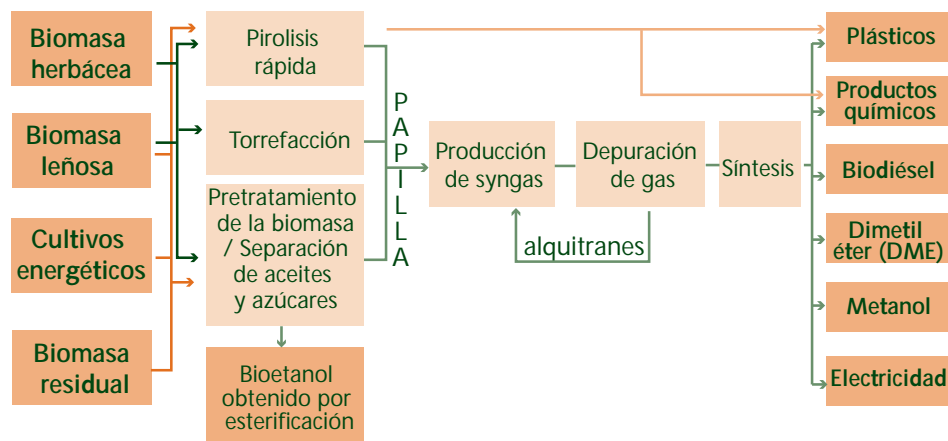
La evolución lógica de las tecnologías de primera y segunda generación desemboca en la construcción de biorrefinerías, en las que se han de integrar los procesos e instalaciones tendentes al aprovechamiento y conversión de la biomasa. Este concepto de instalación industrial integrada permitiría valorizar de manera diferenciada los diversos componentes presentes en la biomasa y así obtener un conjunto amplio de productos: biocarburantes, electricidad, componentes químicos. Con esta visión multiproducto una biorrefinería puede además reducir los costes de producción al aprovechar no sólo las economías de escala sino también las sinergias y economías de gama.

De igual modo que en el modelo de industria de refino del petróleo se aborda el procesamiento integral del crudo para obtener gasolina y otros derivados, en las biorrefinerías se procesan distintas formas de biomasa, se combinan distintos procesos de conversión y se obtienen de forma eficiente biocombustibles y otros coproductos físicos y químicos de alto valor. El objetivo, por tanto, es lograr una coproducción integrada cuyos beneficios se extiendan a todos los productos generados, con el fin de reducir costes tanto en los productos primarios como en los coproductos, logrando economías de escala en procesos y maximizando el valor de materias primas de diferentes tipos. La biorrefinería, a través de la elección del output mix, trata de maximizar el rendimiento y cubrir todos los mercados que resulten atractivos, desde el punto de vista económico.

En el Gráfico 3.2 aparece un esquema simplificado de los distintos componentes que se integran en una biorrefinería. En ella, tanto la biomasa residual como la procedente de cultivos energéticos, se transforma no sólo en bioenergía en sus diversas manifestaciones (calor, electricidad) y en biocarburantes para el transporte, sino también en materiales que son equivalentes a los derivados de los hidrocarburos sólidos.

De igual forma que ocurre con los biocombustibles de segunda generación con los que se relaciona estrechamente, no es posible concretar qué productos incorporarán las modernas biorrefinerías; en todo caso se espera que una refinería sea una planta industrial compleja y de tamaño considerable y no una mera yuxtaposición de plantas próximas, con demandas de infraestructura nada desdeñables.

Gráfico 3.2 Esquema de una biorrefinería



Fuente: UNIDO (2008).

HIDRÓGENO A PARTIR DE BIOMASA

El hidrógeno es un elemento que se encuentra en forma abundante en la naturaleza, aunque siempre formando parte de compuestos químicos con otros elementos. Actualmente más del 95% de la producción mundial de hidrógeno se obtiene a partir de fuentes fósiles, a través de métodos de transformación de gas natural (metano), carbón, y gases líquidos de petróleo. El hidrógeno producido de esta forma resulta más caro incluso que la gasolina para la misma cantidad de energía producida.

En la búsqueda de reducir los costes de producción del hidrógeno se han venido investigando nuevas tecnologías de producción entre las cuales se encuentran la electrólisis del agua usando energía eólica o solar, la gasificación del carbón, la ruptura termoquímica del agua usando energía nuclear o solar o la conversión de biomasa con captura de CO_2 .

Las técnicas de producción de hidrógeno a partir de biomasa son aún muy ineficientes, lo que hace que su utilización sea por el momento económicamente inviable. En los últimos años se han explorado algunas tecnologías o bioprocesos, incluyendo la pirólisis a altas temperaturas combinada con procesos de reforma catalítica y la fotocatalización directa con biosíntesis. Sin embargo, estas líneas de investigación se han encontrado con dificultades en cuanto a la baja eficiencia de los catalizadores y la escasa productividad. Adicionalmente a los problemas derivados de las tecnologías para su procesamiento, no existe una red de infraestructuras para el transporte y distribución de hidrógeno, que además resulta ser peligroso

debido a su carácter de mercancía inflamable y explosiva y que requiere grandes espacios de almacenamiento por su baja densidad energética.

El estado del arte en cuanto a las tecnologías para la obtención de hidrógeno apunta a la gasificación de la biomasa con posterior conversión, basada en la reacción de desplazamiento de monóxido de carbono y separación del hidrógeno de la mezcla de gases. Algunos desarrollos se enfocan en los reactores catalíticos de membrana para el enriquecimiento y separación en continuo del hidrógeno, principalmente a partir de gases obtenidos de biomasa.

Otros horizontes tecnológicos se centran en la producción de carbohidratos intermedios o hidrocarburos a partir de biomasa, por medio de bioprocesos o procesos bioquímicos, para después convertir los hidrocarburos en hidrógeno a través de un proceso químico posterior. También se investiga la producción de hidrógeno a partir de residuos urbanos. Un tratamiento previo de los residuos puede proporcionar una mezcla líquida con una viscosidad y valor calórico adecuado para una producción eficiente de hidrógeno.



4. UN ESTADO DE LA CUESTIÓN

4. UN ESTADO DE LA CUESTIÓN

4.1 Bioenergía en España

La relevancia concedida a la bioenergía en los últimos años en España se debe fundamentalmente a tres factores. El primero se refiere al potencial efecto beneficioso asociado a la sustitución de las fuentes energéticas fósiles por bioenergía, especialmente en lo relativo a la reducción de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), y de emisiones ácidas. Como es sabido, España en la actualidad incumple significativamente los compromisos de control de emisiones de CO₂ asumidos en el Protocolo de Kioto y en la Directiva 2003/87/CE, lo que aumenta su interés en posibles soluciones que tengan un amplio espectro de actuación. El segundo factor se refiere a la necesidad de asegurar un suministro energético que reduzca la dependencia de las fuentes fósiles, indeseable tanto desde el punto de vista estratégico como económico, teniendo en cuenta tanto el carácter no renovable de estos últimos como las tensiones en los mercados de crudo que se traducen en incrementos de precio y volatilidad. El tercer factor que explica la atención que actualmente se dispensa a la bioenergía deriva de la utilización de productos y residuos agrarios, forestales y urbanos en los procesos industriales de generación, lo que puede servir para revitalizar determinadas actividades agrícolas y forestales y para contribuir a la valorización de residuos. El fomento de la bioenergía, por tanto, puede convertirse además en una herramienta de desarrollo rural, segundo pilar de la Política Agrícola Común (PAC), con un protagonismo creciente en la búsqueda de alternativas que permitan el mantenimiento del tejido social y económico en las áreas rurales.

Tanto el Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010 (PFER), como su sustituto, el Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER), pretendían cubrir con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de energía para el año 2010. La evolución hasta el año 2004 podía considerarse como más lenta de lo deseable, especialmente en las áreas de biomasa eléctrica y térmica, aunque según las previsiones del Plan el objetivo es alcanzable incluso en un escenario energético que evoluciona de acuerdo con la tendencia actual y con una evolución tecnológica más probable. Lógicamente, el grado de cumplimiento es muy superior si se asume un escenario energético más eficiente y se asume una evolución tecnológica más rápida y optimista, como se desprende del cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Escenarios de penetración de las energías renovables según el PER

		2004	2010			
		Escenarios energías renovables				
			Actual	Probable	Optimista	
Producción en términos de Energía Primaria (ktep)	Total áreas eléctricas	5.973	7.846	13.574	17.816	
	Total áreas térmicas	3.538	3.676	4.445	5.502	
	Total biocarburantes	228	528	2.200	2.528	
	Total energías renovables	9.739	12.050	20.220	25.846	
Escenario energético	Tendencial	Consumo de energía primaria (ktep)	141.567	166.900	167.100	167.350
		Energías renov./ Energía primaria (%)	6,9	7,2	12,1	15,4
	Eficiencia	Consumo de energía primaria (ktep)	141.567	159.807	160.007	160.257
		Energías renov./ Energía primaria (%)	6,9	7,5	12,6	16,1

Fuente: Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Nota: Para las energías hidráulica, eólica, solar fotovoltaica y solar térmica se incluye la producción correspondiente a un año medio, a partir de las potencias y superficies en servicio a 31 de diciembre de 2004, y no el dato real de producción de dicho año.

El conjunto de energías renovables consideradas en el PER incluye los sectores eólico, hidroeléctrico, termoeléctrico, solar térmico y fotovoltaico, biomasa, biogás y biocarburantes, contemplando por consiguiente un abanico de fuentes energéticas mucho más amplio que el que se analiza en este informe, que en realidad limita su ámbito de estudio a los tres últimos.

4.2 Biomasa

El consumo de biomasa en España se estima en 4.167 ktep, utilizando las estimaciones del PER. De ellas, casi la mitad correspondería al sector doméstico, seguido de los de pasta y papel, madera, muebles y corcho, y alimentación, bebidas y tabaco, como se detalla en el cuadro 4.2.

Por Comunidades Autónomas, Andalucía, Galicia, Castilla y León y País Vasco son las que presentan un mayor consumo en 2004, de acuerdo con el mapa que aparece en el Gráfico 4.1.

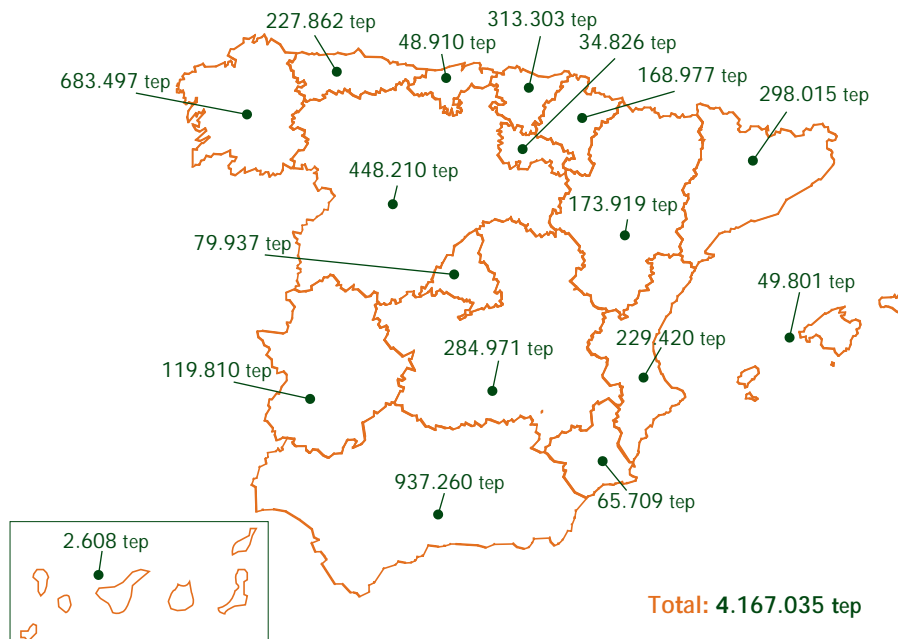
La evolución en el consumo de biomasa durante los años de vigencia del PFER, es decir, hasta 2004, no puede considerarse satisfactoria, dado que las cantidades logradas se situaban aún lejos de los objetivos para 2010, como se observa en el cuadro 4.3.

Cuadro 4.2 Consumo de biomasa en España por sector

Sector	Tep	%
Doméstico	2.056.508	49,4
Pasta y papel	734.851	17,6
Madera, muebles y corcho	487.539	11,7
Alimentación, bebidas y tabaco	337.998	8,1
Centrales de energía eléctrica (no CHP)	254.876	6,1
Cerámica, cemento y yesos	129.013	3,1
Otras actividades industriales	57.135	1,4
Hostelería	30.408	0,7
Agrícola y ganadero	21.407	0,5
Servicios	19.634	0,5
Productos químicos	16.772	0,4
Captación, depuración y distribución de agua	15.642	0,4
Textil y cuero	5.252	0,1
Total	4.167.035	100,0

Fuente: Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Gráfico 4.1 Consumo de biomasa en España por Comunidad Autónoma



Fuente: Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Cuadro 4.3 Evolución del consumo de biomasa en España

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2010 Objetivo
Aplicación eléctrica	227	236	302	516	644	680	5.311
Aplicación térmica	3.435	3.454	3.462	3.466	3.478	3.487	4.318
	3.663	3.691	3.764	3.982	4.122	4.167	9.629

Fuente: Plan de Energías Renovables 2005-2010.

De acuerdo con el PER, los sub-sectores en los cuales el grado de incumplimiento de objetivos es mayor son los de residuos forestales, agrícolas leñosos y agrícolas herbáceos, como se recoge en el cuadro 4.4.

Cuadro 4.4 Cumplimiento de los objetivos en el sector de la biomasa

	Número de proyectos (n)	Energía primaria (tep)	Objetivo Plan 2010 (tep)	Grado de cumplim. (%)
Residuos forestales	149	9.671	450.000	2,1
Residuos agrícolas leñosos	0	0	350.000	0,0
Residuos agrícolas herbáceos	2	58.803	1.350.000	4,4
Residuos de industrias forestales	121	206.946	250.000	82,8
Residuos de industrias agrícolas	37	262.882	250.000	105,2
Cultivos energéticos	0	0	3.350.000	0,0
Total	309	538.302	6.000.000	9,0

Fuente: Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Los empleos de la biomasa como fuente energética se reparten prácticamente por igual entre el sector doméstico y el industrial. El análisis del cuadro 4.4 pone de manifiesto un uso elevado de los residuos de industrias forestales y agrícolas, pero muy escaso en cuanto a residuos forestales y agrícolas. Por esa razón, el PER elabora una serie de recomendaciones de actuación diferenciadas para cada sub-sector de la biomasa. Así, para el caso de los residuos forestales, el Plan considera como zonas prioritarias de actuación las Comunidades Autónomas de Castilla y León y Galicia, debido a su elevada superficie forestal y a los destacados niveles de actividad del sector maderero, identificando un potencial de aprovechamiento máximo de 367,7 ktep para la Comunidad de Castilla y León, más del 25% del total (588,1 ktep) correspondiente a España en su conjunto.

En el caso de los residuos agrícolas leñosos, procedentes de las podas de olivos, frutales y viñedos, se consideran como zonas prioritarias debido a su elevada producción las Comunidades de Andalucía, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana y

Cataluña, que abarcan casi el 66% del total para España (686,6 ktep). En cuanto a los residuos agrícolas herbáceos, principalmente pajas de cereal y cañote de maíz, las zonas prioritarias son las Comunidades de Castilla y León, Castilla-La Mancha y Andalucía. Nuevamente la Comunidad de Castilla y León dispone del máximo potencial de aprovechamiento con 2.863 ktep, el 36,4% del total español (7.866 ktep).

Los residuos de industrias forestales (de industrias de transformación de la madera) y agrícolas (principalmente de industrias de aceite de oliva, conserveras y de frutos secos) se producen en su mayor parte en Andalucía, que con 1.084,2 ktep acumula un 37% del total los recursos potenciales del país (2.949 ktep), por lo que el Plan considera a esta Comunidad como zona prioritaria de actuación.

Aunque cada tipo de biomasa tiene sus propias peculiaridades, los principales problemas que en la actualidad existen para el aprovechamiento de la biomasa están relacionados con la recogida de los recursos, la logística de suministro y la adecuación a la aplicación energética.

Relacionado con lo anterior se encuentra la situación de nuestro país con relación a las aplicaciones eléctricas de la biomasa sólida. La comparación con Europa refuerza las conclusiones anteriores. Los datos del cuadro 4.5 ponen de manifiesto el crecimiento elevado (10,1%) de la producción de energía eléctrica a partir de biomasa sólida y los residuos renovables entre 2006 y 2007 y que se suma a un crecimiento porcentual semejante (10,6%) entre 2005 y 2006. Este crecimiento ha sido debido a la entrada en funcionamiento de nuevas plantas de cogeneración instaladas en Alemania, Finlandia y Suecia. Este tipo de instalaciones se consolida así como la principal tecnología empleada para producir electricidad a partir de la biomasa, con un 71,2% del total.

Cuadro 4.5 Producción bruta de electricidad a partir de biomasa sólida en la UE (GWh)

	2005	2006
Finlandia	9,250	10,000
Suecia	6,874	7,503
Alemania	4,460	6,518
Reino Unido	3,382	3,325
Austria	1,930	2,554
Italia	2,337	2,492
Francia	1,827	1,896
Países Bajos	2,247	1,840
España	1,596	1,763
Dinamarca	1,894	1,716
Polonia	1,344	1,503

Continúa

Continuación

	2005	2006
Bélgica	0,915	1,406
Portugal	1,350	1,380
Hungría	1,584	1,134
Rep. Checa	0,560	0,731
Eslovenia	0,082	0,076
Irlanda	0,008	0,008
Eslovaquia	0,004	0,004
Total UE-25	41,643	45,849

Fuente: EurObserv'ER (2007).

4.3 Biogás

La utilización del biogás como fuente energética para la producción de electricidad sólo ha comenzado a explotarse de manera reciente. La forma de aprovechamiento varía dependiendo de la fuente de obtención del biogás. Así, el biogás procedente de los vertederos y basureros simples se emplea únicamente para aplicaciones eléctricas, mientras que el obtenido en las estaciones depuradoras (urbanas e industriales), en plantas de co-digestión y en centros de tratamiento de residuos, y en determinadas explotaciones agrícolas, generalmente sigue un proceso de cogeneración, que permite el aprovechamiento eléctrico al mismo tiempo que ofrece el aprovechamiento térmico de la instalación.

Cuadro 4.6 Producción de electricidad a partir del biogás en la UE (GWh)

	2005	2006
Alemania	4.708,0	7.338,0
Reino Unido	4.690,0	4.887,0
Italia	1.197,9	1.336,3
España	620,2	674,9
Grecia	179,0	578,6
Dinamarca	289,9	280,1
Francia	485,0	503,0
Austria	69,7	409,8
Países Bajos	286,0	286,0
Polonia	175,1	241,2
Bélgica	240,1	237,2
Rep. Checa	160,9	174,7
Irlanda	106,0	108,0
Suecia	53,4	46,3
Portugal	34,7	32,6

Continúa

Continuación

	2005	2006
Luxemburgo	27,2	32,6
Eslovenia	32,2	32,2
Hungría	24,8	22,1
Finlandia	22,3	22,3
Estonia	7,2	7,2
Eslovaquia	4,0	4,0
Malta	0,0	0,0
Total UE-25	13.413,4	17.254,1

Fuente: EurObserv'ER (2007).

El cuadro 4.6 muestra los datos más recientes referidos al ámbito de la Unión Europea donde se observa cómo la producción de electricidad a partir de biogás ha crecido un 28,6% entre 2005 y 2006, debido sobre todo a la entrada en funcionamiento de nuevas plantas de cogeneración. Tres países, Alemania, Italia y el Reino Unido, son responsables del 80% de la producción eléctrica obtenida a partir del biogás. España les sigue a distancia en cuarta posición con una producción de 675 GWh.

Cuadro 4.7 Plantas actuales de tratamiento de purines vinculadas a la ADAP

Provincia	Localidad
León	San Millán de los Caballeros
Burgos	Milagros
	Tordómar
Valladolid	Hornillos de Eresma I
	Hornillos de Eresma II
	Fompedraza
Segovia	Turégano
Soria	Ágreda
	Los Rábanos
	Langa de Duero
Huesca	Altorricón
	Monzón
	Fonz
	Monzón
Barcelona	Masies de Voltregà
	Santa María del Corcó
Lérida	Alcarrás
	Juneda I
	Juneda II
	Miralcamp

Continúa

Continuación

Provincia	Localidad
Murcia	Alhama de Murcia
	Lorca
	Lorca
Toledo	Polan
	Consuegra
Jaén	Vilches

Fuente: Asociación Empresarial para el Desimpacto Ambiental de los Purines (ADAP) y elaboración propia.

En España existen 27 plantas de tratamiento de purines basadas en la cogeneración (simple) que están vinculadas con la asociación empresarial del sector (cuadro 4.7). Sus instalaciones tienen capacidad para tratar 2,5 millones de m³ de purines y 100.000 Tm de fertilizante orgánico, lo que contribuye a la disminución de gases de efecto invernadero en unas 700.000 Tm de CO₂ equivalente al año. Aunque estas plantas tienen una capacidad instalada muy importante –casi una cuarta parte de los excedentes de purines– presentan la debilidad el hecho de que no aprovechan el contenido energético de la biomasa sino que utilizan gas natural como input para el proceso de secado de los residuos.

En un futuro inmediato la importancia de estas tecnologías de tratamiento de purines de primera generación deberá ceder el paso a instalaciones basadas en la obtención anaeróbica del biogás y su valorización energética, como ha ocurrido en países como Alemania que tiene en funcionamiento más de 5.000 plantas de biogás.

4.4 Biocarburantes para el transporte

La evolución de los biocarburantes dentro del sector de la bioenergía es muy diferente. Junto al objetivo general que recoge el PER de cubrir en 2010 con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de energía, se añade como objetivo indicativo que al menos el 5,75% (el PER prevé que se alcance el 5,83%) del consumo de energía en el transporte, medido en unidades equivalentes de petróleo, corresponda a biocarburantes. El cuadro 4.8 recoge los consumos de gasolinas, gasóleo A, bioetanol y biodiésel en España en 2004 y las previsiones para 2010 compatibles con el cumplimiento de los objetivos del PER, asumiendo como hace el Plan un consumo objetivo para dicho año de 2.200.000 toneladas equivalentes de petróleo, que se reparten en 750.000 para bioetanol y 1.450.000 para biodiésel.

Cuadro 4.8 Consumo de gasolinas y biocarburantes, 2004 y previsión para 2010

	Consumo 2004		Previsión 2010	
	Miles de toneladas	Miles de tep	Miles de toneladas	Miles de tep
Gasolinas	7.713	8.068	6.769	7.080
Gasóleo A	22.176	22.198	31.149	31.180
Total	29.889	30.266	37.917	38.260

	Consumo 2004		Objetivo PER 2010	
	Miles de toneladas	Miles de tep	Miles de toneladas	Miles de tep
Bioetanol	205	131	1.176	750
Biodiésel	78	70	1.616	1.450
Total	283	201	2.792	2.200

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recogida en el PER.

Nota: tep indica toneladas equivalentes de petróleo. Las previsiones de consumo de gasolinas y gasóleo A para el 2010 se han realizado considerando tendencias lineales.

Los datos del cuadro 4.8 son compatibles con un consumo de gasolina que decrece en España en un 2% de media anual, acompañado de un crecimiento anual medio del consumo del gasóleo A de un 6,75%. Dada esta evolución prevista, la consecución de los objetivos del PER requeriría que el consumo de bioetanol aumentara desde 205.000 toneladas en el año 2004 hasta 1.176.000 en 2010, es decir, un crecimiento medio anual del 78,9%, mientras que el de biodiésel debería pasar de las 78.000 toneladas del año 2004 hasta 1.616.000 en 2010, lo que supone un incremento anual medio de más del 160%.

Estas elevadas cifras ponen de manifiesto el gran esfuerzo que aparentemente será preciso realizar para lograr los objetivos establecidos en el PER, aunque hay razones para pensar que el cumplimiento de los mismos desde el punto de vista del consumo puede no ser tan difícil como podría deducirse primeramente, sobre todo porque es posible que ello no exija un cambio sustancial de los hábitos de consumo de los ciudadanos. Así, en primer lugar, el Real Decreto 61/2006 permite que los productos etiquetados como gasolinas y gasóleo A incorporen hasta en un 5% bioetanol y biodiésel, respectivamente, sin tener que informar al consumidor de ello. En segundo lugar, una parte del bioetanol producido puede utilizarse como componente en un 45% del ETBE (etil terbutil éter), aditivo que puede incorporarse a las gasolinas hasta llegar al 15% de su volumen. Teniendo en cuenta ambas posibilidades, las cantidades de biocarburantes que sería preciso distribuir como producto independiente en los mercados se reducen significativamente, como muestra

el cuadro 4.9, aunque para el caso del bioetanol todavía suponen una cantidad relativamente elevada, 685.000 toneladas.

Cuadro 4.9 Distribución prevista de bioetanol y biodiésel con mezcla al 5% (miles de toneladas)

	Objetivo PER (2010)	Empleos		
		Mezcla al 5 %	Bioetanol en ETBE	Distribución independiente
Bioetanol	1.176	338	152	685
Biodiésel	1.616	1.557	-	59
Total	2.792	1895	152	744

Fuente: elaboración propia.

Nota: La cifra de empleos de bioetanol incorporado al ETBE está calculada asumiendo una mezcla del 5 % del ETBE en las gasolinas.

Aunque los objetivos establecidos en el PER son de consumo, y no de producción, resulta interesante analizar cómo han evolucionado ambas dimensiones en el caso de los biocarburantes en los últimos años.

En el caso del biodiésel, la capacidad total de producción instalada en las 24 plantas en funcionamiento superaba en 2007 las 815.000 toneladas, casi 6 veces más que la correspondiente a 2005. Sin embargo, la producción en el mismo período únicamente se duplicó, situándose en 148.777 toneladas. La situación se resume en el cuadro 4.10.

Cuadro 4.10. Producción y consumo de biodiésel

		2005	2006	2007
Producción	Número de plantas	7	12	24
	Capacidad (Tm/año)	141.500	248.310	815.190
	Producción (Tm)	71.469	124.577	148.777
	Producción/capacidad	50,5 %	50,2 %	18,3 %
Consumo	Consumo (Tm)	26.973	62.909	292.646
	Consumo/producción	37,7 %	50,5 %	196,7 %
	Consumo (tep)	23.870	55.673	258.985
	Biodiésel/diésel	-	-	0,98 %

Fuente: elaboración propia a partir de APPA (2008).

La información presentada en el cuadro 4.10 muestra la peculiar situación del mercado de biodiésel en España. El aumento de la capacidad no va acompañado de un incremento proporcional de la producción, a pesar de que el consumo sí sigue una pauta de crecimiento rápido. De acuerdo con la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA, 2008), este hecho se ha debido a la entrada masiva, por

vez primera en 2007, de biodiésel importado de EEUU directamente por los operadores españoles de carburantes, que se beneficia de una subvención en origen adicional al tipo cero del impuesto especial de hidrocarburos español. La situación para los productores nacionales de biodiésel se ha visto agravada por la reducción de sus exportaciones, que antes realizaban principalmente a Alemania y a Francia y que ahora son cubiertas bien por los productores nacionales en estos países o bien igualmente por las importaciones de EEUU en estos países.

Los datos disponibles para el año 2008 indican un significativo aumento de la capacidad de producción, que podría incluso alcanzar los 3,3 millones Tm. Este incremento se debe a la entrada en funcionamiento de 20 plantas de biodiésel a lo largo de 2008, de las cuáles 6 superan la capacidad nominal de 200.000 Tm/año. En cualquier caso, las cifras de producción disponibles para el primer semestre de 2008 indican que la utilización real de la capacidad de producción sigue siendo muy reducida, cercana al 16%, y que continúa la pauta de importaciones de biodiésel de EEUU beneficiado por la doble subvención. El consumo de biodiésel por los usuarios españoles también continúa su pauta creciente, de tal forma que en el primer semestre de 2008 supone ya una cuota del 1,46% sobre el consumo total de gasóleo.

En cuanto al bioetanol, la capacidad total de producción instalada en 2007 ascendía a 456.000 toneladas, repartidas en únicamente 4 plantas. Ello corresponde a un aumento del 77% frente a la capacidad instalada en 2005, y del 3,4% frente a la correspondiente a 2006. Sin embargo, la producción siguió una pauta claramente diferente, al reducirse un 11,5% entre 2006 y 2007, como se puede observar en el cuadro 4.11.

Cuadro 4.11. Producción y consumo de bioetanol

		2005	2006	2007
Producción	Número de plantas	2	4	4
	Capacidad (Tm/año)	257.000	441.000	456.000
	Producción (Tm)	238.782	321.000	284.131
	Producción/capacidad	92,9 %	72,8 %	62,3 %
Consumo	Consumo (Tm)	176.456	178.940	198.658
	Consumo/producción	73,9 %	55,7 %	69,9 %
	Consumo (tep)	115.082	116.702	129.562
	Bioetanol/gasolina	0,96 %	1,01 %	1,87 %

Fuente: elaboración propia a partir de APPA (2008).

El cuadro 4.11 muestra que la situación para los productores españoles de bioetanol no es mucho mejor que para los de biodiésel. A pesar de que el mercado está en una fase de crecimiento moderado, la producción ha disminuido entre 2006 y 2007 como consecuencia de una significativa reducción en las importaciones, debida igualmente a la mayor competencia en los mercados europeos.

Para el año 2008 no se prevé un aumento del número de plantas en funcionamiento ni de la capacidad de producción. Las cifras de producción disponibles para el primer semestre del año indican que probablemente se produzca una nueva reducción al final del ejercicio, aunque el hecho de que en el segundo semestre la planta de Babilafuente haya retomado la producción puede cambiar esta tendencia. En cuanto al consumo de bioetanol, los datos disponibles indican un ligero retroceso en el primer semestre del año 2008, suponiendo el 1,52% del consumo total de gasolina.

Desde el punto de vista del cumplimiento de los objetivos del PER cabe destacar que, conjuntamente, la cuota del 0,98% alcanzada por el biodiésel en 2007 y del 1,87% correspondiente al bioetanol suponen una cuota conjunta del 1,16% en toneladas equivalentes de petróleo sobre el total de carburantes fósiles. La cifra está aún lejos del 5,83% asumida como objetivo por el PER para el año 2010, pero supone un aumento significativo frente a los logros de años anteriores, como queda patente en el cuadro 4.12, que también recoge los datos provisionales correspondientes al primer semestre de 2008.

Cuadro 4.12 Cumplimiento de los objetivos del PER

	Cuota biocarburantes/carburantes fósiles (tep)
2005	0,31 %
2006	0,41 %
2007	1,16 %
2008 (ene-jun)	1,47 %
Objetivo PER 2010	5,83 %

Fuente: elaboración propia a partir de APPA (2008).

Cabe esperar que la tendencia alcista se vea impulsada por las medidas legislativas adoptadas en 2007 (reforma de la Ley del Sector de Hidrocarburos) y 2008 (desarrollo reglamentario), que establecen una obligación de mezcla de los biocarburantes para los años 2009 y 2010 y que limitan la vulnerabilidad de los productores españoles ante las importaciones de biocarburante subvencionado procedente de EEUU, como se expone en el apartado siguiente.

Por lo que se refiere a la comparación internacional, los datos del cuadro 4.13 muestran los resultados del consumo de biocarburantes en la UE durante 2007. Con relación al año anterior, los 7,7 Mtep representan un incremento notable con relación al año anterior (un 37,4%), aunque en todo caso menor al experimentado en 2006 (86,9%). Ello hace que los biocarburantes representen un 2,6% del total de combustibles para el transporte, por lo que el objetivo establecido para 2010 del 5,75% se antoja complicado de alcanzar.

El biodiésel, con un consumo de 5,8 Mtep, es el biocarburante más utilizado, seguido por el bioetanol, con 1,2 Mtep y otros biocarburantes, con 0,75 Mtep. Los datos de 2007 vuelven a subrayar el liderazgo de Alemania, seguida por Francia, Austria y, en cuarto lugar, España, con 260.580 tep para el biodiésel y 112.640 para el bioetanol. El informe de EurObserv'ER destaca el caso español como uno de los más significativos, por haber alcanzado el 1,9% de cuota de participación de forma voluntaria, esperándose un incremento sustancial para 2009 con la entrada en vigor de la normativa de cumplimiento obligatorio.

Cuadro 4.13 Consumo de biocarburantes por el sector del transporte en la UE, 2007

	Bioetanol	Biodiésel	Otros*	Total
Alemania	293.078	2.957.463	752.207	4.002.748
Francia	272.937	1.161.277	0	1.434.215
Austria	21.883	367.140	0	389.023
España	112.640	260.580	0	373.220
Reino Unido	78.030	270.660	0	348.690
Suecia	181.649	99.602	n.d.	281.251
Portugal	0	158.853	0	158.853
Italia	0	139.350	0	139.350
Bulgaria	66.160	46.336	0	112.496
Polonia	85.200	15.480	0	100.680
Bélgica	0	91.260	0	91.260
Grecia	0	80.840	0	80.840
Lituania	11.600	41.000	0	52.600
Luxemburgo	865	34.098	0	34.963
Rep. Checa	180	32.660	0	32.840
Eslovenia	794	12.993	0	13.787
Eslovaquia	13.262	n.d.	0	13.262
Hungría	9.180	0	0	9.180
Países Bajos	8.670	n.d.	0	8.670
Irlanda	2.352	4.612	1.410	8.374
Dinamarca	6.025	0	0	6.025
Letonia	1.738	2	0	1.740
Malta	n.d.	0	0	n.d.
Finlandia	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Chipre	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Estonia	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rumanía	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Total UE	1.166.243	5.774.207	753.617	7.694.067

Datos en toneladas equivalentes de petróleo.

* Aceite vegetal en el caso de Alemania, Irlanda y Países Bajos y biogás en el caso de Suecia.

Fuente: Observatorio de las Energías Renovables –Biocarburantes (EurObserv'ER, 2008).

4.5 Regulación jurídica de la bioenergía en España

El sector de la bioenergía es objeto de una extensa regulación jurídica, que abarca desde la normativa básica de producción agraria y subvenciones correspondientes a los cultivos energéticos, hasta la regulación de los regímenes especiales de producción de energía eléctrica, pasando por las medidas que incentivan la producción o el consumo de bioenergía con el fin de incrementar su presencia en los mercados. El presente epígrafe no pretende ser una recopilación exhaustiva de todo ello, sino un resumen de las normas básicas que constituyen el núcleo regulatorio de este tipo de cuestiones. Para ello revisaremos de forma separada la normativa de la Unión Europea y la del Estado Español.

4.5.1 Normativa de la Unión Europea

- I. Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte.

Esta Directiva tiene por objeto fomentar la utilización de biocarburantes como sustitutivos del gasóleo o la gasolina a efectos de transporte en los Estados miembros. Establece el objetivo de que los biocarburantes alcancen una cuota del 5,75% en unidades equivalentes de petróleo sobre los carburantes utilizados en el sector del transporte para el año 2010.

- II. Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.

Establece los niveles de imposición mínimos que los Estados miembros deben aplicar a los productos energéticos y la electricidad enumerados en su articulado. En el anexo 1 se recoge niveles mínimos para la imposición de la energía eléctrica y de los distintos tipos de carburantes de automoción aplicables a partir del 1 de enero de 2004 y del 1 de enero de 2010. Recoge la posibilidad de aplicar reducciones o exenciones fiscales a los biocarburantes y a los productos energéticos que procedan de la conversión de biomasa o de residuos.

- III. Comunicación COM (2005) 628 final de la Comisión de las Comunidades Europeas, de 7 de diciembre de 2005, Plan de Acción sobre la Biomasa.

Establece el objetivo de incrementar el uso de la biomasa en la UE hasta niveles cercanos a su capacidad potencial en 2010, con el fin de diversificar el suministro de energía en Europa, e incrementar en un 5% la cuota de energías renovables. Con ello se pretende reducir la dependencia de la energía

importada del 48% al 42%, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, crear empleo directo para hasta 300.000 personas, sobre todo en zonas rurales y generar una presión a la baja en el precio del petróleo como consecuencia de la menor demanda de crudo.

IV. Comunicación COM (2006) 34 final de la Comisión de las Comunidades Europeas, de 8 de febrero de 2006, Estrategia de la UE para los biocarburantes.

Establece tres objetivos principales: la promoción del uso de biocombustibles tanto en la UE como en países en desarrollo, la preparación para el uso a gran escala de biocombustibles incrementando su competitividad y la investigación en biocombustibles de segunda generación, y el apoyo a países en desarrollo con potencial para el crecimiento económico a partir de la explotación sostenible de la biomasa.

V. Comunicaciones de la Comisión de las Comunidades Europeas de 10 de enero de 2007, COM (2007) 1 final, Una Política Energética para Europa, COM (2006) 848 final, Hoja de Ruta de la Energía Renovable, y COM (2006) 845 final, Informe sobre el Progreso de los Biocombustibles.

La Comisión propone para el año 2020 la fijación de un objetivo mínimo de utilización de biocombustibles en un 10% del uso total de combustibles en el transporte (frente al 20% considerado en otros informes anteriores), así como la aplicación de medidas para garantizar que los biocombustibles empleados son producidos de forma medioambientalmente sostenible, tanto dentro como fuera de la UE.

4.5.2 Normativa del Estado español

I. Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales.

Regula el conjunto de los impuestos especiales de acuerdo con las disposiciones armonizadoras de la Unión Europea.

II. Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de los Impuestos Especiales.

Desarrollo reglamentario de la Ley 38/1992.

III. Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.

Crea un régimen especial de producción de energía eléctrica para las instalaciones que utilicen la cogeneración, las que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier tipo de biocarburante, y las que utilicen como energía primaria residuos no renovables.

IV. Ley 66/1997, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social.

Crea un nuevo impuesto especial, el impuesto sobre la electricidad, que grava con un tipo impositivo del 4,864% el suministro de energía eléctrica, declarando exenta de gravamen la producción en instalaciones acogidas al régimen especial que se destine al consumo de los titulares de dichas instalaciones.

V. Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos.

Incluye una primera definición legal de biocombustibles.

VI. Real Decreto-Ley 6/2000, de 23 de junio, de Medidas Urgentes de Intensificación de la Competencia en Mercados de Bienes y Servicios.

Compromete al Gobierno a promover la utilización de los biocombustibles y a garantizar la calidad final de los productos comercializados como tales. Crea la Comisión para el estudio del uso de los biocombustibles.

VII. Ley 53/2002, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social.

El artículo 6.5 de esta ley adicionó el artículo 50 bis a la Ley 38/1992 para aplicar hasta el 31 de diciembre de 2012 a los biocarburantes un tipo especial de cero euros por cada mil litros. El tipo especial se aplica exclusivamente sobre el volumen de biocarburante, aun cuando éste se utilice mezclado con otros productos. La Ley considera biocarburantes a estos efectos al alcohol etílico producido a partir de productos agrícolas o de origen vegetal (bioetanol), el alcohol metílico (metanol) obtenido a partir de productos de origen agrícola o vegetal, y los aceites vegetales, ya se utilicen como tales o previa modificación química.

VIII. Real Decreto Legislativo 4/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de Ley del Impuesto sobre Sociedades.

Permite la deducción de la cuota íntegra del 10% de las inversiones realizadas en bienes nuevos de activo material destinados al aprovechamiento de fuentes de energías renovables consistentes en instalaciones y equipos con la finalidad de, entre otros, el tratamiento de productos agrícolas, forestales o aceites usados para su transformación en biocarburantes (bioetanol o biodiésel).

IX. Real Decreto 1777/2004, de 30 de julio, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades.

Desarrollo reglamentario de la Ley del Impuesto sobre Sociedades.

X. Ley 22/2005, de 18 de noviembre, por la que se incorporan al ordenamiento jurídico español diversas directivas comunitarias en materia de fiscalidad de

productos energéticos y electricidad y del régimen fiscal común aplicable a las sociedades matrices y filiales de estados miembros diferentes, y se regula el régimen fiscal de las aportaciones transfronterizas a fondos de pensiones en el ámbito de la Unión Europea.

El artículo segundo de esta Ley modifica varios aspectos de la Ley 38/1992 de Impuestos Especiales. En el punto cuatro se establecen las tarifas y epígrafes sobre la base de los cuales se exigirá el impuesto. En la tarifa 1ª aparecen el bioetanol y biometanol para uso como carburante, el biodiésel para uso como carburante y el biodiésel y biometanol para uso como combustible, todos con una tarifa de cero euros por mil litros hasta el 31 de diciembre de 2012.

- XI.** Real Decreto 774/2006, de 23 de junio, por el que se modifica el Reglamento de los Impuestos Especiales.

Modifica el Reglamento de los Impuestos Especiales como consecuencia de los cambios que se introdujeron en la Ley de Impuestos Especiales como consecuencia de la Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre, sobre productos energéticos y de la electricidad. También modifica otros aspectos del Reglamento relacionados con los biocarburantes y biocombustibles, como la extensión a todos los productos de estas categorías del sistema de aplicación del tipo impositivo antes establecido para el ETBE y la fijación de condiciones especiales más permisivas para la autorización de depósitos fiscales cuya actividad se limita exclusivamente a productos de la tarifa 2ª del Impuesto sobre Hidrocarburos (alquitranes, bencenos y aceites).

- XII.** Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes.

Los productos resultantes de la adición del etanol a la gasolina y del biodiésel al gasóleo de automoción, destinados a su utilización como carburantes de vehículos, han de cumplir las especificaciones recogidas, respectivamente para las gasolinas y gasóleo de automoción. El Real Decreto permite que los productos etiquetados como gasolinas y gasóleo A incorporen hasta en un 5% bioetanol y biodiésel, respectivamente, sin tener que etiquetar de forma diferente el producto ni informar al consumidor de ello. También incluye el objetivo nacional de comercialización para el 31 de diciembre del 2010 de un porcentaje mínimo de biocarburantes en el 5,75%, calculado sobre la base del contenido energético de toda la gasolina y todo el gasóleo comercializado en el mercado con fines de transporte.

- XIII.** Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Deroga el Real Decreto 436/2004 y establece un nuevo régimen jurídico y económico de producción de energía eléctrica en régimen especial, incluyendo los procesos que utilizan biogás, biocarburantes o biomasa, y contemplando en este último caso la procedente de cultivos energéticos, de residuos de actividades agrícolas y forestales.

Particularmente destacable es la asimilación al régimen especial para aquellas instalaciones térmicas convencionales que utilicen biomasa o biogás, permitiendo que puedan percibir una prima o un complemento, para fomentar su implantación, por su contribución a los objetivos del régimen especial.

- XIV.** Ley 12/2007, de 2 de julio, por la que se modifica la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, con el fin de adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural.

Establece por vez primera en España objetivos obligatorios mínimos de consumo de biocarburantes para los años 2009 y 2010, que se fijan, respectivamente, en el 3,4% y el 5,83% del contenido energético conjunto de gasolinas y gasóleos comercializados con fines de transporte, y habilita al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a dictar las disposiciones necesarias para regular un mecanismo de fomento de la incorporación de biocarburantes y otros combustibles renovables destinado a lograr el cumplimiento de dichos objetivos.

- XV.** Medidas Urgentes de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia (MUEECCEL), aprobadas por el Consejo de Ministros el 20 de julio de 2007 y Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, Horizonte 2007-2012-2020 (EECCCEL), aprobada por Consejo de Ministros de 2 de noviembre de 2007. Dicha Estrategia define el marco de actuación que deben abordar las Administraciones Públicas en España para asegurar el cumplimiento por nuestro país de sus obligaciones en el Protocolo de Kioto. En particular, la EECCCEL aborda el objetivo establecido por el Gobierno de que en el quinquenio 2008-2012 las emisiones totales de gases de efecto invernadero muestren un crecimiento no superior a +37% respecto al año base.

Contiene propuestas de medidas normativas en ámbitos tan diversos como: (1) sector de transportes; (2) sectores residencial, comercial e institucional; (3) energía, fundamentalmente eólica; (4) gases fluorados; (5) metano, incluyendo recuperación de biogás en vertederos y residuos ganaderos, (6) óxido nítrico, complementadas con otras medidas de naturaleza transversal.

- XVI.** Orden ITC/2877/2008, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, de 9 de octubre, por la que se establece un mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte.

Es uno de los elementos más relevantes de la regulación actual de biocarburantes. Por un lado, crea la obligación de comercializar un volumen mínimo de biocarburantes equivalente al 3,4% en contenido energético del total de gasolinas y gasóleos para 2009, con un mínimo del 2,5% para biodiésel y del 2,5% para bioetanol, y del 5,83% para 2010, con un mínimo del 3,9% para biodiésel y 3,9% para bioetanol. Por otro lado, establece que el cumplimiento de esta obligación no puede acreditarse mediante mezclas de biocarburantes con carburantes de origen fósil que se hayan realizado fuera de la Unión Europea. Dado que la ventaja en precio a favor de los biocarburantes importados de EEUU se debe en parte a la subvención que reciben por haberse mezclado con carburantes de origen fósil en aquel país, se espera que la introducción de esta provisión en la normativa española contribuya a restaurar la posición competitiva de los productores españoles. Es interesante destacar que la exposición de motivos de esta Orden Ministerial prevé que los biocarburantes alcancen en el año 2011 un objetivo global del 7% del contenido energético de las gasolinas y gasóleos comercializados con fines de transporte.

- XVII.** Plan Nacional Integrado de Residuos para el periodo 2008-2015, aprobado por el Consejo de Ministros de 26 de diciembre de 2008. El PNIR establece objetivos específicos de reducción, reutilización, reciclado, valoración y eliminación y abarca el tratamiento de los residuos domésticos y similares, los residuos de legislación específica (vehículos y neumáticos fuera de uso, peligrosos, pilas y acumuladores, aparatos eléctricos y electrónicos, de construcción y demolición y lodos y depuradoras), suelos contaminados, además de algunos residuos agrarios e industriales no peligrosos. Además incorpora la Estrategia de Reducción de Vertido de Residuos Biodegradables con el fin de disminuir su impacto sobre el entorno y de forma especial contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero. El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino prevé una dotación presupuestaria 2009 de 23 millones de euros para 2009.
- XVIII.** Plan de Biodigestión de Purines, aprobado por el Consejo de Ministros de 26 de diciembre de 2008. Desarrolla algunas de las medidas urgentes previstas en la EECCEL apostando por el aprovechamiento bioenergético de los residuos ganaderos, mediante la ruta de la metanización y la biodigestión.

4.6 Situación de la bioenergía en Castilla y León

Centraremos el análisis regional del estado de la bioenergía en sus dos aspectos más relevantes: la producción de biomasa y cultivos energéticos y el nivel de producción de la industria transformadora.

Puede resultar interesante comenzar por una exposición de la estructura productiva de Castilla y León, una región tradicionalmente caracterizada por una presencia importante del sector agrario, que como se puede comprobar en el cuadro 4.14 en la actualidad supone algo menos del 7% del valor añadido bruto regional.

Cuadro 4.14 Composición del valor añadido bruto de Castilla y León

	Castilla y León						España
	2002	2003	2004 (P)	2005 (P)	2006 (A)	2007 (A)	2007
Agricultura, ganadería y pesca	7,9	7,8	7,5	6,5	6,2	6,6	2,6
Energía	3,8	3,9	3,7	3,5	3,4	3,4	2,3
Industria	15,7	15,3	14,9	14,5	14,0	14,1	13,4
Construcción	8,7	9,0	9,7	10,6	11,2	11,1	11,0
Servicios	54,6	54,2	54,1	54,4	54,3	54,5	60,4
Impuestos netos	9,3	9,7	10,0	10,5	10,9	10,4	10,3
PIB pm	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: INE.

Nota: (P) Estimación provisional. (A) Estimación avance.

Cultivos

El sector agrario de Castilla y León ha estado especializado en producciones de carácter continental excedentarias en el ámbito de la Unión Europea, por lo que se encuentra desde hace tiempo inmerso en un proceso de ajuste, reducción de producción y transformación de los procesos productivos que le permita su adaptación a las orientaciones de la Política Agrícola Común (PAC). Esta situación ha supuesto que la renta agraria esté condicionada por los sistemas de precios agrarios y de cuotas.

Centrándonos en el subsector agrícola, de acuerdo con las estadísticas oficiales de la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León correspondientes al año agrícola 2006, de las 9.385.367 ha que supone el territorio de la Comunidad, 3.498.915 ha están destinadas a tierras de cultivo, lo que representa un 37,28% del total de la geografía de la región. Si el análisis desciende al ámbito provincial este porcentaje varía significativamente, siendo las provincias de Valladolid, Palencia y Burgos en las que se cultiva un mayor número de hectáreas, alcanzando en Valladolid más del 70% de su territorio. El cuadro 4.15 y el cuadro 4.16 recogen la distribución general de la tierra en Castilla y León para los distintos tipos de aprovechamientos y de cultivos.

Cuadro 4.15 Distribución general de la tierra por aprovechamientos en Castilla y León

Aprovechamientos	Superficie (ha)		
	Secano	Regadío	Total
Tierras de cultivo			3.498.915
Cultivos herbáceos	2.250.733	438.901	2.689.634
Barbechos y otras tierras no ocupadas	664.847	55.082	719.929
Cultivos leñosos	84.281	5.071	89.352
Prados y pastizales			1.639.711
Prados naturales	492.934	46.168	539.102
Pastizales			1.100.609
Terreno forestal			2.786.635
Monte maderable	984.421	16.797	1.001.218
Monte abierto			838.629
Monte leñoso			946.788
Otras superficies			1.460.106
Erial a pastos			886.276
Espartizal			4.313
Terreno improductivo			192.968
Superficie no agrícola			273.992
Ríos y lagos			102.557
Superficie total			9.385.367

Fuente: Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León. Los datos corresponden al año agrícola 2006.

Cuadro 4.16 Distribución general de la tierra por grupos de cultivo en Castilla y León

Grupos de cultivo	Porcentaje
Cereales para grano	77,5 %
Leguminosas para grano	5,2 %
Tubérculos consumo humano	0,7 %
Cultivos industriales	6,6 %
Cultivos forrajeros	9,6 %
Hortalizas	0,4 %
Total Cultivos Herbáceos	100,0 %
Frutales	7,1 %
Viñedo	80,4 %
Olivar	7,8 %
Otros cultivos leñosos	3,4 %
Viveros	1,2 %
Total Cultivos Leñosos	100,0 %

Fuente: Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León. Los datos corresponden al año agrícola 2006.

Se observa el predominio del cultivo en secano (un 88,8%) frente al regadío (11,2%), y de los cultivos herbáceos (76,9%) frente a los leñosos (2,6%). Dentro de los cultivos herbáceos destacan los cereales para grano y los cultivos forrajeros para alimentación animal, mientras que la presencia de cultivos leñosos en el territorio de la Comunidad es mucho menor debido a las especiales condiciones climáticas y edáficas que requieren. No obstante, existe una presencia muy relevante de viñedo que abarca más de 70.000 ha y que supone una importante fuente de riqueza y de valor añadido de la región gracias a la industria transformadora que se dedica a la elaboración de vinos. La cantidad de tierras no ocupadas o en barbecho asciende a 719.929 ha, un 20,5% de la superficie cultivable.

La superficie dedicada a cultivos herbáceos se destina en su mayor parte a cereales para grano, fundamentalmente cebada y trigo, como se observa en el cuadro 4.17. En los últimos años se han producido sucesivos incrementos de la superficie dedicada a estos cultivos debido al incremento de precio producido en los mercados. También se ha producido un significativo incremento de la superficie dedicada a colza, que en la Comunidad de Castilla y León puede explicarse por su naturaleza de cultivo energético.

Cuadro 4.17 Superficie dedicada a cultivos herbáceos en Castilla y León

Cultivo	Superficie (ha)			
	Año 2005		Año 2008 (avance octubre)	
Trigo	690.044	23,40 %	715.677	25,28 %
Cebada	1.292.751	43,83 %	1.329.328	46,96 %
Avena	120.726	4,09 %	128.741	4,55 %
Centeno	66.915	2,27 %	79.300	2,80 %
Maíz	122.378	4,15 %	114.463	4,04 %
Cereales para grano	2.294.621	77,80 %	2.369.763	83,71 %
Leguminosas	153.826	5,22 %	87.857	3,10 %
Patata	21.599	0,73 %	20.204	0,71 %
Remolacha azucarera	53.420	1,81 %	36.243	1,28 %
Girasol	137.898	4,68 %	207.641	7,34 %
Soja	462	0,02 %	84	0,00 %
Colza	344	0,01 %	4.944	0,17 %
Cultivos industriales	195.250	6,62 %	243.884	8,62 %
Cultivos Forrajeros	284.169	9,63 %	109.069	3,85 %
Total cultivos herbáceos	2.949.465	100,00 %	2.830.777	100,00 %

Fuente: Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León.

El cuadro 4.18 muestra una información de gran interés, como es la de la superficie que accede en Castilla y León a la ayuda por hectárea correspondiente a los cultivos

energéticos. Es muy significativo el descenso que se produce en el año 2007, debido indudablemente al aumento del precio del trigo y la cebada en los mercados agro-alimentarios, en clara competencia con el energético, cuya evolución se presenta en el cuadro 4.18.

Cuadro 4.18 Superficie que accede a la ayuda por hectárea a cultivos energéticos en Castilla y León

Cultivo	Superficie (ha)		
	Cosecha 2005	Cosecha 2006	Cosecha 2007
Colza	-	571	5.135
Girasol	1.605	26.718	46.852
Trigo	788	22.661	1.016
Cebada	1.911	35.929	3.340
Total CyL	4.304	85.879	56.343
Total España	26.510	216.269	182.070
CyL / España	16,2 %	39,7 %	30,9 %

Fuente: Elaboración propia a partir de información del Fondo Español de Garantía Agraria.

Cuadro 4.19 Índice de precios percibidos por los cereales

Año	Índice
2000	100,0
2001	101,3
2002	100,1
2003	101,5
2004	109,0
2005	98,6
2006	105,1
2007	144,5
2008	168,9

Fuente: Elaboración propia a partir de información del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Los datos de 2008 son hasta el mes de junio.

Otra biomasa

En cuanto al resto de la biomasa, probablemente el mayor reto en la actualidad para la Comunidad de Castilla y León sea valorizar los residuos forestales y agrícolas. La biomasa procedente de residuos forestales se compone principalmente de residuos de cortas, tratamientos silvícolas y leñas. Con 2,8 millones de hectáreas de terreno forestal, Castilla y León es la región española de mayor capital forestal. De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, la biomasa forestal residual existente en Castilla y León supone aproximadamente 35 millones de Tm (de un total

de 200 millones Tm en el conjunto del país), de tal forma que la biomasa forestal residual disponible anualmente ascendería a más de 1,3 millones Tm. La explotación está dificultada por los accesos, la meteorología y la temporalidad, y en condiciones óptimas precisaría ser acondicionada al destino energético previsto. En la actualidad, los residuos forestales se utilizan en la Comunidad para obtener bioenergía en una proporción ínfima.

En cuanto a los residuos agrícolas, tanto herbáceos (paja de cereal o cañote de maíz) como leñosos (podas de vid o frutales), suponen una producción valorizable energéticamente que en 2005 superó en la Comunidad el millón de Tm. Son recursos de fácil obtención, accesibilidad y gestión, lo que favorece su aprovechamiento.

Es preciso destacar en este punto la incertidumbre que existe en relación con el conocimiento del potencial de la biomasa en la Comunidad de Castilla y León, ya que hasta la fecha no se ha elaborado un inventario integral de su posible aprovechamiento. Es de esperar que el futuro Plan sectorial de la Bioenergía de Castilla y León, actualmente en preparación por el EREN y el ITACyL, cubra esta laguna.

Producción de bioenergía

En cuanto a la producción industrial de bioenergía en la Comunidad de Castilla y León, puede decirse que pivota en torno a la generación de biocarburantes. Las empresas productoras de biodiésel, tanto en funcionamiento como previstas hasta el año 2010, se presentan con sus respectivas capacidades de producción en el cuadro 4.20. Análogamente el cuadro 4.21 ofrece la contrapartida para el bioetanol.

Cuadro 4.20 Plantas de biodiésel en funcionamiento y previstas en Castilla y León

Año	Empresa	Localidad	Provincia	Capacidad (Tm/año)
2007	Biocarburantes de Castilla	Valdescorriel	Zamora	20.000
2008	ACOR	Olmedo	Valladolid	100.000
	Hispaenergy del Cerrato	Herrera de Valdecañas	Palencia	25.000
	Biocom Pisuerga	Castrojeriz	Burgos	6.000
	Biocombustibles de Castilla y León	San Cristóbal de Entrevías	Zamora	6.000
2009 (previsión)	Refinería de Nuevos Combustibles	Briviesca	Burgos	32.000
2010 (previsión)	Greenfuel Castilla y León	Guardo	Palencia	110.000

Fuente: elaboración propia a partir de información facilitada por la Asociación de Productores de Energías Renovables.

Cuadro 4.21 Plantas de bioetanol en Castilla y León

Empresa	Localidad	Provincia	Capacidad (Tm/año)
Biocarburantes de Castilla y León	Babilafuente	Salamanca	158.000

Fuente: elaboración propia a partir de información facilitada por APPA.

Por último, el cuadro 4.22 muestra la evolución prevista de las capacidades de producción de biodiésel en Castilla y León y en el conjunto de España, y el cuadro 4.23 hace muestra la misma evolución para el caso del bioetanol.

Cuadro 4.22 Evolución prevista de la capacidad de producción de biodiésel

	Capacidad de producción prevista (Tm)			
	2007	2008	2009	2010
Castilla y León	20.000	157.000	189.000	299.000
España	815.190	3.080.740	4.604.740	6.550.840
CyL / España	2,5 %	5,1 %	4,1 %	4,6 %

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4.23 Evolución prevista de la capacidad de producción de bioetanol

	Capacidad de producción prevista (Tm)			
	2007	2008	2009	2010
Castilla y León	158.000	158.000	158.000	158.000
España	456.000	456.000	456.000	642.900
CyL / España	34,6 %	34,6 %	34,6 %	24,6 %

Fuente: elaboración propia.

Imposibilidad de atender las necesidades del sector industrial

Aunque se ha advertido con frecuencia la imposibilidad que supone para el sector agrario de Castilla y León hacer frente de manera exclusiva a las necesidades de materias primas agroenergéticas, en el contexto actual de biocombustibles de primera generación conviene resumir los argumentos principales de esa afirmación, que hemos ofrecido de manera más extensa en otro lugar (SANCHEZ MACÍAS, *et al.*, 2006).

En el cuadro 4.24 se indica la superficie total dedicada a cada cultivo relevante con la superficie que sería preciso reservar para el mismo si la producción de las plantas generadoras de biocarburantes ya instaladas o en construcción en la Comunidad Autónoma utilizaran materia prima procedente de la región, teniendo en cuenta

para los cálculos las menores cifras de rendimiento por hectárea y las diferentes proporciones que representan los distintos tipos de cereal respecto del conjunto de España.

Cuadro 4.24 Superficie cultivada actual y necesidades para satisfacer la demanda potencial

	España (hectáreas)			Castilla y León (hectáreas)	
	Total superficie 2005	Sup. para cumplir objetivos del PER (2010)	Superficie requerida por la industria	Total superficie 2005	Superficie requerida por la industria
Biodiésel					
Colza	3.361	299.352	321.481	1.156	38.791
Girasol	505.311	2.565.872	2.755.556	123.847	436.857
Bioetanol					
Trigo	2.349.784	502.354	253.410	687.771	159.203
Cebada	3.380.353	727.466	366.967	1.331.094	303.000
Maíz	421.724	88.234	44.509	135.109	28.857
Total cultivos seleccionados	6.660.533	4.183.277	3.741.923	2.278.977	966.708
Total superficie cultivada	8.905.785	-	-	2.849.072	-
Total tierras de retirada	1.589.588	-	-	425.925	-
Total cultivos energéticos	26.237	-	-	4.283	-

Fuente: Sánchez Macías, *et al.* (2006).

Lo primero que llama la atención es la magnitud de la superficie agraria total que sería necesaria en España para sustentar con los correspondientes cultivos energéticos la producción de biocarburantes compatible con el cumplimiento de los objetivos del PER para el año 2010: nada menos que 4,2 millones de hectáreas, que suponen el 63% de los 6,7 millones de hectáreas que en la actualidad se dedican a tales cultivos y el 47% de los 8,9 millones que constituyen la superficie total cultivada. Las cifras son algo más bajas si se trata de calcular la superficie precisa para satisfacer la demanda de semillas oleaginosas y grano de cereal que puede realizar la industria transformadora ya instalada o en construcción, estimada a partir de la información de su capacidad de producción y sin contabilizar las instalaciones que utilizan aceites usados como materia prima, aunque en cualquier caso los cálculos siguen produciendo resultados desmesurados. En este sentido, si se utilizara íntegramente la capacidad prevista para el conjunto de instalaciones de biocarburantes de todo el país, ello requeriría la producción procedente de aproximadamente 3,7 millones de hectáreas de cultivos energéticos, al menos si se aceptan las proporciones sugeridas para

los diversos cultivos, el 59% de la superficie dedicada en la actualidad a tales cultivos y el 42% de la superficie total cultivada.

En el caso de Castilla y León, si se pretendiera cubrir con cultivos de la región la demanda de las plantas transformadoras ya instaladas o en construcción, descontando nuevamente las instalaciones que utilizan aceites usados como materia prima, sería preciso reservar casi 1 millón de hectáreas, que constituyen el 42% de los 2,2 millones dedicados a los cultivos seleccionados y el 34% de los 2,8 millones que forman la superficie total cultivada en la Comunidad.


En cualquier caso, tanto para España como para Castilla y León, los datos ponen de manifiesto un conflicto entre el sector agroindustrial y el agroalimentario, que se ven así obligados a competir en los mercados por los mismos productos, circunstancia que únicamente podrá superarse una vez que los biocarburantes de segunda generación basados en cultivos alternativos sean técnica y económicamente viables.

Resulta significativa igualmente la desproporción entre la superficie dedicada a **oleaginosas** y la que sería precisa para satisfacer la demanda, tanto nacional como regional; la desproporción es incluso mayor para el caso de la colza, aunque debe recordarse que las cifras expuestas asumen un aumento de su cultivo impulsado por los incentivos que se espera cree la industria transformadora, que a su vez se ve motivada por la mayor rentabilidad de la producción de biodiésel a partir de colza. Si estos incentivos no se materializan, no es esperable que el sector agrario oriente su producción de forma espontánea hacia la colza, consciente como es de que las escasas posibilidades de este producto en el mercado agroalimentario español reducirían sensiblemente el poder negociador del agricultor frente a la industria transformadora de biodiésel.

Es preciso destacar igualmente que la ayuda por superficie dedicada a cultivos energéticos prevista en la PAC fue solicitada en el año 2006 para 223.467 ha en toda España, de acuerdo con el avance presentado por el Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA) con datos hasta septiembre de 2006, frente a las 26.237 has correspondientes al año 2005 que recoge el cuadro 4.24. Para Castilla y León la ayuda ha sido solicitada para 86.043 ha (la segunda cifra más alta del país después de las 127.145 ha de Castilla-La Mancha), frente a las 4.283 ha del 2005. Las desmesuradas tasas de incremento porcentual resultantes, del 750% para España y del 1.900% para Castilla y León, indican claramente que la senda en la que nos encontramos es de crecimiento en la intensidad de los cultivos energéticos, aunque es obvio que no sería realista tratar de extrapolarlas hacia el futuro.

Por otra parte, tanto en el conjunto de España como en Castilla y León existe una gran superficie agrícola no cultivada, clasificada como tierras de retirada, que en 2005 ascendía a 1,6 millones de ha en el caso de España y 0,4 millones para la

Comunidad Autónoma. La utilización de esta superficie, en principio legalmente apta para la producción de cultivos energéticos asociada a la percepción de las correspondientes subvenciones de la Política Agrícola Común (PAC), podría simplificar el logro de los objetivos descritos, aunque en todo caso sería ficticio defender la idea de que el empleo de tierras de retirada elimina las dificultades del sector agrario para satisfacer la demanda de cultivos energéticos.

The background of the page is a photograph of a field of plants, possibly a crop field, with a circular graphic overlay consisting of several concentric rings. The entire image has a warm, brownish-orange color cast. A dark green horizontal band is positioned across the middle of the page, containing the title text in white.

5. OPORTUNIDADES Y AMENAZAS EN EL SECTOR DE LA BIOENERGÍA EN CASTILLA Y LEÓN

5. OPORTUNIDADES Y AMENAZAS EN EL SECTOR DE LA BIOENERGÍA DE CASTILLA Y LEÓN

En este capítulo y el siguiente nos aproximamos al sector de la bioenergía en Castilla y León mediante un análisis DAFO, una metodología muy asentada que se utiliza para estudiar la situación competitiva de una empresa o de una industria. Se trata de identificar cuáles son sus Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas (características que así ordenadas hacen que el método se denomine SWOT en inglés). Mientras que las debilidades y fortalezas son de naturaleza interna; las amenazas y oportunidades son de externas a la realidad analizada: son propias del entorno. Con el análisis DAFO se intenta ayudar a elegir acciones que permitan aprovechar los puntos fuertes, subsanar las debilidades, explotar las oportunidades que brinda el entorno y defenderse de las amenazas.

En el marco de este trabajo el análisis DAFO va a servir también como guía para la reflexión acerca de cuáles puede ser, en este momento, algunas respuestas seguras a los muchos interrogantes presentes en el momento actual. En primer lugar vamos a analizar las condiciones externas a Castilla y León, centrándonos, aunque no sea habitual, primeramente en las amenazas actuales y luego en las oportunidades. Seguidamente nos referimos a las ventajas y desventajas (fortalezas y debilidades) concretas que presenta la región en el ámbito de la bioenergía.

Para los factores externos vamos a considerar que las amenazas o las oportunidades pueden tener su origen en distintos ámbitos: el contexto general, el entorno competitivo global, el marco regulatorio, el entorno agroenergético y el sector bioenergético.

5.1 Amenazas actuales en el sector de la bioenergía

5.1.1 Del contexto general

INCERTIDUMBRE Y RIESGO IDIOSINCRÁTICOS

Como hemos tenido ocasión de comprobar en los capítulos anteriores, el sector de la bioenergía dista mucho de encontrarse en un momento estacionario. A la incertidumbre propia de todo proceso innovador se le han unido en los últimos tiempos numerosos interrogantes cuya respuesta cabal es difícil ofrecer en estos momentos.

Algunas preguntas son esenciales. Una primera puede ser la relativa a la estimación de la magnitud real de las ventajas ambientales de determinados biocombustibles cuando el análisis abandona la seguridad del equilibrio parcial a corto plazo y se adentra en cuestiones más propias del equilibrio general y del largo plazo. Es aquí donde entran, por ejemplo, las preocupaciones por los efectos derivados de las posibles talas de bosques en países en desarrollo, el incremento de riesgo de desertificación en determinadas áreas, el agravamiento de la explotación de acuíferos estimulada por los cultivos energéticos, o los resultados obtenidos por algunos estudios basados en la metodología del análisis de ciclo de vida.

Otra cuestión de no menor importancia guarda relación con el balance energético total de algunas formas de obtención de determinados biocombustibles. Cada vez son más numerosas las voces que afirman que en muchas ocasiones la energía total consumida durante el proceso de producción de bioenergía es mayor que la propia cantidad generada. Aunque los resultados no son concluyentes, todo parece apuntar a que en ocasiones la producción de biocarburantes tiene un balance energético negativo.

Una tercera fuente de incertidumbre se refiere a los efectos que la extensión de los cultivos energéticos puede estar ocasionando a los cultivos alimentarios. Los críticos sostienen que una concepción de la bioenergía que compite con el destino final del producto y que compite también por el uso de las tierras, introduce en las decisiones de los agentes abundante ruido informativo, toda vez que las regulaciones y los incentivos fiscales hacen que sea difícil realizar un verdadero análisis de eficiencia. Y esta idea debe ser compartida por el regulador y el legislador por cuanto las modificaciones en normas de diverso rango han sido frecuentes, desde la forma de articular los incentivos a la producción agraria, a la manera de favorecer el consumo de energía verde, pasando por el mecanismo de fijación de objetivos ambientales para el futuro próximo.

La ausencia de información perfecta que estas cuestiones suscitan, llevan a plantearnos que en el actual contexto hay que aplicar estrategias de actuaciones que sean lo bastante robustas como para no depender crucialmente del cumplimiento de hipótesis más o menos heroicas, y en primer lugar, que a las mismas se les pueda aplicar el *primum non nocere*. Mientras no tengamos respuestas definitivas para las cuestiones planteadas más arriba, las decisiones que hayan de adoptarse en el momento actual deben permitir mejorar siempre, y nunca poner en riesgo el futuro agrícola, industrial, medioambiental o energético de una parte del tejido socioeconómico que gira en torno a la bioenergía.

RESISTENCIA DE LA OPINIÓN PÚBLICA Y OTROS GRUPOS DE PRESIÓN

Aparece muy vinculado al punto anterior. La ausencia de respuestas precisas relativas a la bondad ambiental, económica y energética ha provocado una cierta opinión

contraria por parte de determinados colectivos. Un ejemplo de esta situación lo constituyen las manifestaciones realizadas recientemente por el relator especial de la Organización de las Naciones Unidas para el Derecho a la Alimentación, Jean Ziegler, para quien “la producción masiva de biocombustibles es un crimen contra la humanidad por su impacto en los precios mundiales de los alimentos” (El País, 29-4-2008); en igual sentido puede entenderse la oposición que determinados colectivos ecologistas han venido lanzando contra la actual política de biocarburantes; e incluso las críticas que, desde sectores rivales de la bioenergía, tratan de desprestigiar las bondades de estas formas nuevas de proporcionar combustibles y que, se contraargumenta, responden a tácticas anticompetitivas.

DIFICULTADES DERIVADAS DEL ENTORNO ECONÓMICO GLOBAL

Desde hace unos meses la situación económica general no favorece la asunción de nuevos riesgos ni facilita la inversión nueva. Esta es una dificultad compartida con el resto de sectores económicos pero que no debe desconocerse en el ámbito bioenergético. Los recursos financieros disponibles son ahora menores y los proyectos bioenergéticos compiten más que nunca con otras alternativas de inversión. Es preciso tener en cuenta que los programas públicos de apoyo al biodiésel y al bioetanol de primera generación han supuesto una elevada carga presupuestaria en la Unión Europea, correspondiente a una subvención de entre 0,50 y 0,74 € por litro de biocarburante (*vid.* cuadro 5.1).

Cuadro 5.1 Gasto público en medidas de apoyo al biodiésel y al bioetanol en la Unión Europea

	Biodiésel	Bioetanol
Transferencias totales (mill. €)	2.436	1.290
Subvención (€/litro)	0,50	0,74

Fuente: Unión Europea.

La existencia de este tipo de medidas de apoyo es, en definitiva, la que ha permitido que diversos países de la Unión Europea se hayan convertido en productores de biocarburantes en los últimos años. Esta circunstancia es común a otros países de distintas zonas del mundo, y según la OCDE seguirá produciéndose al menos hasta el cambio a la segunda generación de tecnologías productivas de biocarburantes, como muestra el cuadro 5.2 para el caso del bioetanol y el cuadro 5.3 para el biodiésel.

Cuadro 5.2 Efecto sobre la producción de bioetanol de la eliminación de las medidas públicas de apoyo

	Aranceles	Consumo obligatorio	Ayudas presupuestarias	Efecto total
EEUU	-4 %	-	-15 %	-19 %
Brasil	+12 %	-3 %	-3 %	+6 %
Canadá	-5 %	-	-72 %	-77 %
Unión Europea	-44 %	-16 %	-16 %	-76 %
China	+15 %	-6 %	-4 %	+5 %
India	-	-2 %	-1 %	-3 %
Total global	-2 %	-3 %	-11 %	-16 %

Fuente: OCDE, período 2013-2017.

Cuadro 5.3 Efecto sobre la producción de biodiésel de la eliminación de las medidas públicas de apoyo

	Aranceles	Consumo obligatorio	Ayudas presupuestarias	Efecto total
EEUU	-	-37 %	-55 %	-92 %
Brasil	+2 %	-6 %	-3 %	-7 %
Canadá	-	-5 %	-13 %	-18 %
Unión Europea	-	-65 %	-20 %	-85 %
Indonesia	+1 %	-9 %	-4 %	-12 %
Total global	+1 %	-43 %	-17 %	-79 %

Fuente: OCDE, período 2013-2017.

5.1.2 Del marco regulatorio

DISMINUCIÓN PROGRESIVA DE LAS AYUDAS POR CULTIVOS ENERGÉTICOS

Esta es una amenaza que, sin embargo, a nuestro juicio debe considerarse más aparente que real. En varios trabajos anteriores hemos defendido que las primas por cultivos energéticos son trasladadas vía precio a las empresas productoras de biocarburante, por lo que existe una divergencia entre la incidencia real o efectiva y la incidencia formal o aparente (SÁNCHEZ-MACÍAS, RODRÍGUEZ, CALERO y DÍAZ, 2006; RODRÍGUEZ y SÁNCHEZ MACÍAS, 2007).

El análisis de la estructura industrial del sector de biocarburantes sugiere la existencia de una distribución asimétrica del poder de negociación entre la industria transformadora y los productores agrarios. Este reparto desigual de la capacidad negociadora se deriva de diversos factores, entre los que conviene destacar la elevada concentración del sector industrial dedicado a la producción de biocarburantes, la posibilidad que

tienen las empresas transformadoras de sustituir las materias primas agroenergéticas sin incurrir en excesivos costes de cambio y la fácil disponibilidad de granos o aceites importados.

Es posible demostrar formalmente que el precio *forward* ofrecido por la industria transformadora a los agricultores depende, entre otros factores, del grado de aversión al riesgo del agricultor y de la cuantía de la ayuda por cultivos energéticos de la PAC, de modo que cualquier variación, positiva o negativa, de la cuantía de la subvención se traslada íntegra e inversamente al precio *forward* ofrecido al agricultor. Los factores comentados, que afectan tanto a la estructura industrial como a las reglas de funcionamiento del mercado, impiden que la subvención a los cultivos energéticos cumpla con el objetivo de elevar las rentas de los agricultores; y si buena parte de los recursos destinados a estas subvenciones revierten, como parece, en la industria, los argumentos favorables a su utilización se debilitan considerablemente, tanto desde la perspectiva de la eficiencia, al existir otros tipos de subvenciones directas menos distorsionantes, como de la redistribución a favor de las rentas agrarias.

AUSENCIA DE REGULACIÓN EFICAZ PARA FAVORECER NUEVAS FORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LA BIOMASA

Las nuevas formas de explotación energética de la biomasa suscitan en ocasiones dificultades de encaje con las normas y regulaciones preexistentes, que por definición no han tenido en cuenta la nueva realidad tecnológica, lo que se puede acabar convirtiendo en una barrera de entrada. Por ejemplo, la posibilidad de apostar por instalaciones mixtas de gasificación más cogeneración, que ya han demostrado sus efectos beneficiosos incluso en fase de comercialización en países como Alemania, y que en España han empezado a implementarse recientemente, plantea el problema de que a pesar de que la eficiencia energética, la seguridad y el respeto al medio ambiente están garantizados, se enfrenta a una barrera de entrada consistente en no disponer de una regulación adecuada sobre cuestiones de Salud, Seguridad y Medio Ambiente.

5.1.3 Del sector agroganadero

COMPETENCIA POR EL USO Y DESTINO DE LA TIERRA

En la actualidad, los cultivos tradicionales vinculados a los biocarburantes (maíz, caña de azúcar, semillas de palma, girasol, colza y soja), están entre los más extendidos a nivel mundial. Ello plantea la cuestión, aún no resuelta, del grado en que se produce competencia entre los usos bioenergéticos y los alimentarios a que nos hemos referido antes y, sobre todo, si el crecimiento de los primeros puede producir desabastecimiento o tensiones inflacionistas en los segundos. La cuestión de la

competencia por la tierra surge principalmente del hecho de que algunas de las materias primas para los biocombustibles son también cultivos de carácter alimentario, aunque también de la posibilidad de que tierras en las que se cultivan alimentos pudieran ser destinadas a la producción de materias primas para biocombustibles. Ello aumenta el interés por el desarrollo de los cultivos energéticos alternativos, que no son a su vez cultivos alimentarios e, idealmente, que no requieren tierras productivas para el sector agroalimentario. El análisis de la productividad de los cultivos por hectárea es otro factor de importancia, aunque no determinante, ya que la productividad de la conversión de biomasa en biocombustible puede ser distinta. La caña de azúcar, el maíz y la remolacha están entre los cultivos con más altos rangos de productividad por hectárea. Dado que la productividad por hectárea ha ido aumentando en los últimos años, y dado que las tecnologías de cultivo, cosecha, y selección de variedades siguen desarrollándose, es esperable que esta tendencia siga progresando en la misma línea de mejora en el futuro.

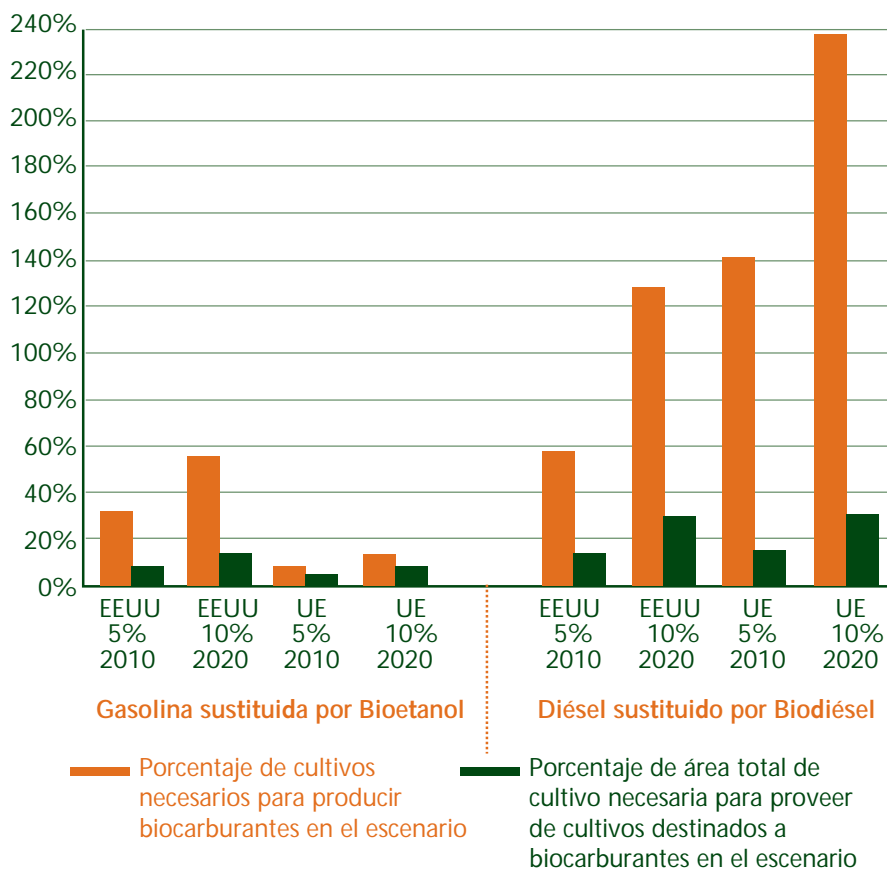
En cualquier caso, la evolución reciente de los precios agrarios evidencia que la correlación más significativa se produce con los precios de los inputs energéticos y con movimientos especulativos relacionados con la distribución, y no con el incremento en el uso de bioenergía, aunque por el momento la cuestión no está definitivamente resuelta.

Es preciso tener en cuenta además que al diversificar los cultivos en sistemas intensivos, pasando del monocultivo al policultivo, y al permitir cambiar de especies anuales a especies perennes (como el chopo o la jatrofa), se favorece el uso de la tierra en términos medioambientales, con los consiguientes beneficios de índole económica y también ecológica. Finalmente, conviene también reflexionar en el ámbito de la agroenergía acerca de los costes vinculados al uso del agua, al que van asociadas las oportunidades para expandir e intensificar la agricultura. La gran variedad de climas y condiciones hidrológicas a nivel mundial hace necesaria la evaluación de cada área en concreto para identificar qué producto puede tener mejores rendimientos energéticos.

IMPOSIBILIDAD DE ATENDER LA DEMANDA DE MATERIA PRIMA

Según los escenarios de empleo de terreno cultivable proyectados por la Agencia Internacional de la Energía para EEUU y Europa, a corto plazo el objetivo de reemplazar el empleo de derivados del petróleo en un 6% por biocombustibles es compatible con la superficie disponible en la actualidad. Así, por ejemplo, para reemplazar el 5% de la gasolina empleada en la actualidad sería preciso para la UE utilizar el 5% de la tierra cultivable, porcentaje que se elevaría hasta el 8% para EEUU; sin embargo, dado que la productividad de los insumos agrarios utilizados para producir biodiésel es más baja, si el objetivo fuera reemplazar el 5% del diésel consumido en la actualidad la UE necesitaría emplear el 15% de la tierra de cultivo disponible, mientras que EEUU precisaría el 13% de su superficie cultivada.

Gráfico 5.1 Exigencias de materia prima y superficie cultivable para los cultivos de primera generación de biodiésel y bioetanol



Fuente: IEA (2004).

LAGUNAS DE FORMACIÓN

El proceso de extensión de la bioenergía en Castilla y León puede tropezar con la ausencia de formación específica por parte de los agricultores que puede convertirse en rechazo o desconfianza. Frente al actual, centrado fundamentalmente en los biocarburantes de primera generación, el nuevo paradigma comporta un cambio algo más profundo. La previsible extensión de nuevas formas de explotación de los recursos de la biomasa, especialmente la biomasa forestal primaria e indirecta, y los residuos agrícolas y ganaderos, bien puede impulsar un cierto cambio organizativo en la explotación agropecuaria. De igual manera, para algunas de las nuevas tareas que será preciso asumir el responsable no cuenta con la experiencia laboral suficiente.

COMPETENCIA INTERNA

Con la previsible expansión de la explotación de la biomasa sólida, puede producirse una competencia interna entre ella y los cultivos energéticos. Estos últimos cuentan con canales y estructuras de comercialización y logística más desarrollados que los de la biomasa.

De manera semejante, un mayor impulso a la recogida y aprovechamiento energético de las industrias de transformación primaria de la madera, pondrá en las manos de éstas un recurso que empezará a ser comercializable, por lo que el desarrollo de la cadena de valorización de residuos permitirá que el valor de éstos se incorpore a la negociación entre el propietario del recurso forestal y el propietario de la empresa de madera o tableros.

5.1.4 Del sector bioenergético

CONCENTRACIÓN DE LA OFERTA

La concentración de la actividad relacionada con la biomasa en unas pocas empresas puede ocasionar problemas de poder de mercado, que pueden producirse tanto en los mercados de adquisición de materia prima a productores de biomasa y generadores de residuos como en los correspondientes a la generación y distribución del producto final. A largo plazo, el número de empresas en el sector vendrá determinado, como en otros sectores, por razones derivadas de las economías de escala y de las economías de gama, circunstancias que en el caso de la bioenergía y exceptuando posiblemente el caso de las plantas productoras de bioetanol por sus elevados costes fijos, no hacen prever una situación de poder de mercado especialmente significativa. Además, el producto final competirá en igualdad de condiciones con otros artículos semejantes (ej. briquetas) lo que permitirá disciplinar el mercado; en otros casos, el mercado de destino es regulado (ej. electricidad) lo que también elimina el riesgo de abuso de posición de dominio. A pesar de todo ello, a corto plazo es posible que la información limitada acerca de las opciones del mercado y el control de las fuentes de aprovisionamiento como consecuencia de la existencia de contratos de suministro den lugar a situaciones de concentración.

DESINTERÉS EN LA PLANIFICACIÓN DE LA I+D

A diferencia de lo ocurrido en el caso de la energía eólica o la solar fotovoltaica, han sido escasos los proyectos de inversión en plantas productoras de bioenergía que hayan realizado una programación ambiciosa de su I+D. Las razones pueden ser de muy diversa índole, aunque las más importantes son la ausencia de incentivos estables, semejantes por ejemplo a los que existen para otras fuentes de

energía renovable en relación con la tarifa eléctrica, y la incertidumbre acerca de la vida útil de la inversión, dada la rápida evolución tecnológica y los cambios en los agentes, productos y reglas del mercado.

En resumen, las amenazas del entorno presentes en el sector de la bioenergía pueden agruparse en torno a cuatro factores: incertidumbre general, contexto de disminución de las ayudas agrarias, competencia entre los cultivos bioenergéticos y otros usos de la tierra, alimentarios o no, e imposibilidad de atender la demanda de inputs por medio de cultivos tradicionales y/o basados en la bioenergía de primera generación.

Cuadro 5.4 Principales amenazas presentes en el sector de la bioenergía

Amenazas
Incertidumbre
Disminución ayudas agrarias
Competencia por el uso de la tierra
Imposibilidad de atender la demanda

Fuente: elaboración propia.

Pero también el contexto general ofrece oportunidades evidentes que pueden ser explotadas en beneficio del desarrollo de la bioenergía. A ellas nos dedicamos el próximo epígrafe.

5.2 Oportunidades presentes en el sector de la bioenergía

5.2.1 Del contexto general

LA BIOENERGÍA ES UNA ACTIVIDAD CONECTADA CON EL DESARROLLO RURAL

Se afirma con frecuencia que la bioenergía puede contribuir al desarrollo de áreas rurales, a la fijación de población de forma más homogénea y al crecimiento del empleo gracias a la diversificación de las actividades vinculadas con el sector forestal, agrario e industrial; es una actividad productiva cuyos efectos beneficiosos se despliegan al reducir el despoblamiento de las áreas rurales, facilitar el rejuvenecimiento demográfico y en definitiva, crear riqueza y mejora neta de bienestar.

Las actividades conectadas con el aprovechamiento energético de la biomasa, la producción directa de materia prima para la industria, el cuidado y limpieza de los bosques y montes, no sólo favorecen el aumento de la rentas agrarias sino que también sirven para potenciar y complementar otras actividades como las relacionadas con el turismo de interior, el turismo activo o el turismo enológico, por ejemplo. El sector

bioenergético puede servir para la creación de empleo, con puestos de trabajo destinados fundamentalmente a jóvenes profesionales con formación que puedan servir de relevo y compensar la pérdida de aquellos otros, menos cualificados y más envejecidos.

Dado que la producción de biocombustibles para transporte es más intensiva en mano de obra que el empleo de biomasa para la producción de calor y electricidad, la primera alternativa es preferible desde el punto de vista de la creación de empleo a las segundas. En cualquier caso, la creación de empleo en última instancia depende de la escala de las plantas transformadoras (las plantas más pequeñas son generalmente más intensivas en trabajo) y el tipo de biomasa considerado.

LA BIOENERGÍA CONTRIBUYE A LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

El desarrollo de la industria bioenergética, en especial aquella vinculada los residuos forestales y agrarios, es un instrumento para mejorar el medio ambiente. Y no sólo por los argumentos basados en el ciclo del carbono y el secuestro del CO₂, sino también porque la explotación económica de esos recursos redundará en un medio ambiente más ordenado y limpio, y en el que los riesgos de incendios deben necesariamente ser más bajos.

En este punto conviene recordar que la sustitución de combustibles fósiles por biomasa para la generación de calor y electricidad es menos costosa y da lugar a mayores reducciones de las emisiones de CO₂ que la sustitución de gasolina o diésel por biocombustibles, debido a las pérdidas energéticas que inevitablemente se producen en la conversión de la biomasa en biocombustibles.

Debe ser destacado, por último, que desde el punto de vista de la lucha contra el cambio climático o la reducción de la dependencia energética del exterior, los esfuerzos en bioenergía deberían concentrarse en promover la investigación y el desarrollo de tecnologías basadas en el aprovechamiento energético de la biomasa lignocelulósica y la procedente de residuos urbanos, agrícolas y ganaderos.

BIOENERGÍA Y SENSIBILIZACIÓN CIUDADANA

En todo el mundo, la concienciación ciudadana acerca de los problemas ambientales ha ido creciendo en las últimas décadas. El interés por el uso racional y sostenible de los recursos impregna la vida cotidiana y la preocupación por la herencia ambiental que vamos a dejar a las generaciones futuras caracteriza la actuación de individuos y empresas.

El desarrollo de bioenergía se vincula precisamente con los valores positivos de la defensa del medio ambiente, la equidad intergeneracional, la responsabilidad con el futuro del planeta, la lucha contra el calentamiento global y la lluvia ácida o la preocupación por la finitud de las reservas energéticas actuales.

Esta fuerte concienciación social en relación con la protección ambiental de los recursos naturales y la sostenibilidad es una oportunidad que puede ser aprovechada para impulsar la bioenergía, tanto desde el punto de vista de la opinión pública ciudadana como para movilizar recursos desde la perspectiva de la responsabilidad social corporativa de las empresas.

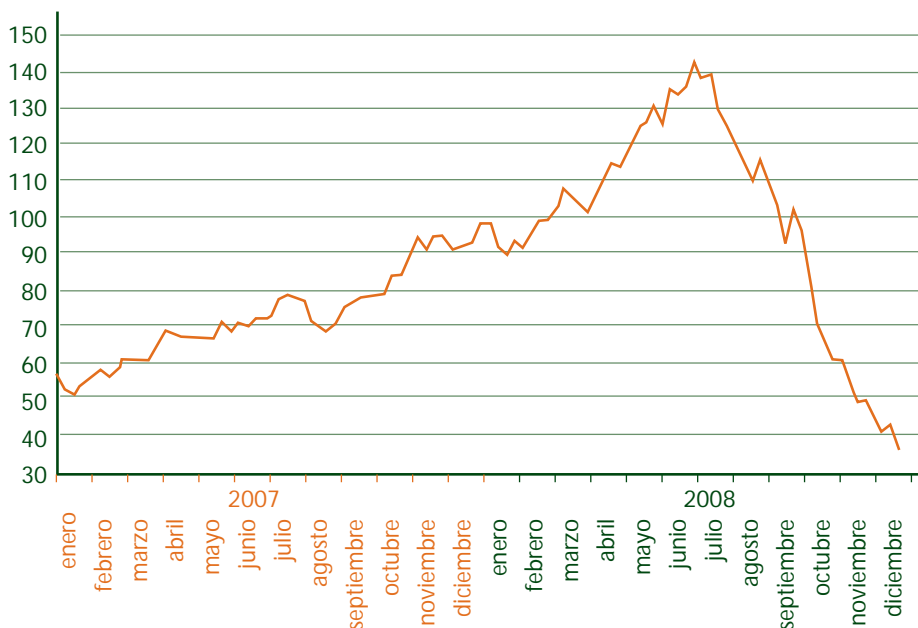
No conviene ignorar, sin embargo, que en tiempos pasados se han sobrevalorado los beneficios ambientales asociados de determinadas formas de bioenergía, mientras que se han infravalorado los costes ambientales vinculados a la pérdida de biodiversidad, aumento del riesgo de desertización, destrucción de hábitats naturales, etc. Ese debate debe reforzar la idea de que en muchas ocasiones los análisis coste-beneficio no han sido hechos con el rigor que la cuestión merece.

BIOENERGÍA Y PRECIOS DEL PETRÓLEO

Durante un periodo largo de tiempo se han registrado los precios más altos del petróleo de la historia, llegándose a los 147 \$ en julio de 2008. Resulta evidente que los precios altos de los productos derivados del petróleo anulan o reducen el diferencial de costes entre los biocombustibles y los combustibles fósiles, lo que supone un incentivo indirecto a la bioenergía. Sin embargo, la actual coyuntura, con ralentización severa de la actividad económica en todas las áreas geográficas, ha supuesto una disminución acelerada del precio del crudo que ha reducido su precio en más de 100 \$ en los últimos cinco meses (gráfico 5.2). Para el futuro cercano, no son previsibles nuevas reducciones de precios. Las últimas previsiones de la IEA estiman para el año 2008 un crecimiento de la demanda de petróleo del 0,1% con relación al año anterior, y del 0,4% para 2009. La OPEP, por su parte, se está planteando reaccionar a esta ralentización de la demanda para compensar la caída en los precios.

Un escenario como el descrito, que muestra la elevada la volatilidad de los precios del crudo, refuerza la conveniencia de encontrar tecnologías estables y rentables, que permitan una incorporación parcial y progresiva de combustibles de origen biológico. Al tiempo, obliga a potenciar los instrumentos regulatorios o fiscales que permitan internalizar los costes ambientales evitados con la producción de energía a partir de elementos de la biomasa así como tecnologías que valoricen al máximo el contenido energético de la misma. Un escenario de precios bajos del petróleo obligará a avanzar de manera más rápida en las segundas y terceras generaciones de biocombustibles así como en la concepción de instalaciones más eficientes, que abarcan desde las biorrefinerías a gran escala a las plantas de cogeneración y/o gasificación de pequeño y moderado tamaño.

Gráfico 5.2 Evolución de los precios del petróleo (Brent, dólares EEUU)



Fuente: US: Energy Information Administration y elaboración propia.

La experiencia histórica demuestra que, en muchas ocasiones, ha sido en épocas de crisis cuando han podido implementarse cambios estructurales importantes. Consideramos que el avance hacia un nuevo paradigma de aprovechamiento energético integral de la biomasa, basado en la sostenibilidad ambiental, lejos de verse perjudicado, puede salir fortalecido de la actual situación de desaceleración económica.

5.2.2 Del marco regulatorio

REGULACIÓN FAVORABLE

La existencia de una regulación favorable, tanto en el ámbito europeo como en el español, es una oportunidad que puede ser aprovechada. Aunque tanto desde la perspectiva industrial, como agraria, existen incentivos que favorecen la actividad de generación de bioenergía, no puede desconocerse que es preciso reducir el grado de incertidumbre regulatoria. Conviene potenciar esta oportunidad a través de una estrategia general que permita la coordinación efectiva entre los distintos subsistemas normativos, como se espera que haga el inminente Plan de Bioenergía de Castilla y León. Además de la normativa general, conviene destacar tres ejemplos de regulaciones específicas, que suponen un avance importante:

- La relativa a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo), que incluye normas específicas para la cogeneración pero también para la co-combustión. Esta última se aplica fundamentalmente en centrales térmicas de carbón y consiste en sustituir un porcentaje del combustible convencional por biomasa, presentando ventajas ambientales y económicas semejantes a las centrales térmicas exclusivamente alimentadas por biomasa seca. Presenta como ventaja la disminución de la inversión específica (€/kWe) así como la mayor flexibilidad de la operación.
- La referente a la eliminación de residuos mediante depósitos en vertederos (Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre), que estableció la obligación de reducir los residuos biodegradables a vertedero, mediante reciclado, compostaje y otras formas de valorización, como producción de biogás mediante digestión anaerobia, de manera que en 2009 el porcentaje de residuos urbanos biodegradables no supere el 50% del total de los generados en 1995.
- La modificación de la Ley del Sector de Hidrocarburos, que incorpora la obligación de mezcla en nuestro ordenamiento, de manera que en 2009 será del 3,4% y en 2010 del 5,83% del contenido energético conjunto de gasolinas y gasóleos comercializados con fines de transporte. El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio haciendo uso de la habilitación establecida en la ley dictó las correspondientes disposiciones de desarrollo por medio de la Orden ITC/2877/2008, de 9 de octubre. Esta modificación había sido demandada desde hacía tiempo tanto desde el entorno agroindustrial como académico (*vid.* por todos, Sánchez Macías, *et al.*, 2006).

5.2.3 Del sector agroganadero

DIVERSIFICACIÓN DE LAS EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS

La posibilidad de aprovechamiento energético de los residuos agrícolas reduce el coste de su eliminación al tiempo que representa una oportunidad para la diversificación de actividades en las explotaciones agrícolas o forestales.

Los residuos agrícolas son recursos fáciles de obtener y su aprovechamiento viene favorecido por el hecho de que de manera necesaria es precisa su gestión. La importancia del aprovechamiento energético de aquellos derivarían de las limitaciones logísticas y sobre todo de la existencia o inexistencia de mercados viables para los mismos residuos (ej. compostaje, explotaciones de hongos, fabricación de pasta de papel).

CONTRIBUCIÓN A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE LOS RESIDUOS GANADEROS

Los residuos ganaderos, mezcla de excrementos sólidos y líquidos de ganado, así como restos de comida y agua residual empleados para su alimentación, se han reutilizado

tradicionalmente como abono en la agricultura. Sin embargo, en las zonas donde existe ganadería intensiva resulta imposible el empleo de los purines y otros residuos ganaderos generados (solo la cabaña porcina genera en España unos 15 millones m³ de excedentes).

Ese exceso ocasiona no pocos problemas ambientales, relacionados con el exceso de nutrientes (compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio), contaminación de las aguas continentales, y existencia de un residuo voluminoso, en su mayoría agua. Por ello, la aplicación de los residuos ganaderos a la generación de bioenergía puede servir para aliviar un importante problema al que se enfrentan los titulares de las explotaciones y el resto de la sociedad. Para ello se cuenta, como sabemos, con dos rutas alternativas; por un lado, la generación eléctrica en régimen especial, mediante cogeneración, y por otro, la fabricación de biogás.

La posibilidad de incorporar los residuos ganaderos a un proceso basado en la cogeneración, surgió al amparo de la regulación de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Tras importantes dificultades, derivadas sobre todo del alto precio del gas natural, la continuidad de las instalaciones existentes parece garantizada, al incluir el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, un régimen transitorio para este tipo de instalaciones. A pesar de ello, el modelo de generación no se considera ya un modelo viable para el futuro.

Si lo es, en cambio, el modelo basado en el aprovechamiento de los residuos ganaderos para la obtención de biogás que será incorporado como único combustible a un proceso de cogeneración. El apartado 4.6.2 de las “Medidas Urgentes de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia” ya incluía la elaboración de un Plan de Biodigestión de Purines para instalaciones de tratamiento centralizadas y en granjas individuales, con la finalidad de reducir la cantidad de nitrógeno y de gases de efecto invernadero. El Plan, finalmente aprobado por el Consejo de Ministros de 26 de diciembre de 2008, se propone el tratamiento de 9.470.000 Tm de purines/año, lo que supondría una reducción de las emisiones de CO₂ en una cantidad equivalente a 2,23 millones Tm/año.

Este nuevo plan, que contará con recursos de Comunidades Autónomas y Gobierno Central, realiza una clara apuesta por la segunda de las rutas comentadas en la utilización bioenergética de los residuos ganaderos, es decir, la metanización de los purines y la valorización del biogás obtenido. De manera complementaria el plan contempla el tratamiento de los purines mediante digestores rurales sobre balsa mediante digestores industriales de co-digestión y, para las zonas de alta concentración ganadera, en donde los costes de transporte del purín aplicado en agrícola sean elevados, el plan prevé el fomento de la aplicación de tecnologías de tratamiento de nitrógeno.

En el momento actual, está pendiente de publicación el Real Decreto que concrete las modalidades y procedimientos de subvención que se desarrollen en aplicación de los procesos técnicos del plan de biodigestión de purines.

En esta última ruta, la bioenergía puede servir para lograr de manera simultánea los siguientes objetivos: solucionar un problema ambiental, facilitar la producción de energía limpia, contribuir a la expansión y crecimiento del sector agroganadero y favorecer la diversificación de actividades.

OPORTUNIDAD DE CREACIÓN DE NUEVOS NEGOCIOS

La oportunidad anterior se añade a la que se abre con la potenciación de nuevos cultivos dedicados específicamente a servir de materia prima al sector bioenergético que no entren en colisión con los destinados a la alimentación y que experimentarán un mayor impulso una vez se consoliden los biocarburantes de segunda generación. Se espera que las actividades vinculadas a la logística de los residuos agrarios y ganaderos experimenten un impulso significativo, lo que puede ampliar el escenario de negocio a los agentes integrantes del sector. De igual manera, la organización de la logística de la biomasa seca y la instalación de instalaciones de gasificación-cogeneración permitiría poner en explotación áreas dedicadas exclusivamente a la producción de biomasa con fines energéticos.

Evidentemente el aprovechamiento económico y energético de la biomasa representa importantes ganancias en términos económicos. Un ejemplo práctico nos permite hacernos una idea del orden de magnitud de la cuestión. Cada hectárea de viñedo puede generar aproximadamente 2 toneladas de sarmientos secos en podas cada año. En Castilla y León hay aproximadamente 70.000 ha de viñedo plantado. Como el poder calorífico de los sarmientos está entre 2.800 y 4.500 kcal/kg, el aprovechamiento de estos residuos, permitiría producir entre 455 y 732 GWh de energía, o lo que es igual, entre 39.000 y 63.000 tep (entre 286.000 y 460.000 barriles).

5.2.4 Del sector bioenergético

APROVECHAR EL ESTADO DEL ARTE EN TECNOLOGÍAS BIOENERGÉTICAS

Como hemos visto más arriba, existen en la actualidad diversas tecnologías que han alcanzado o están a punto de alcanzar el punto de explotación comercial y que pueden suponer un avance decisivo en la implementación de estrategias de penetración de la bioenergía. Fundamentalmente nos referimos a:

- Tecnología de gasificación de la biomasa sólida que permite transformar el potencial energético de la biomasa en estado sólido en syngas, que es más conveniente y presenta menores problemas de almacenamiento, manipulación y transporte.

- Emparejamiento con la tecnología de cogeneración, que permite aprovechar el potencial exotérmico de las reacciones de gasificación para aplicaciones térmicas, de manera que se alcanzan índices de aprovechamiento energético elevados.
- Tecnología de adaptación de instalaciones convencionales a la co-combustión, manteniendo los efectos ambientales positivos sin tener que incurrir de manera inmediata en costosas instalaciones nuevas.
- Tecnología de conversión de la biomasa residual en biogás que puede ser inmediatamente aprovechado en aplicaciones eléctricas y/o térmicas.

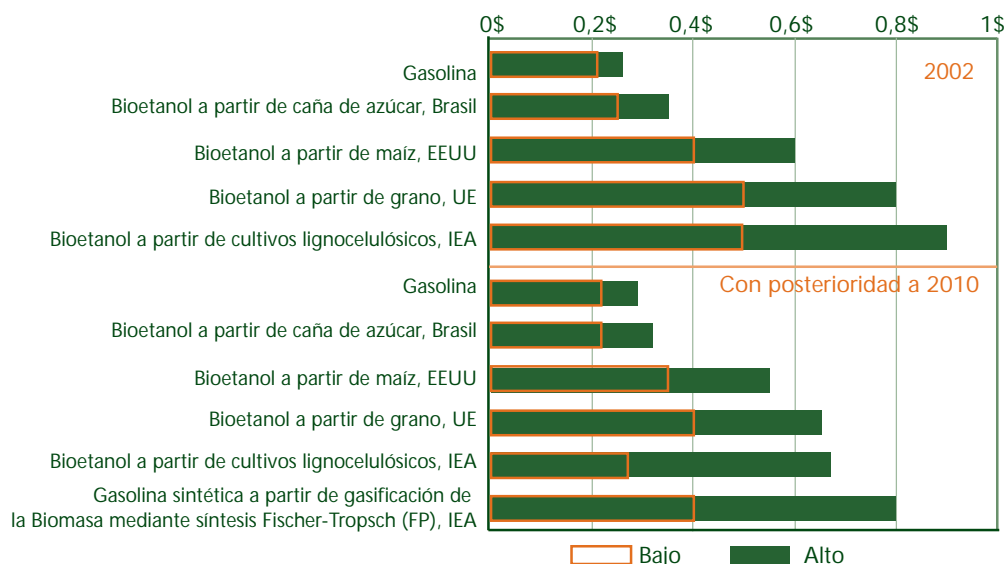
Junto a ellas existen otras que se espera puedan alcanzar en un plazo breve un estado de desarrollo que les permita ser competitivas:

- Tecnologías de obtención de biocarburantes de segunda y tercera generación a partir de material lignocelulósico. Es importante incentivar la entrada de las tecnologías de segunda generación con el fin de que no se generen barreras a la salida en relación con la primera generación, que podrían dificultar la adopción de aquéllas.
- Biorrefinerías.
- Tecnologías de conversión de biomasa en líquido (BTL) mediante la obtención previa de syngas.

El horizonte temporal parece más elevado para otras aplicaciones: obtención de biocarburantes y secuestro de CO₂ a partir de algas, combustibles basados en el hidrógeno, fundamentalmente.

Cuadro 5.5 Estimaciones de costes de producción de bioetanol

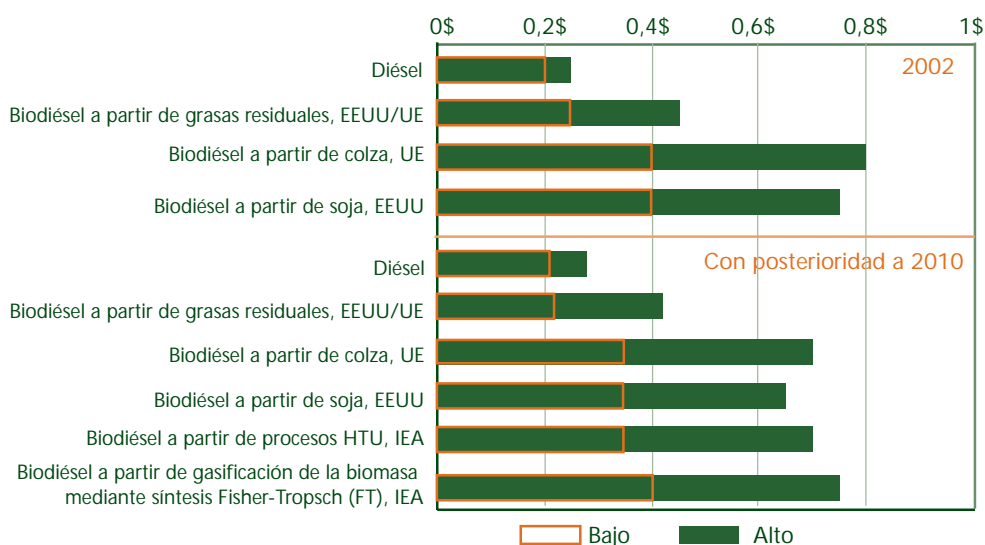
Dólares EEUU por litro, equivalente a gasolina



Fuente: IEA (2004).

Cuadro 5.6 Estimaciones de costes de producción de biodiésel

Dólares EEUU por litro, equivalente a gasolina



Fuente: IEA (2004).

Resulta pertinente preguntarse por la incidencia previsible que va a tener la evolución desde la primera a la segunda generación, fundamentalmente en términos de coste de producción. Los cálculos realizados por la Asociación Internacional de la Energía y mostrados en el cuadro 5.5 apuntan a que en un futuro cercano (el escenario con posterioridad a 2010) el coste de producción del etanol va a ser significativamente inferior al actual. De hecho, el producido a partir de caña de azúcar y el obtenido a partir de biomasa celulósica se espera que presenten costes similares y no muy alejados a los precios de la gasolina obtenida a partir del petróleo, considerando un coste del barril ente 25 \$ y 35 \$. La gasolina sintética obtenida a partir de gasificación unida a un proceso de FT presenta costes más elevados.

Con relación al biodiésel (cuadro 5.6) se puede apreciar cómo es el obtenido a partir de aceites usados el que presenta una menor brecha de costes frente al gasóleo. El biodiésel obtenido a partir de cultivos tradicionales, colza en Europa, y soja en EE.UU, se abarata algo con relación los niveles actuales pero la reducción es inferior a la experimentada en el bioetanol. La propia IEA estima que las reducciones de costes derivadas de la mejora tecnológica se compensan con los incrementos de precios de las materias primas y la reducción del precio de la glicerina que es en 2008 un 32% del que regía en 1995. De hecho, existen procedimientos experimentales para aprovechar energéticamente el glicerol residual y así convertir todo el aceite en biodiésel (e.g. el S50 elaborado por el Institut de Ciència i Tecnologia, IUCT).

BIOENERGÍA COMO LÍNEA DE APUESTA TECNOLÓGICA DE FRONTERA

En el momento actual, las regiones geográficas con abundancia de recursos naturales están en condiciones de liderar, desde el momento inicial, el proceso de desarrollo tecnológico bioenergético de frontera.

Esta oportunidad es, en buena medida, consecuencia directa del contexto tecnológico que acabamos de señalar y también de la experiencia adquirida en el ámbito de los biocarburantes de primera generación. Esta experiencia ha sido positiva y debe seguir potenciándose (como se ha hecho recientemente con la apertura de la nueva Planta de Investigación de Biocombustibles y Bioproductos del Villarejo de Órbigo) pero no puede cerrar el paso a nuevos desarrollos orientados a una concepción integral del fenómeno bioenergético que ligue la producción a la explotación de los recursos de biomasa autóctonos.

La bioenergía está en condiciones de servir de eje vertebrador de actuaciones industriales y agronómicas y forestales con un importante componente tecnológico de vanguardia, como lo atestiguaría un repaso a las líneas prioritarias de investigación establecidas en convocatorias públicas y privadas de ámbito internacional, europeo, nacional o regional.

Como acabamos de señalar el estado actual del arte en el ámbito de la bioenergía, tanto en biomasa como en biocarburantes, es particularmente atractivo y dinámico, con varias tecnologías en fase comercial –pero susceptibles aún de mejoras de proceso– que concurren con otras aspiran a llegar a esa fase, de forma que puedan alcanzar el grado de madurez, estandarización y reducción de costes suficiente para poderse convertir en un paradigma bioenergético a medio plazo.

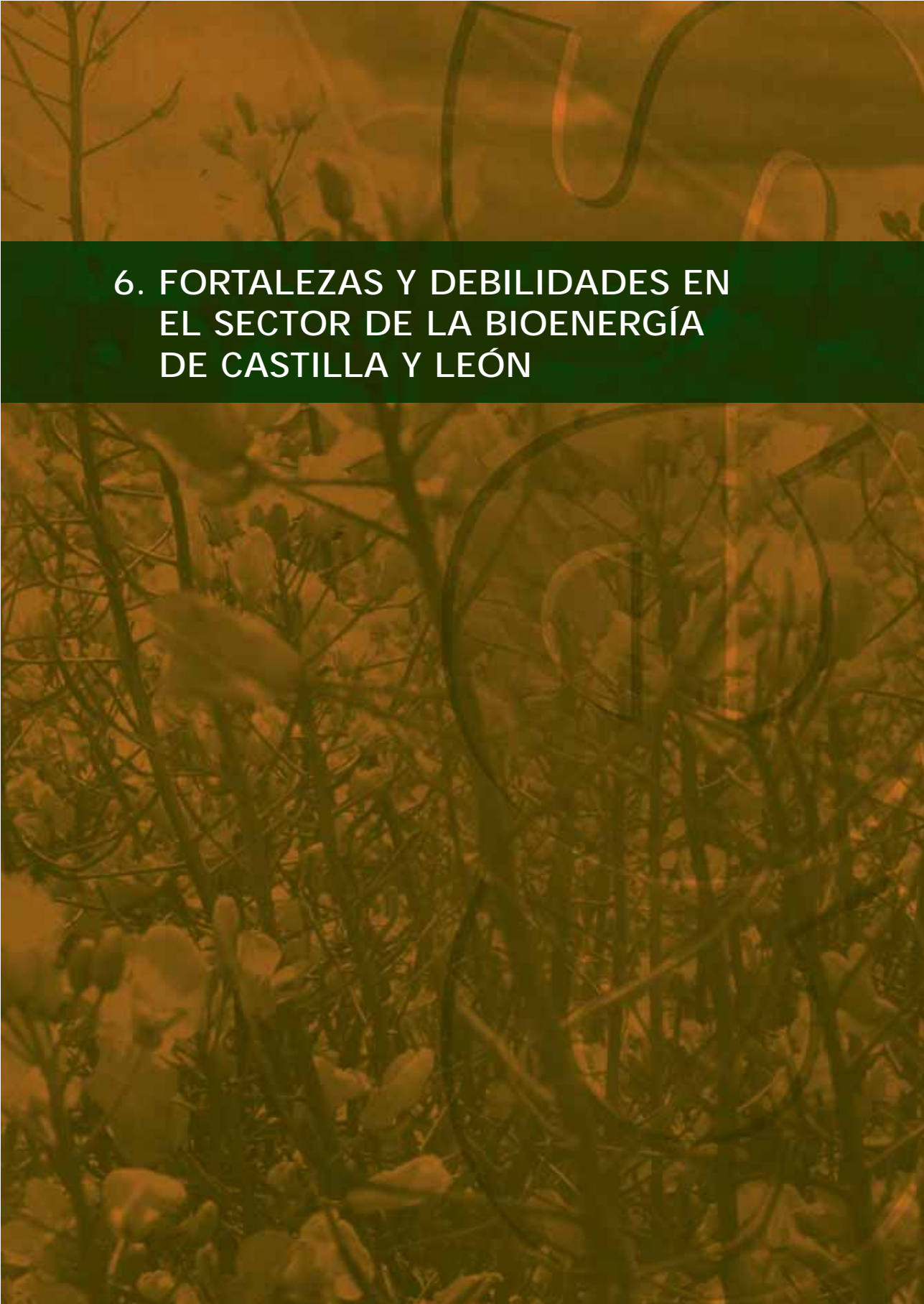
A modo de resumen de lo dicho, las oportunidades del entorno pueden agruparse en torno a cuatro factores: por un lado, la conexión entre estas actividades del sector de la bioenergía y el desarrollo rural, un elemento que es particularmente relevante en el momento actual; en segundo término, la vinculación de la bioenergía con la sostenibilidad ambiental, que mejora la calidad del medio y mejora la percepción social del titular de una explotación agraria, ganadera o forestal favoreciendo que éstos internalicen los beneficios derivados de los costes ambientales evitados; en tercer lugar, la utilización de recursos de biomasa es una oportunidad para reducir progresivamente la dependencia energética de los combustibles fósiles, en su mayoría importados; por último, los importantes avances logrados en los distintos ámbitos que componen la bioenergía, permiten enfrentarse hoy a una situación técnica y económica que era impensable hace sólo una década.

Cuadro 5.7 Principales oportunidades presentes en el sector de la bioenergía

Oportunidades
Conexión con el desarrollo rural
Sostenibilidad ambiental
Independencia energética
Avances tecnológicos notables

Fuente: elaboración propia.

Los factores positivos o negativos que hemos visto tienen en común que se refieren fundamentalmente al contexto externo en que se ha producido la expansión de la bioenergía. En el capítulo siguiente nos ocupamos de analizar los puntos débiles y fuertes que presenta al respecto la Comunidad de Castilla y León.

The background of the page is a photograph of a field of plants, possibly a crop field, with a circular graphic overlay consisting of several concentric rings. The image is tinted with a warm, brownish-orange color. The text is centered in a dark green horizontal band.

6. FORTALEZAS Y DEBILIDADES EN EL SECTOR DE LA BIOENERGÍA DE CASTILLA Y LEÓN

6. FORTALEZAS Y DEBILIDADES EN EL SECTOR DE LA BIOENERGÍA DE CASTILLA Y LEÓN

6.1 Fortalezas

6.1.1 Del sector agrario

EXPERIENCIA EN EL SECTOR AGRÍCOLA

La tradicional importancia de la agricultura como sector económico representa una fortaleza para Castilla y León. Tanto la contribución relativa del sector primario a la riqueza generada, que, con un 7,3% en 2006 es 2,5 veces la de la media nacional, como la importancia de la población ocupada en el agro, que en esta región representa un 7,4% del total, son datos que revelan el grado de especialización de la región en la explotación de los recursos integrantes del sector primario, así como el *know-how* que se ha ido formando a lo largo de tiempo.

A pesar de su obviedad, conviene destacar que los productores de bioenergía demandan del sector primario precisamente productos agrarios, lo que implica que el agricultor puede seguir dedicándose a aquello para lo que está cualificado; únicamente varía el destino final de su producción: en vez del sector alimentario, será la generación de calor, la producción de electricidad o la fabricación de biocombustibles.

La experiencia que el sector agrario de Castilla y León posee en el ámbito organizativo, asociativo y cooperativo, resulta de utilidad en momentos de cambio y se convierte en una ventaja estratégica de la región que conviene ser aprovechada.

POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA FORESTAL Y RESIDUOS GANADEROS

En el ámbito de la biomasa forestal Castilla y León se encuentra en una situación privilegiada que merece ser explotada. Con una extensión de 9.422.641 ha, Castilla y León dispone del 18,6% de la superficie total de España. De ella, más del 45% es superficie forestal o abierta, que presenta una gran diversidad de tipos de vegetación, con abundancia de bosques de frondosas, vegetación esclerófila y recubrimientos a base de coníferas, pastizales y materiales de transición. Además, buena parte de los recursos forestales están bajo la titularidad o bajo la gestión de la administración, lo que puede favorecer el despegue inicial de las actividades de aprovechamiento energético de los residuos forestales.

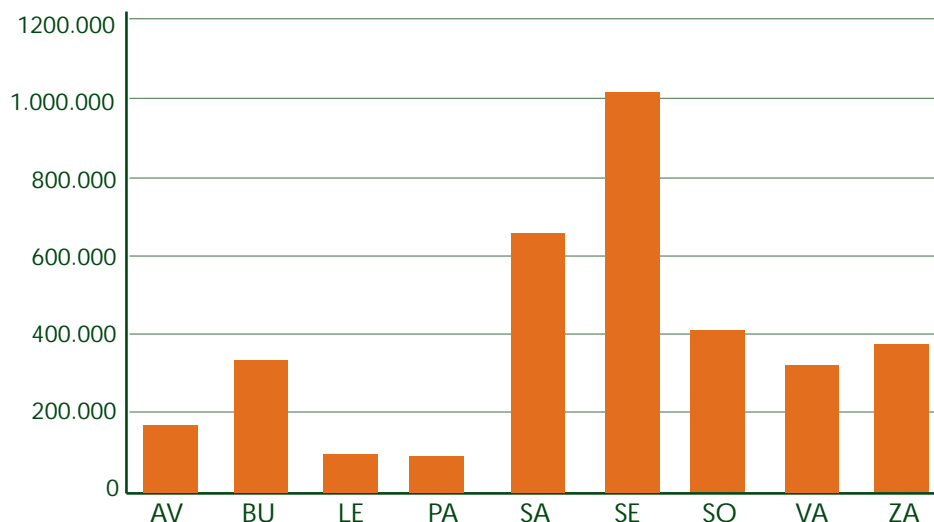
Con relación a la producción de bioenergía a partir de residuos ganaderos, Castilla y León es también una de las Comunidades Autónomas que presenta un mayor potencial. Los residuos ganaderos generados por los casi tres millones y medio de cabezas de porcino a finales de 2007 –cifra que sólo es superada por Cataluña y Aragón– se generan fundamentalmente en Segovia y Salamanca, provincias en las que se concentra el 48% de las cabaña porcina de Castilla y León (cuadro 6.1 y gráfico 6.1).

Cuadro 6.1 Cabezas de porcino por Comunidades Autónomas (diciembre, 2007)

Comunidad Autónoma	Total	%
Cataluña	6.304.238	24,19
Aragón	5.116.932	19,63
Castilla y León	3.499.365	13,43
Andalucía	2.756.377	10,58
Región de Murcia	1.979.403	7,60
Castilla-La Mancha	1.850.100	7,10
Extremadura	1.701.430	6,53
Comunidad Valenciana	1.157.233	4,44
Galicia	819.435	3,14
Navarra	508.682	1,95
Rioja (La)	124.321	0,48
Baleares (Islas)	73.687	0,28
Canarias	70.513	0,27
Madrid	45.472	0,17
País Vasco	31.836	0,12
Asturias	20.194	0,08
Cantabria	2.012	0,01
España	26.061.232	100,00

Fuente: MARM (2008) y elaboración propia.

Gráfico 6.1 Distribución provincial de la ganadería porcina de Castilla y León (diciembre, 2007)



Fuente: MARM (2008) y elaboración propia.

En definitiva, tanto desde la perspectiva agrícola como desde la forestal o ganadera, Castilla y León es una de las Comunidades Autónomas españolas con mayores potencialidades para el desarrollo de la bioenergía, ya sea la producción de biocarburantes, gas de síntesis o biogás. Esta dotación factorial es una fortaleza que para su puesta en valor requiere ser canalizada a través de proyectos estructurantes, plasmados en una estrategia regional integral.

6.1.2 Del sector industrial

Castilla y León es una región con experiencia en la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, como lo atestigua su posición en el ámbito de la generación hidroeléctrica, eólica y solar. Como hemos tenido ocasión de señalar, Castilla y León es también una Comunidad Autónoma con un importante sector bioenergético, con varias plantas productoras de biodiésel y de bioetanol ya operativas y en funcionamiento, y de plantas de tratamiento de purines basadas en la cogeneración.

Aunque no puede desconocerse que las industrias productoras de biocarburantes instaladas en la actualidad se basan en tecnologías de primera generación, su elevado grado de innovación e investigación aplicada las coloca en la frontera del estado del arte. Como hemos señalado, si bien el futuro pasa por el desarrollo de

las tecnologías de segunda generación, resulta imprescindible transitar antes por las tecnologías y cultivos tradicionales para adquirir el *know-how* preciso para favorecer el tránsito hacia aquéllas.

Con relación al tratamiento de residuos ganaderos, es preciso destacar, en línea semejante a la de los biocarburantes, que aunque las plantas existentes en la actualidad no explotan el potencial energético contenido de los purines y las gallinazas, por estar basadas en un modelo de cogeneración simple, han permitido desarrollar una mínima estructura logística y unas pautas de operación que resultan de gran utilidad a la hora de acometer proyectos realmente bioenergéticos, basados en la producción de biogás que elimine la necesidad de utilizar el gas natural para la producción de energía eléctrica.

6.1.3 Del ámbito general de la Comunidad

INVESTIGACIÓN

Castilla y León cuenta también con estructuras de investigación susceptibles de ser empleadas para impulsar el desarrollo de una industria bioenergética centrada en la promoción y la difusión de las tecnologías de segunda generación. El sistema universitario de Castilla y León (compuesto por cuatro universidades públicas y otras cuatro universidades privadas) se caracteriza en la actualidad por contar con un potente entorno de investigación en áreas como la ingeniería agraria, la biología, la biotecnología, las ciencias ambientales, la economía energética, entre otras, que han alcanzado niveles de excelencia.

Junto a las universidades, los parques científicos permiten, facilitan, potencian y atraen actividades de I+D+i. Los cuatro parques científicos existentes, vinculados o promovidos por las universidades públicas, pueden convertirse en un motor para la intensificación de las relaciones entre el entorno empresarial y el ámbito científico, que son ingrediente importante del despegue de la bioenergía de frontera.

También conviene destacar la importancia de la labor desarrollada por las instituciones pertenecientes de la red de centros tecnológicos de Castilla y León, elemento integrante del sistema regional de I+D+i. El impulso a la bioenergía forma parte, por ejemplo, de los objetivos de instituciones como Cartif, Cidaut, CTME, Inbiotec, por citar algunos centros bien conocidos.

Finalmente, los organismos de apoyo de la Junta de Castilla y León, fundamentalmente el ITACyL, el EREN y la ADE, han tenido un papel destacado en el fomento de la bioenergía en Castilla y León; papel que a buen seguro deberá fortalecerse en el futuro inmediato. Como resultado destacado de esta actividad puede mencionarse el esperado Plan sectorial de la Bioenergía de Castilla y León, actualmente en preparación por el EREN y el ITACyL.

Todas estas instituciones integran un sustrato de apoyo a la investigación, tecnológica y aplicada, del fenómeno bioenergético, que conviene incentivar y así lograr que esta fortaleza desarrolle sus efectos en las vertientes agraria, industrial y empresarial.

SINERGIAS CON OTRAS POLÍTICAS REGIONALES

La explotación de los recursos naturales con el objeto de producir energía es una actuación que combina perfectamente con otras políticas regionales. El desarrollo de la bioenergía no sólo no es incompatible, sino que permite reforzar los objetivos propios de la política agraria, de la política de desarrollo rural, de la política industrial, de la política ambiental, de la política de transporte, de la política industrial, de la estrategia de investigación científica y de desarrollo logístico, por poner algunos ejemplos.

Cuadro 6.2 Bioenergía y políticas conectadas

Política agrícola	Política industrial	Estrategia de Investigación Científica
Política ganadera	Política de empleo	Estrategia Universidad Empresa
Política de desarrollo rural	Política de transportes	Estrategia de infraestructuras y logística
Política ambiental	Política energética	Estrategia turística y de promoción

Fuente: elaboración propia

El cuadro 6.2 resume algunas de las principales políticas que deben coordinarse y pueden reforzarse con una política de bioenergía. Nosotros únicamente vamos a referirnos brevemente a las cuatro que se encuentran a la derecha del cuadro.

La Estrategia Regional de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2007-2013 se propone como misión " *facilitar que Castilla y León se transforme en un nuevo punto de referencia no sólo nacional sino también internacional en materia de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, dando lugar a un cambio cualitativo en el comportamiento de las empresas, de las instituciones y de la sociedad en su conjunto*", y se plantea como objetivos específicos los que se recogen en el cuadro 6.3.

Para lograrlo articula sus acciones en torno a ocho programas: (1) consolidación del capital humano; (2) potenciación de la I+D+i de excelencia en el contexto nacional e internacional; (3) financiación y apoyo al desarrollo y a la gestión de la I+D+i; (4) implantación, uso y desarrollo de las TIC; (5) promoción de la capacidad emprendedora: creación de empresas; (6) creación, desarrollo y consolidación de las infraestructuras de apoyo; (7) cooperación; (8) difusión.

Cuadro 6.3 Objetivos específicos de la Estrategia de I+D+i 2007-2013

- Desarrollar nuevas oportunidades para el capital humano en torno a sectores de futuro.
- Generar conocimiento de excelencia en sectores estratégicos a partir de la integración de investigación, innovación y cualificación.
- Optimizar la presencia de Castilla y León en el exterior en ámbitos nacionales e internacionales.
- Adecuar la financiación de la I+D+i a las necesidades de las empresas.
- Generalizar la cultura de la innovación en las empresas.
- Desarrollar la cultura digital e introducir las TIC en las empresas y en el entorno investigador.
- Crear y consolidar empresas innovadoras y competitivas en sectores de futuro.
- Consolidar una red de soporte de la I+D+i a partir de los espacios de innovación.
- Avanzar en la profesionalización de la actividad de soporte a la I+D+i.
- Lograr una mayor interacción entre diferentes actores e instituciones en la política de I+D+i y coordinación de los ámbitos de trabajo.
- Incrementar el interés social por la ciencia y la tecnología.
- Evaluar y mejorar de manera continua los programas, medidas y actuaciones.

Fuente: Junta Castilla y León (2008).

En una línea complementaria, la Estrategia Universidad-Empresa 2008-2011, se plantea como objetivo general *el fortalecimiento del triángulo del conocimiento como base de la construcción de la ventaja competitiva en Castilla y León, fomentando la innovación tecnológica en las empresas a partir de la transferencia del conocimiento generado en las universidades y sentando las bases de un crecimiento económico sostenible y de una creación de empleo de calidad.*

La investigación en el ámbito de las energías renovables, en general, y la bioenergía en particular, pertenece a las áreas prioritarias de la Unión Europea, de España y también de Castilla y León. Refiriéndonos a nuestro ámbito de estudio, los esfuerzos en investigación y en innovación han de concentrarse en la explotación rentable de las nuevas generaciones de biocombustibles, donde Castilla y León puede desempeñar un importante papel no sólo en el terreno de la aplicación sino también en el del desarrollo de la tecnología de frontera.

La logística de transportes debe garantizar el suministro regular de inputs y la distribución coste-efectiva de los productos de la bioenergía. En algunos subsectores el problema logístico está bien encauzado (transporte de granos, aceites, etc.) pero en otros hay un claro déficit (residuos forestales y ganaderos, fundamentalmente).

Allí donde sean precisas, la bioenergía debe buscar soluciones, enmarcándolaas, si es posible, en el modelo CyLoG de infraestructuras complementarias del transporte y la logística de Castilla y León.

Finalmente, la potenciación de la bioenergía puede reforzar la política turística y de imagen que Castilla y León quiere trasladar al exterior: una Comunidad comprometida con el medio ambiente, con la naturaleza, con la sostenibilidad y el crecimiento ordenado, una región con una oferta de calidad en el marco del turismo cultural, del turismo de naturaleza, del turismo gastronómico y enológico, del turismo rural y activo, etc. Toda medida que favorezca que la región sea un referente en la industria bioenergética sirve también para reforzar los valores que quiere incorporar la marca turística Castilla y León.

EL cuadro 6.4 extrae de la reflexión anterior las notas principales que caracterizan los puntos fuertes de Castilla y León con relación a la bioenergía.

Cuadro 6.4 Principales fortalezas de Castilla y León en el sector de la bioenergía

Fortalezas
Potencial de producción de biomasa
Potencial de investigación
Existencia de bioindustria de primera generación
Vocación en energías renovables

Fuente: elaboración propia.

6.2 Debilidades

6.2.1 Del sector agrario

CONSIDERACIONES SOCIODEMOGRÁFICAS

Es bien conocido que la población de Castilla y León tiene una edad media más alta que la de la media nacional; y esto es especialmente cierto en el ámbito rural. Ese envejecimiento de la población más vinculada con el sector agrícola, ganadero o forestal pudiera tener alguna consecuencia negativa desde el punto de vista de la incorporación de nuevos modelos de gestión de las explotaciones. Incluso aceptando que las generaciones más maduras tiendan más a conservar el *statu quo* y sean menos proclives a la innovación, no parece que este sea un problema importante, aunque orienta acerca de un campo sobre el que es preciso incidir: ofrecer información clara a los profesionales del agro de la región.

La falta de experiencia y formación específica en nuevos cultivos energéticos y otras formas de obtención de recursos de biomasa con finalidad energética puede ser

también un punto débil, que puede ser neutralizado mediante planes de formación pero, sobre todo, mediante el efecto demostrativo que ejerce el conocimiento de experiencias provechosas y rentables en ámbitos análogos.

La dispersión de los núcleos urbanos en Castilla y León puede ser también una dificultad para aprovechar los residuos urbanos por medio de plantas de tratamiento. Sin embargo, esa ausencia de grandes metrópolis favorece también que no existan graves problemas ambientales en las ciudades y pueblos de la región.

6.2.2 Del sector industrial

DEPENDENCIA DE LA INVESTIGACIÓN EXTERIOR

Casi todos los avances que se han ido produciendo en el ámbito de la bioenergía de segunda y tercera generaciones descansan sobre invenciones, descubrimientos o innovaciones originados en el exterior, de manera que Castilla y León ha permanecido bastante alejada del debate científico e industrial que ha acompañado a las centrales de gasificación para la biomasa lignocelulósica, la co-digestión de los residuos o la obtención de enzimas que permitan la producción de bioetanol de segunda generación. Esta debilidad no es exclusiva de este sector y responde a la escasa potencia de la actividad de transferencia en Castilla y León a la que se le quiere poner remedio por medio de la Estrategia comentada en la sección 6.1.3.

ESCASA PENETRACIÓN DE LA BIOENERGÍA DE SEGUNDA GENERACIÓN

En general, la penetración de la bioenergía de segunda generación es muy limitada en Castilla y León, limitándose a la planta experimental para la obtención de etanol a partir de material lignocelulósico emplazada en Babilafuente (Salamanca), al lado de la planta convencional de primera generación.

ELEVADO COSTE DE INVERSIÓN ESPECIALMENTE PARA BIORREFINERÍAS

Es también una limitación al desarrollo de la bioenergía de segunda generación el elevado coste de la inversión que requiere la construcción de una biorrefinería, especialmente hasta que la tecnología no haya sido completamente calibrada. Sin embargo, la apuesta por este tipo de instalaciones integrales es irrenunciable en el medio plazo, una vez concluyan satisfactoriamente las experiencias de procesamiento y aprovechamiento integral de toda fracción energética presente en la biomasa.

6.2.3 De la conexión entre el sector agrario y el sector industrial

CARENCIAS EN LAS INFRAESTRUCTURAS LOGÍSTICAS Y DE TRANSPORTE

La explotación de los recursos agrícolas, ganaderos o forestales está dificultada, como se ha dicho, por la limitación de los canales logísticos para proporcionar un suministro adecuado, en cantidad, calidad y frecuencia, a los productores de bioenergía. Por ejemplo, la infraestructura física, la meteorología y la temporalidad pueden limitar el aprovechamiento de los residuos forestales y los de la industria maderera para la generación de bioenergía, al tiempo que la existencia de mercados alternativos asentados como la industria del tablero o la de pasta de papel, dificultan su desarrollo.

FALTA DE MERCADO

La carencia principal se refiere, sin embargo, a la inexistencia de un mercado para los cultivos energéticos que sea asumible por los responsables de la industria productora, y satisfactorio para los productores agrarios. Las negociaciones realizadas en el seno de la Mesa Nacional de Biocarburantes no han sido capaces de resolver el problema, de manera que las principales materias primas de las que se alimentan las fábricas de biodiésel o bioetanol son aceites o cereales importados.

La estrechez del mercado se agudiza cuando se constata la práctica inexistencia de contratos a plazo que vinculen a productores y agricultores durante un periodo de tiempo que exceda de la campaña. Las razones de esta inexistencia son varias: (1) la falta de costumbre en utilizar mecanismos de mercado para limitar el riesgo derivado de la volatilidad de los precios; (2) la competencia entre el uso alimentario y el uso energético de los productos derivados de los cultivos energéticos; (3) la falta de un criterio de indicación que sea aceptado por las dos partes; los agricultores desearían que el precio del producto destinado a la bioenergía se vinculase al que alcance el producto en el mercado alimentario *spot*; por su parte, la industria aboga por anclar el precio del producto agrario a la evolución de los combustibles fósiles.

Aunque a medida que se avance hacia la segunda generación de biocarburantes esta limitación disminuirá su importancia, convendría, en aras al crecimiento de este nicho de mercado, que se redoblasen los esfuerzos para encontrar un mecanismo que fuese satisfactorio para ambas partes.

Una síntesis semejante a la realizada en los otros elementos del DAFO, destaca los cuatro elementos que aparecen recogidos en el cuadro 6.5.

Cuadro 6.5 Principales debilidades de Castilla y León en el sector de la bioenergía

Debilidades
Dependencia tecnológica del exterior
Mercado estrecho en cultivos energéticos
Dificultades logísticas
Escasa apuesta por la segunda generación

Fuente: elaboración propia.

Una vez discutidos los ingredientes que componen, a nuestro juicio, las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas a que se enfrenta el sector de biotecnología en Castilla y León, conviene representarlas en la correspondiente matriz resumen (cuadro 6.6).

Cuadro 6.6 Resumen del análisis DAFO

Fortalezas	Debilidades
Potencial de producción de biomasa	Dependencia tecnológica del exterior
Potencial de investigación	Mercado estrecho en cultivos energéticos
Existencia de bioindustria de primera generación	Dificultades logísticas
Vocación en energías renovables	Escasa apuesta por la segunda generación
Oportunidades	Amenazas
Conexión con el desarrollo rural	Incertidumbre
Sostenibilidad ambiental	Disminución ayudas agrarias
Independencia energética	Competencia por el uso de la tierra
Avances tecnológicos notables	Imposibilidad de atender la demanda

Fuente: elaboración propia.



GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Análisis DAFO

El análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) es un método de estudio sistemático de la situación competitiva de una empresa o institución en función de las fortalezas y debilidades propias de la organización en el contexto de las oportunidades y amenazas generadas por el entorno en el que actúa.

Bioenergía

Energía renovable obtenida a partir de fuentes primarias biológicas.

Biomasa

Materia orgánica generada por procesos biológicos que es utilizable como fuente de energía.

Centros de Tratamiento de Residuos (CTR)

Instalación destinada a la recepción, separación y procesamiento de residuos, urbanos o industriales, con el propósito de proceder a su reciclaje, reutilización, valorización, aplicación para aprovechamiento energético o almacenamiento.

Co-combustión

Combustión conjunta de varios combustibles en un mismo proceso. De manera particular, la co-combustión se refiere a la utilización de biomasa en una instalación concebida inicialmente para operar en exclusiva con combustible de origen fósil.

Co-digestión

Mezcla de diferentes residuos orgánicos o subproductos en un proceso de digestión anaeróbica, con el objetivo de optimizar la producción de biogás.

Economías de escala

En su acepción más general, como simplificación de la expresión "economías de escala crecientes", indica la capacidad que tiene una unidad productiva para incrementar su output de forma más que proporcional al aumento en todos sus inputs, es decir, al aumento de su escala productiva.

Economías de gama

Reducción en costes debida al hecho de que los mismos factores de producción sean utilizados en distintos procesos.

Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR)

Instalaciones que tienen por objeto tratar aguas negras o mezcladas para obtener un agua efluente de mejor calidad, mediante diversos procedimientos físicos, químicos y biológicos.

Estrategia *win-win* (o estrategia ganar-ganar)

En teoría de juegos y teoría de la negociación, se denomina estrategia *win-win* a aquella que conduce a resultados beneficiosos para todos los agentes implicados. Estas estrategias requieren que el juego sea de suma positiva, frente a los de suma cero, donde las ganancias de un participante se ven minoradas por una pérdida igual de algún otro jugador. Las estrategias *win-win* adquieren una cualificación en un contexto de incertidumbre, al requerir que los resultados beneficiosos sean robustos ante las distintas realizaciones del fenómeno incierto.

Gasificación

Tecnología que permite la transformación de la biomasa en estado sólido en un gas combustible de bajo poder calorífico, mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, denominado syngas. Este proceso termoquímico consiste en hacer reaccionar a altas temperaturas el sustrato carbonoso con una cantidad controlada de agentes gasificantes (aire, oxígeno y/o vapor de agua).

Gases de efecto invernadero

Aquéllos cuya presencia en la atmósfera contribuye al llamado efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono, metano, ozono, óxidos de nitrógeno y cloro-fluorocarburos.

Hidrocarburos

Compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. Cuando se extraen directamente de formaciones geológicas en estado líquido reciben el nombre de petróleo, mientras que los que se encuentran en estado gaseoso se denominan gas natural.

Know-how

Literalmente "saber cómo", describe la habilidad, conocimiento práctico o técnica con que cuenta un sistema u organización para desarrollar una determinada función.

Ktep

Kilotonelada equivalente de petróleo. 1 Ktep equivale a 1.000 Tep (Tonelada equivalente de petróleo), siendo un Tep la unidad energética que equivale a la energía producida por la combustión de una Tonelada de petróleo.

Mesa Nacional de Biocarburantes

Órgano consultivo cuya constitución impulsó el Ministerio de Agricultura en 2006, con representación de productores, agricultores, industria transformadora y la Administración, y con el objetivo principal de definir un marco contractual adecuado entre la industria de los carburantes, la industria transformadora y los agricultores.

Modelo CyLoG

Modelo único de gestión y coordinación de la red regional de infraestructuras complementarias del transporte y la logística de Castilla y León que fue aprobado por Acuerdo de 24 de noviembre de 2005. Está previsto que la red, que ofrecerá instalaciones físicas, servicios básicos y servicios avanzados, esté plenamente operativa en 2015.

Parque tecnológico

Proyecto diseñado para estimular y gestionar el flujo de conocimiento y tecnología entre universidades, instituciones de investigación, empresas y mercados y para impulsar la creación y el crecimiento de empresas innovadoras mediante mecanismos de incubación y de generación centrífuga (*spin off*), proporcionando otros servicios de valor añadido así como espacio e instalaciones de calidad.

Parque científico

Es una variante de parque tecnológico, dedicado fundamentalmente a impulsar y consolidar la creación de empresas nacidas en la universidad, producto de la unión de categorías de investigadores, y de empresas que se instalan en estos parques atraídos por la capacidad tecnológica de una universidad próxima.

Plan de Energías Renovables (PER)

Elaborado en 2005 por el *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)* con la asistencia del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, y con vigencia hasta 2010, sustituye al *Plan de Fomento de las Energías Renovables (PFER) 2000-2010*, cuyos objetivos estaban lejos de la senda de cumplimiento planeada, y establece una serie de objetivos de consumo de energías renovables (entre ellos, que en el 2010 el 12 % del consumo de energía en España proceda de fuentes renovables, y que al menos el 5,75 % del consumo de energía en el transporte correspondiera a biocarburantes) y estrategias para conseguirlos (fundamentalmente fomento de energías renovables e incentivo de la eficiencia energética).

Política Agrícola Común (PAC)

Conjunto de instrumentos políticos y económicos diseñados y aplicados por las instituciones de la Unión Europea para regular, intervenir y orientar los mercados agrarios en el ámbito geográfico de los Estados miembros, con el objetivo de aumentar el nivel de vida de los agricultores, garantizar un abastecimiento de calidad y preservar el medio rural.

Precios forward

Precio fijado para la entrega de una mercancía en una fecha futura a la negociación, frente al precio *spot* que es el acordado para la entrega de la mercancía en el momento de la negociación.

Protocolo de Kioto

Acuerdo internacional elaborado en 1997 en el marco de la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, suscrita en 1992, estableciendo una serie de medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y fijando como objetivo para diversos países industrializados la reducción de las emisiones medias en un 5% frente a los niveles de 1990.

Régimen especial (en producción de energía eléctrica)

Normativa específica que regula la producción de energía eléctrica realizada por instalaciones basadas en tecnologías de generación que utilizan energías renovables, residuos o cogeneración. Se caracteriza por contener normas de retribución y de acceso a la red favorables, por los beneficios ambientales que presentan. La normativa básica se contiene en el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo.

Tierras de retirada

Práctica empleada en la PAC con el fin de estabilizar los mercados y reducir excedentes, consistente en la incentivación de abandonar la producción agrícola en una parte de las tierras de cultivo de cada agricultor receptor de ayudas públicas. Las últimas actuaciones de la UE parecen apuntar a la desaparición de esta práctica en un horizonte temporal cercano: en 2007 se decidió eliminar la obligación de retirada de tierras para el año 2008 y a finales de ese año se anunció el compromiso político de su supresión definitiva, con efectos de 1 de enero 2009.

VAB (Valor Añadido Bruto)

Valor de la producción final de bienes y servicios generado por una economía o un sector productivo en un periodo de tiempo, generalmente un año.

The background of the page is a photograph of a field of tall, thin plants, possibly grasses or reeds, with some white flowers. A large, semi-transparent circular graphic is overlaid on the right side of the image, resembling a stylized 'C' or a similar symbol. The overall color palette is a warm, golden-brown or sepia tone.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ADEN, A. (2007): "Biomass and Biofuels: Technology and economic overview", National Renewable Energy Laboratory. www.nrel.gov.
- ANTOLÍN, G. (2006). "Cultivos Agrícolas para la producción de biocarburantes", *mimeo*, CARTIF.
- Asociación de Productores de Energías Renovables (2008): *Capacidad, producción y consumo de biocarburantes en España: situación y perspectivas*, Barcelona: APPA, noviembre.
- Asociación Nacional de Empresas Forestales (2007): "Guía para el uso y aprovechamiento de la biomasa en el sector forestal". www.asemfo.org.
- BADGER, P. C. (2002): Trends in new crops and new uses, cap. Ethanol from cellulose: a general review, American Society for Horticultural Science (ASHS) Pres., Alexandria, VA, USA.
- Biomass Research and Development Technical Advisory Committee (2006): "Vision for Bioenergy and Biobased Products in the United States". www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/final_2006_vision.pdf.
- CARRASCO, J. (2006): "Los cultivos energéticos como alternativa sostenible a la agricultura en España: El proyecto singular estratégico para el desarrollo de los cultivos energéticos", comunicación presentada al Congreso Nacional de Medio Ambiente, 2006.
- Centro Nacional de Energías Renovables (2006): "La utilización de la biomasa en el medio rural en España", *mimeo*.
- Centro Nacional de Energías Renovables (2008): "El recurso: Los residuos forestales".
- Comisión de las Comunidades Europeas (2006): "Estrategia de la UE para los biocarburantes", COM (2006), 34 final.
- CONTRERAS, L. (2006): "Producción de biogás con fines energéticos. De lo histórico a lo estratégico", *Futuros* 16.
- DE MIGUEL, R. (2006), *Outlook for bioethanol in Europe: boosting consumption*, European Bioethanol Fuel Association (eBIO).

- EDWARDS, R. (2008): "Biofuels in the European Context: facts and uncertainties", Comisión Europea, Joint Research Centre.
- ENGIDANOS, M., A. Soria, B. Kavalov, y P. Jensen (2002): Techno-economic analysis of Bio-diesel production in the EU: a short summary for decision-makers. European Commission Joint Research Centre.
- EurObserv'ER (2007): State of Renewable Energies in Europe, 7th Overview Barometer. www.eurobserv-er.org.
- European Biodiesel Board (2008): Producción de biodiésel en Europa. www.ebb-eu.org/stats.php
- European Union Directorate-General for Agriculture and Rural Development (2005): "Agriculture in the European Union". *Statistical and Economic Information 2004*.
- EVANS, G. (2007): *Liquid Transport Biofuels - Technology Status Report*, International Biofuels Strategy Project.
- FAO (2001): *UWET – Unified Wood Energy Terminology*, FAO.
- FAO (2008a): *Bosques y Energía: cuestiones clave*, FAO.
- FAO (2008b): *Bioenergía, seguridad y sostenibilidad alimentaria: Los desafíos del cambio climático y la bioenergía*, FAO.
- FAO (2008c): *Producción de bioenergía*, Working Paper, FAO.
- Gasification-Guide Project (2008): *Guideline for safe and ecofriendly biomass gasification*. www.gasification-guide.eu.
- HARROW, G. (2008): *Ethanol Production, Distribution, and Use: Discussions on Key Issues*, National Renewable Energy Laboratory. www.nrel.gov/docs/fy08osti/43567.pdf.
- IEA (2004): *Biofuels for transport: an international perspective*, Paris: International Energy Agency.
- IEA (2007a): *Bionergy Project Development & Biomass Supply*, IEA. www.ieabioenergy.com.
- IEA (2007b): *Potential Contribution of Bioenergy to the World's Bioenergy Demand*, IEA. www.ieabioenergy.com.
- IEA (2008a): *The Availability of Biomass Resources Summary and Conclusions from the IEA Bioenergy Exco58 Workshop*, IEA. www.ieabioenergy.com.
- IEA (2008b): *From 1st to 2nd generation biofuel technology. An overview of current industry and RD&D activities*.
- JIMÉNEZ LUQUE, A. (2007): "Posibilidades de incorporación de nuevos cultivos energéticos al sistema productivo: el caso de la *Jatropha Curcas*", *Tierras de Castilla y León*, nº 142, pp. 32-36.

- Junta de Castilla y León (2006): *Modelo CyLoG de infraestructuras complementarias del transporte y la logística de Castilla y León 2006-2015*, Valladolid.
- Junta de Castilla y León (2007): *Estrategia regional de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación de Castilla y León 2007-2013. Construyendo la ventaja competitiva*, Valladolid.
- Junta de Castilla y León (2008): *Estrategia Universidad-Empresa de Castilla y León. 2008-2011*, Valladolid.
- KENT, M. y K. Andrews (2007): "Biological research survey for the efficient conversion of biomass to biofuels", Sandia National Laboratories.
www.prod.sandia.gov.
- KNOEF, H. (2008): *On the way to safe and eco-friendly biomass gasification*. Viena.
www.gasification-guide.eu/.
- LIN, Y. y TANAKA, S. (2006): "Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69: 627-642.
- LÓPEZ, P. *et al.* (2008): "Los biocombustibles: ¿una oportunidad agrícola?", ITAP.
www.itap.es/ITAPComun/Novedades/Documentos/Biocombustibles.pdf.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2005): *Plan de Energías Renovables 2005-2010*, Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008): *Anuario de estadística agroalimentaria y pesquera 2007*, Madrid.
- MOHAN, D.; PITTMAN, C. U. y STEELE, P. H. (2006): "Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review", *Energy Fuels*, 20 (3), pp. 848-889.
- MONROE, J. (2007): "Development of platinum-loaded Y-type zeolite catalysts for high efficiency conversion of biomass-derived carbohydrates to hydrogen", *Sandia National Laboratories*.
- National Renewable Energy Laboratory (2002): *Strategic biorefinery analysis: Analysis of Biorefineries*, NREL. www.nrel.gov.
- National Renewable Energy Laboratory (2006): *Straight vegetable oil as a diesel fuel?*, NREL. www.nrel.gov.
- NEILSON, R. (2007): *The role of cellulosic ethanol in transportation practical paths: Climate change and beyond*, Idaho National Laboratory.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España (2006): *Cambios de ocupación del suelo en España: implicaciones para la sostenibilidad*, Madrid: Mundiprensa.
- PHILLIPS, S. (2007) *Thermochemical ethanol via indirect gasification and mixed alcohol synthesis of lignocellulosic biomass*, National Renewable Energy Laboratory. www.nrel.gov.

- PIENKOS, P. (2007): "The potential for biofuels from algae biomass summit", National Renewable Energy Laboratory. www.nrel.gov.
- PUNTER, G. (2004): *Well-to-wheel evaluation for production of ethanol from wheat*. Low Carbon Vehicle Partnership Fuels Working Group.
- RODRÍGUEZ LÓPEZ, F. y SÁNCHEZ MACÍAS, J. I. (2007): "Los cultivos energéticos y Castilla y León", en Gómez Limón, J. A. (ed.): *El futuro de la agricultura en Castilla y León*, Itagra, Palencia, pp. 73-89.
- (2007): "Los cultivos energéticos y Castilla y León", Tierras de Castilla y León, nº 142, pp. 6-21.
- SÁNCHEZ MACÍAS, J. I.; RODRÍGUEZ LÓPEZ, F.; CALERO PÉREZ, P. y DÍAZ RINCÓN, F. J. (2006): *Desarrollo agroindustrial de biocombustibles en Castilla y León*, Valladolid, CESCYL. www.cescyl.es.
- SANDOR, D. y R. WALLACE (2008): "Understanding the Growth of the Cellulosic Ethanol Industry", National Renewable Energy Laboratory.
- SIEMONS, R.; VIS, M.; VAN DEN BERG, D.; MC CHESNEY, I.; WHITELEY, M. y NIKOLAOU, N. (2004): *Bio-energy's role in the EU energy market: a view of developments until 2020*, European Commission.
- TYSON, K. (2004): "Biomass Oil Analysis: Research Needs and Recommendations", National Renewable Energy Laboratory. www.nrel.gov/.
- UNIDO (2008): *Bioenergy Strategy. Sustainable Industrial Conversion and Productive Use of Bioenergy*, UNIDO.
- United Nations Environment Programme (2006): *The Hydrogen Economy: a non-Technical Review*, United Nations Environment Programme.
- United States Department for Agriculture (2005): *Biomass as feedstock for bioenergy and bioproducts industry*, United States Department for Agriculture.
- United States Department of Energy (2006): *Biodiesel: Handling and Use Guidelines*, United States Department of Energy.
- URBANCHUK, J. (2007): *Economic contribution of the biodiesel industry*, National Biodiesel Board.
- VELÁZQUEZ MARTÍ, B. (2006): "Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética", *Ecosistemas* 15 (1): 77-86. www.revistaecosistemas.net/pdfs/402.pdf.

The background of the page is a photograph of a field of plants, possibly alfalfa, with a large, semi-transparent circular graphic overlaid on the right side. The graphic consists of several concentric circles and lines, resembling a stylized globe or a complex diagram. The overall color scheme is a warm, golden-brown or olive green.

ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICOS

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1	Disponibilidad de recursos de biomasa en Castilla y León	66
Cuadro 1.2	Finalidades de la bioenergía	69
Cuadro 1.3	Resumen del análisis DAFO	85
Cuadro 2.1	Biomasa residual generada en la industria forestal de primera y segunda transformación y su aprovechamiento	101
Cuadro 2.2	Reducción potencial de las emisiones de GEI, según cultivo	109
Cuadro 3.1	Rendimiento oleico de determinados cultivos	116
Cuadro 3.2	Costes de producción de biodiésel por áreas geográficas y materias primas	118
Cuadro 3.3	Rendimiento alcohólico de diferentes materias primas	119
Cuadro 3.4	Comparación internacional de costes de producción de bioetanol	120
Cuadro 3.5	Evolución prevista de los costes de producción de bioetanol	128
Cuadro 3.6	Evolución prevista de los costes de producción de biodiésel	132
Cuadro 4.1	Escenarios de penetración de las energías renovables según el PER	144
Cuadro 4.2	Consumo de biomasa en España por sector	145
Cuadro 4.3	Evolución del consumo de biomasa en España	146
Cuadro 4.4	Cumplimiento de los objetivos en el sector de la biomasa	146
Cuadro 4.5	Producción bruta de electricidad a partir de biomasa sólida en la UE (GWh)	147
Cuadro 4.6	Producción de electricidad a partir del biogás en la UE (GWh)	148
Cuadro 4.7	Plantas actuales de tratamiento de purines vinculadas a la ADAP	149
Cuadro 4.8	Consumo de gasolinas y biocarburantes, 2004 y previsión para 2010	151
Cuadro 4.9	Distribución prevista de bioetanol y biodiésel con mezcla al 5% (miles de toneladas)	152
Cuadro 4.10	Producción y consumo de biodiésel	152
Cuadro 4.11	Producción y consumo de bioetanol	153
Cuadro 4.12	Cumplimiento de los objetivos del PER	154
Cuadro 4.13	Consumo de biocarburantes por el sector del transporte en la UE, 2007	155
Cuadro 4.14	Composición del valor añadido bruto de Castilla y León	162
Cuadro 4.15	Distribución general de la tierra por aprovechamientos en Castilla y León	163
Cuadro 4.16	Distribución general de la tierra por grupos de cultivo en Castilla y León	163
Cuadro 4.17	Superficie dedicada a cultivos herbáceos en Castilla y León	164
Cuadro 4.18	Superficie que accede a la ayuda por hectárea a cultivos energéticos en Castilla y León	165

Cuadro 4.19	Índice de precios percibidos por los cereales	165
Cuadro 4.20	Plantas de biodiésel en funcionamiento y previstas en Castilla y León	166
Cuadro 4.21	Plantas de bioetanol en Castilla y León	167
Cuadro 4.22	Evolución prevista de la capacidad de producción de biodiésel	167
Cuadro 4.23	Evolución prevista de la capacidad de producción de bioetanol	167
Cuadro 4.24	Superficie cultivada actual y necesidades para satisfacer la demanda potencial	168
Cuadro 5.1	Gasto público en medidas de apoyo al biodiésel y al bioetanol en la Unión Europea	175
Cuadro 5.2	Efecto sobre la producción de bioetanol de la eliminación de las medidas públicas de apoyo	176
Cuadro 5.3	Efecto sobre la producción de biodiésel de la eliminación de las medidas públicas de apoyo	176
Cuadro 5.4	Principales amenazas presentes en el sector de la bioenergía	181
Cuadro 5.5	Estimaciones de costes de producción de bioetanol	189
Cuadro 5.6	Estimaciones de costes de producción de biodiésel	189
Cuadro 5.7	Principales oportunidades presentes en el sector de la bioenergía	189
Cuadro 6.1	Cabezas de porcino por Comunidades Autónomas (diciembre, 2007)	191
Cuadro 6.2	Bioenergía y políticas conectadas	196
Cuadro 6.3	Objetivos específicos de la Estrategia de I+D+i 2007-2013	199
Cuadro 6.4	Principales fortalezas de Castilla y León en el sector de la bioenergía	200
Cuadro 6.5	Principales debilidades de Castilla y León en el sector de la bioenergía	204
Cuadro 6.6	Resumen del análisis DAFO	204

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1	Ocupación del suelo de Castilla y León, 2000	67
Gráfico 2.1	Dependencia energética en la UE-27, 2006	90
Gráfico 2.2	Cadena de valor de la bioenergía	91
Gráfico 2.3	Comercio internacional y bioenergía	93
Gráfico 2.4	Producción de energía primaria a partir de biomasa sólida en 2007 (tep/hab)	96
Gráfico 2.5	Esquema de funcionamiento de una planta de cogeneración para tratamiento de purines	104
Gráfico 2.6	Esquema de una planta de biogás para tratamiento de purines	105
Gráfico 3.1	Biomasa lignocelulósica: rutas tradicional y moderna	127
Gráfico 3.2	Esquema de una biorrefinería	139
Gráfico 4.1	Consumo de biomasa en España por Comunidad Autónoma	145
Gráfico 5.1	Exigencias de materia prima y superficie cultivable para los cultivos de primera generación de biodiésel y bioetanol	179
Gráfico 5.2	Evolución de los precios del petróleo (Brent, dólares EEUU)	184
Gráfico 6.1	Distribución provincial de la ganadería porcina de Castilla y León (diciembre, 2007)	197