



# ¿Cuánta bioenergía puede producir Europa sin dañar el medio ambiente?





# ¿Cuánta bioenergía puede producir Europa sin dañar el medio ambiente?

Diseño de la portada: AEMA  
Foto de portada: © Martín Gebala, stock.xchng  
Foto izquierda: © Stig Larsson, Agrobränsle AB  
Foto derecha: © Vicky S., stock.xchng  
Maquetación: Scanprint A/S, AEMA Agencia Europea de Medio Ambiente

### **Advertencia**

El contenido del presente informe no refleja necesariamente la opinión oficial de la Comisión Europea ni de otras instituciones de la Comunidad Europea. Ni la Agencia Europea de Medio Ambiente ni ninguna persona o empresa que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en este informe.

Todos los derechos reservados

Queda prohibida la reproducción total o parcial de la presente publicación por cualquier medio, electrónico o mecánico, inclusive fotocopia, grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información, sin la autorización por escrito del titular de los derechos de autor. Para derechos de traducción o de reproducción, póngase en contacto con AEMA (véase la dirección en la parte inferior de esta página)

En Internet, a través del servidor Europa ([www.europa.eu](http://www.europa.eu)), pueden consultarse otras muchas informaciones sobre la Unión Europea.

### **Revisión científica de la edición en español:**

Este trabajo ha sido realizado por TAU Consultora Ambiental por encargo de la Subdirección General de Calidad del Aire y Prevención de Riesgos (Punto Focal Nacional de la AEMA), Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente (MMA).

### **Supervisión, coordinación y control (MMA):**

Israel Pastor Sainz-Pardo  
María Jesús Ibáñez de Aldecoa

### **Coordinación (TAU Consultora Ambiental):**

Laura Romero Vaquero

### **Equipo de revisión:**

Francisco Díaz Pineda, catedrático de Ecología, Universidad Complutense de Madrid  
José María Gascó Montes, catedrático de Edafología y Climatología, Universidad Politécnica de Madrid  
Gabriel Gascó Guerrero, área de Edafología y Química Agrícola, Universidad Politécnica de Madrid

### **Corrección de estilo y maquetación:**

Tina Guillem

Título del original en inglés: *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?*

© Agencia Europea de Medio Ambiente, 2005  
© de la presente edición Ministerio de Medio Ambiente, 2008

Publicada mediante un convenio con la AEMA y la Oficina de Publicaciones Oficiales de la CE (OPOCE)  
El Ministerio de Medio Ambiente se responsabiliza por completo de la revisión científica de la traducción.

Catálogo general de publicaciones oficiales  
<http://www.060.es>

Edita: Centro de publicaciones  
Secretaría General Técnica  
Ministerio de Medio Ambiente ©

I.S.B.N.: 978-84-8320-437-5  
NIPO: 310-08-042-9  
NIPO internet: 310-08-044-X  
Depósito legal: M. 18.108-2008  
Imprime: Fareso, S. A.

Impreso en papel reciclado al 100%, totalmente libre de cloro

# Presentación de la edición española

---

En diciembre de 2005 la Comisión Europea publicó un Plan de Acción sobre la biomasa, seguida de una comunicación sobre una Estrategia de Biocarburantes. No es un tema menor. Forma parte del intento de la Unión Europea para hacer frente a problemas de primera magnitud relacionados con el consumo de energía: la dependencia de combustibles no renovables, las fluctuaciones geopolíticas o meteorológicas que desestabilizan los precios del petróleo. Y todo ello acompañado por un consumo de energía final que sólo decrece, y a duras penas, en algunos sectores.

Es cierto que en España hemos empezado a dar pasos hacia una menor intensidad energética, y podemos incluso producir igual o más electricidad que en años anteriores con una menor liberación de emisiones de gases de efecto invernadero. Pero no hay una solución “mágica”, que permita a la vez mantener unas pautas de comportamiento y consumo energéticamente muy voraces y a la vez avanzar hacia el desarrollo sostenible. La solución es múltiple, con un abanico muy amplio de actuaciones: sociales, económicas, tecnológicas.

En España, los documentos europeos mencionados, el Plan de Acción sobre la Biomasa y la Estrategia de Biocarburantes, se han tenido en cuenta por el Gobierno en la elaboración de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, así como en los Planes Nacionales de Asignación de Emisiones. Forman también parte importante de este esfuerzo normativo básico global la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera, la Estrategia Española de Calidad del Aire, así como la Estrategia Española de Desarrollo Sostenible o el II Programa Nacional de Techos de Emisión.

La utilización de energías renovables es uno de los grandes objetivos para el que la UE se ha fijado metas ambiciosas. La biomasa es una de las fuentes menos conocidas de energía, pese a que representa el porcentaje más importante de las fuentes de renovables. Según los datos manejados en este estudio, alcanza los 69 millones de toneladas equivalentes de petróleo, el 4% de la energía primaria consumida en la UE. Es cierto que crece más lentamente de lo que lo hacen la energía eólica y la solar. Pero si queremos cumplir el objetivo de que para 2010 el 12% del consumo total de energía en la UE sea de origen renovable, debemos conseguir un aumento considerable de la bioenergía. Mas aún, teniendo en cuenta que en el paquete de medidas integradas sobre energía y cambio climático propuesto por la Comisión Europea se plantea la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% como mínimo en 2020, especialmente a través de medidas energéticas, alcanzando en el mismo plazo un 10% de biocombustibles.

Conseguir estos objetivos tendrá consecuencias positivas, y no sólo para el medio ambiente. Se calcula que se pueden crear cerca de 300.000 empleos en las áreas rurales europeas, relacionados con la producción de biomasa. Los cálculos de este informe se han hecho suponiendo un precio del petróleo de 50 dólares por barril. En el momento de editar la edición española, el precio del barril de Brent (de referencia para Europa) ronda ya los 100 dólares. Lógicamente, cuanto más alto es el precio de los combustibles fósiles, especialmente del petróleo, más clara es la necesidad de las otras fuentes de energía, y entre ellas la agroenergía, pero viene sometido a criterios de sostenibilidad.

El sistema energético español tiene que conseguir un nivel de diversificación razonable en el uso de las fuentes de energía. Uno de nuestros objetivos generales es que nuestras expectativas de consumo energético se correspondan con un sistema de capacidad de generación eficiente desde el punto de vista económico y ambiental. Tomando en consideración que los altos precios del petróleo, la necesidad de fuentes de energía fiables y la preocupación sobre el cambio climático han generado este importante interés por la agroenergía.

No obstante, como se ha señalado, las soluciones que se adoptan deben basarse en criterios que garanticen la sostenibilidad de aquéllas, de modo que no se establezcan escenarios donde la producción de agroenergía pudiera competir con la producción de alimentos. Así hay que señalar que en noviembre de 2007 la Organización para la Alimentación y la Agricultura de Naciones Unidas (FAO) ha presentado un informe en el que advierte de que el uso de la energía obtenida a partir de combustibles procedentes de la madera puede ayudar a reducir la pobreza, pero también podría contribuir a la deforestación, si no se adoptan las políticas adecuadas. Por ello, en Europa el paquete de medidas legislativas sobre energía y cambio climático de la Comisión Europea incluye medidas específicas para garantizar que fuera de la Unión Europea no se producen fenómenos de deforestación por culpa de un uso insostenible de la agroenergía.

En España, el Plan de Energías Renovables 2005-2010 señala que los recursos potenciales de biomasa son de 19 millones de toneladas equivalentes de petróleo, mediante la suma de residuos forestales, residuos agrícolas leñosos, residuos agrícolas herbáceos, residuos de industrias forestales y agrícolas, y residuos energéticos. El objetivo marcado en este Plan para la biomasa es de 5,5 Mtep para 2010. Una contribución que se añade a la que representan los agrocombustibles, tanto el biodiesel como el bioetanol. España tiene unas condiciones de crecimiento más favorables que muchos otros países europeos en lo que se refiere a la agroenergía, un crecimiento que se va a producir de manera controlada, teniendo en cuenta todos los condicionantes ambientales y sociales.

Jaime Alejandre  
Director General de Calidad y Evaluación Ambiental  
Ministerio de Medio Ambiente

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>5</b>
<b>Resumen general</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Hipótesis generales</b> .....	<b>12</b>
<b>3 Potencial bioenergético de la agricultura</b> .....	<b>14</b>
3.1 Introducción .....	14
3.2 Consideraciones ambientales .....	15
3.2.1 Posibles presiones ambientales de la producción de bioenergía .....	15
3.2.2 ¿Cómo se puede evitar el aumento de las presiones ambientales? .....	16
3.3 Enfoque: desarrollo de la metodología y el escenario.....	19
3.3.1 Superficie agraria disponible .....	19
3.3.2 Combinación de cultivos compatibles con el medio ambiente .....	22
3.4 Potencial bioenergético <i>compatible con el medio ambiente</i> de la agricultura .....	26
3.4.1 Resultados y evaluación .....	26
3.4.2 Sinergias .....	27
3.4.3 Sensibilidades y consistencias del enfoque.....	29
<b>4 Potencial bioenergético de la selvicultura</b> .....	<b>31</b>
4.1 Introducción .....	31
4.2 Consideraciones ambientales .....	32
4.2.1 Posibles presiones ambientales de la producción de bioenergía .....	32
4.2.2 ¿Cómo se puede evitar el aumento de las presiones ambientales? .....	33
4.3 Enfoque: metodología y desarrollo del escenario.....	35
4.3.1 Hipótesis del escenario .....	36
4.3.2 Modelos .....	37
4.4 Potencial bioenergético <i>compatible con el medio ambiente</i> de la selvicultura.....	38
4.4.1 Resultados y evaluación .....	38
4.4.2 Sinergias .....	40
4.4.3 Sensibilidades y consistencias del enfoque.....	40
<b>5 Potencial bioenergético de los residuos</b> .....	<b>43</b>
5.1 Introducción .....	43
5.2 Consideraciones ambientales .....	44
5.2.1 Presiones ambientales potenciales derivadas de la producción de bioenergía ..	44
5.2.2 ¿Cómo se puede evitar el aumento de las presiones ambientales? .....	44
5.3 Enfoque: metodología y desarrollo del escenario.....	45
5.3.1 Hipótesis del escenario .....	46
5.3.2 Modelos .....	47
5.4 Potencial bioenergético <i>compatible con el medio ambiente</i> de los residuos .....	47
5.4.1 Resultados y evaluación .....	47
5.4.2 Sinergias .....	48
5.4.3 Consistencia del enfoque.....	48
<b>6 Resultados generales y retos futuros</b> .....	<b>51</b>

<b>Bibliografía.....</b>	<b>55</b>
<b>Anexo 1. Hipótesis del escenario general .....</b>	<b>60</b>
<b>Anexo 2. Cuota de la agricultura orientada al medio ambiente.....</b>	<b>61</b>
<b>Anexo 3. Comparación orientativa de los precios de los cultivos bioenergéticos con respecto a los precios de los productos básicos.....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo 4. Presiones ambientales por cultivo .....</b>	<b>63</b>
<b>Anexo 5. Poderes caloríficos netos .....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo 6. Posibles medidas políticas de influencia sobre el impacto ambiental de los cultivos bioenergéticos.....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo 7. Abreviaturas .....</b>	<b>68</b>

# Agradecimientos

El presente informe ha sido elaborado por Tobías Wiesenthal, Aphrodite Mourelatou, Jan-Erik Petersen (AEMA) y Peter Taylor (AEA Technology). Se basa en los resultados de tres documentos de referencia preparados para la AEMA sobre el potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de:

- La agricultura, por Uwe Fritsche, Kirsten Wiegmann (Öko-Institut, asociado del Centro Temático Europeo de la AEMA de Calidad del Aire y Cambio Climático) y Berien Elbersen (Alterra);
- La silvicultura, por Marcus Lindner, Jeannette Meyer, Thies Eggers, Alexander Moiseyev (European Forest Institute, asociado del Centro Temático Europeo para la Conservación de la Naturaleza y la Biodiversidad de la AEMA);
- Los biorresiduos, por Judith Bates, Nikolas Hill, Jack Cunningham (AEA Technology Environment).

El equipo de colaboradores del proyecto lo integraron Uwe Fritsche, Kirsten Wiegmann, Berien Elbersen, Marcus Lindner, Judith Bates, Peter Taylor, Hans Eerens, Gustav Resch, Mario Ragwitz, Jan-Erik Petersen, Tor-Björn Larsson y Bartosz Zambrzycki.

Los directores del proyecto de la AEMA fueron Aphrodite Mourelatou y Tobías Wiesenthal. La AEMA agradece la ayuda prestada por otros colegas y expertos ajenos a la AEMA en varias fases durante el proyecto y la elaboración del informe.

# Resumen general

El aumento del uso de las energías renovables ofrece a Europa unas oportunidades significativas para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y asegurarse el suministro energético. No obstante, un aumento considerable de la utilización de la biomasa de la agricultura, la silvicultura y los residuos para producir energía, puede suponer una presión adicional sobre la biodiversidad agrícola y forestal, así como sobre los recursos de suelo y agua. Dicho aumento también puede contrarrestar otras políticas y objetivos ambientales actuales y futuros de minimización de residuos y de agricultura orientada al medio ambiente.

**El objetivo de este informe es evaluar cuánta biomasa podría estar técnicamente disponible para producir energía sin aumentar las presiones sobre el medio ambiente.** En este sentido, se formulan una serie de criterios ambientales para la producción de bioenergía, utilizados después como hipótesis en los modelos de producción primaria potencial. Dichos criterios han sido desarrollados a escala europea. Se recomienda realizar evaluaciones complementarias a escala regional y local como colofón a este trabajo. También se requiere un análisis posterior para tener en cuenta los impactos del cambio climático en la disponibilidad de bioenergía, aspecto que sobrepasa el objetivo del presente estudio.

**Los escenarios de cada sector (agricultura, silvicultura y bioresiduos) tienen en común un conjunto de hipótesis y previsiones generales extraídos del informe de la AEMA, *Perspectivas del medio ambiente europeo*, incluyendo una mayor liberalización de los mercados agrarios. También se ha asumido que en 2030, la UE**

podrá conseguir una reducción de la emisión de gases de efecto invernadero cifrada en un 40% por debajo de los niveles de 1990, lo que supondría un aumento del precio de los derechos de emisión de carbono. Por otra parte, las líneas de desarrollo de los escenarios tienen una serie de implicaciones adicionales como, por ejemplo, el aumento de la demanda de madera. En este sentido, este estudio completa estas previsiones para tener en cuenta una serie de hipótesis ambientales (véase el recuadro).

**El estudio concluye que importantes cantidades de biomasa pueden estar técnicamente disponibles para atender a los ambiciosos objetivos de la energía renovable, incluso en caso de aplicar restricciones ambientales rigurosas.** El incremento de la posible biomasa primaria *compatible con el medio ambiente* aumentará de unos 190 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) en 2010 hasta unos 295 Mtep en 2030. Esto contrasta con los 69 Mtep en 2003 (de las cuales, la parte *compatible con el medio ambiente* está incluida en las 295 Mtep). El potencial es suficiente para alcanzar el objetivo europeo relativo a las energías renovables en 2010, lo que requiere un uso de biomasa estimado en 150 Mtep. Además permite fijar objetivos ambiciosos en materia de energías renovables a partir de 2010. El potencial bioenergético en 2030 supone un 15 - 16% de las necesidades de energía primaria en la UE25 previstas para ese año y un 17% del consumo energético actual, frente a la cuota del 4% de bioenergía en 2003.

Este estudio no analiza la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que pueden evitarse mediante la explotación del potencial *compatible con el medio ambiente*,

## Hipótesis ambientales utilizadas en este estudio:

- Al menos el 30% del suelo agrícola estará dedicado a la "agricultura orientada al medio ambiente" en 2030 en todos los Estados miembros (salvo Bélgica, Luxemburgo, Malta y los Países Bajos, en los que se asumirá el 20%).
- Se mantendrán las áreas agrícolas de cultivos extensivos: los pastizales, los olivares y las dehesas no se transformarán en tierras de labor.
- Aproximadamente el 3% de terreno con cultivo intensivo se habrá reservado para áreas de compensación ecológica en 2030.
- Se utilizarán cultivos bioenergéticos con baja presión ambiental.
- Se mantendrán las actuales superficies forestales protegidas, excluyendo de las mismas la eliminación de residuos y las talas complementarias.
- El porcentaje de eliminación de residuos forestales se adaptará a las condiciones locales. No se eliminará la hojarasca ni las raíces.
- Las talas complementarias serán compensadas por una mayor cuota de superficie forestal protegida y bosque agotado.
- Se aplicarán estrategias ambiciosas para minimizar los residuos.

lo que depende sobre todo de la manera de convertir la biomasa en calor, electricidad y combustibles para el transporte, así como de los combustibles fósiles sustituidos. No obstante, una estimación orientativa considera que usar todo el potencial calculado en este estudio ahorraría en emisiones de gases de efecto invernadero entre 400 y más de 600 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2030 (parte de lo cual ya se ha conseguido con el uso actual de la bioenergía). Las emisiones evitadas en un mismo ciclo biológico serán inferiores, porque algunas ocurren durante la producción de la biomasa, por ejemplo, al producir los fertilizantes. Para completar la evaluación ambiental de las distintas opciones de producción de bioenergía es recomendable realizar un análisis detallado de las emisiones de gases de efecto invernadero que se han evitado.

**Los principales factores impulsores del aumento del potencial bioenergético son los incrementos de la productividad y la liberalización prevista en el sector agrario, que favorecen la creación de superficie agrícola adicional dedicada a la obtención de bioenergía.** Por otra parte, con una subida del precio del carbono junto al alto precio de los combustibles fósiles, la materia prima de la bioenergía resultará cada vez más competitiva, en comparación con los cultivos tradicionales, para producir alimentos y madera industrial.

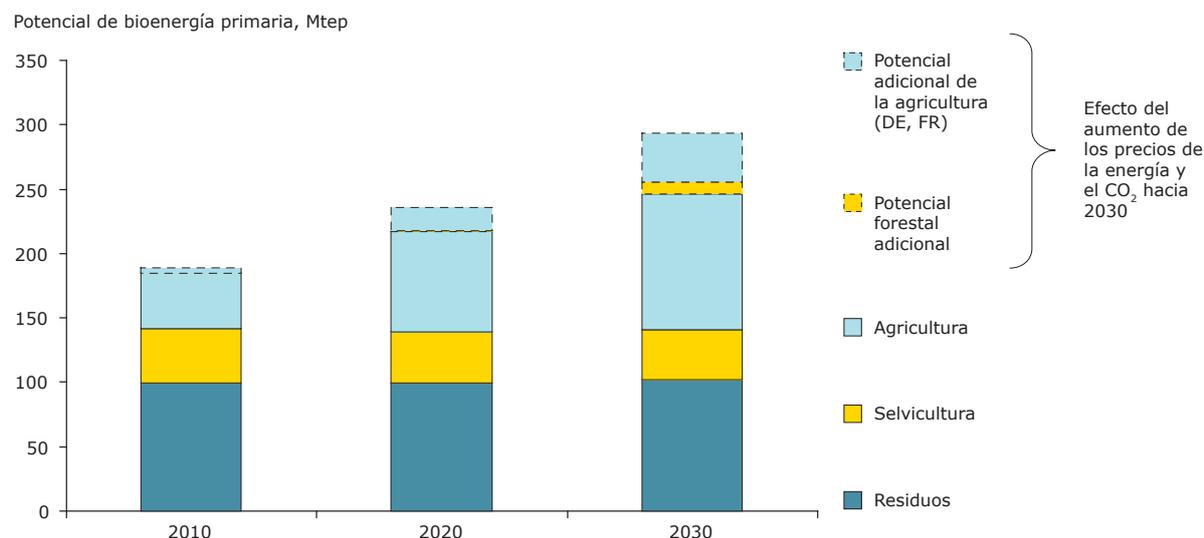
No obstante, este estudio emitió una serie de juicios de valor que limitan el potencial disponible, entre ellos la hipótesis de que no deben explotarse cultivos

bioenergéticos en perjuicio de los cultivos alimentarios destinados al abastecimiento de la población humana. Muchas hipótesis ambientales rigurosas también disminuyen el potencial disponible. En términos generales, el resultado de este estudio puede considerarse como una **estimación conservadora** del potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente y técnicamente disponible* en Europa.

Sin embargo, incluso un nivel de explotación de los recursos de la biomasa significativamente más bajo del previsto podría aumentar las presiones ambientales si no se establecen los incentivos y las medidas de control necesarios para movilizar el potencial de forma respetuosa con el medio ambiente.

**Las directrices ambientales han de convertirse en una parte integral de los procesos de planificación de ámbito local, nacional y europeo, a fin de garantizar que la producción de bioenergía se haga de forma compatible con el medio ambiente y para estudiar a fondo los beneficios complementarios de conservación de la naturaleza.** Los Planes Nacionales de Acción sobre la Biomasa (según lo propuesto en el reciente Plan de Acción sobre la Biomasa de la UE) pueden ser el primer paso en esta dirección. Además, una mayor implicación de la sociedad europea en los procesos de participación de las partes interesadas (por ejemplo, desde los responsables políticos y los gobiernos locales hasta las empresas, investigadores, ONG y consumidores) podría ayudar a la implementación del “potencial ecológico”

**Figura 1** Potencial de energía primaria compatible con el medio ambiente en la UE



**Nota:** El potencial de la agricultura incluye los cultivos bioenergéticos más la hierba segada, y se calculó para la UE25 excepto Chipre, Luxemburgo y Malta. En la categoría de “residuos” se incluyen los restos agrícolas como la paja y el estiércol (abarcando todos los Estados miembros de la UE25). El potencial de la selvicultura se ha calculado para la UE25 excepto Chipre, Grecia, Luxemburgo y Malta. Está formado por los residuos de las talas y las talas complementarias. El potencial forestal adicional tiene en cuenta la disminución del potencial de la lejía negra al disminuir la producción de pulpa y papel a costa del aumento de la producción de energía. Depende en gran medida del precio del petróleo y de los derechos de emisión de carbono asumidos. El potencial adicional de la agricultura a causa de los precios más altos pagados para la bioenergía se ha calculado sólo para Alemania (DE) y Francia (FR).

atribuido a la producción de bioenergía. Para que la producción de bioenergía avance en la dirección correcta, es necesario establecer un marco político adecuado, junto con la orientación y el asesoramiento de los propietarios agrícolas y forestales y los responsables de la planificación bioenergética.

**A corto plazo, el mayor potencial bioenergético procede del sector de residuos, con unos 100 Mtep.** Este valor se mantiene casi constante en el horizonte temporal considerado (96 Mtep en 2030) debido a consideraciones ambientales, concretamente la reducción asumida en la generación de residuos domésticos y la reducción del "potencial de la lejía negra". En 2030, el impacto de estas consideraciones ambientales se traduce en una reducción de un 18% de los recursos de biorresiduos con respecto a un escenario habitual.

Los principales flujos de bioresiduos que contribuyen a este potencial son los residuos sólidos agrícolas (por ejemplo, la paja), el estiércol húmedo, los residuos del procesamiento de la madera, el componente biodegradable de los residuos sólidos urbanos y la lejía negra de la industria maderera. Por países, Alemania y Francia tienen, con diferencia, el mayor potencial bioenergético derivado de los residuos. El potencial combinado de ambos países representa aproximadamente un tercio del total de la UE25. Otros países con grandes poblaciones y mucho suelo agrícola, como el Reino Unido, Italia y Polonia, cuentan también con recursos importantes. Suecia y Finlandia poseen recursos importantes, debido a la disponibilidad de lejía negra procedente de la industria de la pulpa y el papel. No obstante, este potencial podría reducirse con el tiempo como resultado de un descenso de la producción de pulpa y papel, algo que puede suceder si se desvía más madera de la producción de pulpa y papel a la producción de energía como consecuencia de la subida de precios de la energía y de los derechos de emisión de carbono.

**A largo plazo, los cultivos bioenergéticos de la agricultura son los que representan el mayor potencial. Este desarrollo dependerá del aumento de la productividad, la liberalización de los mercados agrarios y la introducción de cultivos bioenergéticos de alto rendimiento.** El potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de la agricultura puede alcanzar unos 142 Mtep en 2030, comparados con los 47 Mtep de 2010. Aproximadamente el 85% de dicho potencial se reparte entre siete Estados miembros (España, Francia, Alemania, Italia, el Reino Unido, Lituania y Polonia). Se trata de un potencial supeditado a una serie de hipótesis relativas a la superficie agrícola disponible para la producción de cultivos bioenergéticos y al rendimiento de los cultivos bioenergéticos adecuados.

La superficie considerada disponible para la producción de bioenergía comprende áreas liberadas de la producción de alimentos y forraje (como consecuencia de una posterior reforma de la Política Agrícola Común y de los aumentos de productividad) y áreas de tierras retiradas del cultivo. Además, al asumir que el valor energético de los cultivos bioenergéticos va a alcanzar o superar los precios de los productos alimenticios básicos en 2030, parte de la superficie prevista para la producción de excedentes de exportación podría quedar disponible para la producción de bioenergía <sup>(1)</sup>.

Para evitar el aumento de las presiones ambientales procedentes del sector agrario a causa de una agricultura más intensiva, este estudio asume que habrá un alto porcentaje de agricultura orientada al medio ambiente, con cultivos menos productivos. Si bien el aumento de la producción de bioenergía ofrece incentivos para transformar los pastizales de explotación extensiva en tierras cultivables, el laboreo de estos pastizales permanentes ocasionaría la pérdida de su elevada biodiversidad y la liberación de parte del carbono atrapado en el suelo. Por consiguiente, se asumió que los casi 6 millones de ha de pastizales permanentes liberados (así como parte de la superficie de olivares y dehesas) debían ser excluidos de la producción dedicada a bioenergía en 2030. En términos generales, la superficie disponible de tierra cultivable *compatible con el medio ambiente* se espera que aumente un 50% durante este periodo de tiempo, hasta alcanzar unos 19 millones de ha en 2030.

Los cultivos dedicados a la producción de bioenergía difieren de los cultivos de alimentos y forrajes convencionales porque se optimizan según su contenido energético más que para producir alimentos. De este modo, los cultivos bioenergéticos innovadores (como los de plantas perennes) y los sistemas de cultivo (como el de doble cultivo) pueden contribuir a la diversidad de cultivos y combinar una productividad alta con una presión ambiental baja, en comparación con los sistemas intensivos de cultivo con fines alimenticios. En este estudio se asume una rápida introducción sólo a partir de 2010 para poder propiciar un "periodo de transición" desde los cultivos convencionales. Puesto que el rendimiento energético de estos cultivos supera el de los cultivos bioenergéticos convencionales, el potencial bioenergético de la agricultura aumentará a partir de 2010. Dicha tendencia será también beneficiosa para el medio ambiente, puesto que los cultivos bioenergéticos perennes y la silvicultura de ciclo corto suelen tener menos impacto en la erosión y la compactación de los suelos, el desplazamiento de nutrientes hacia las aguas superficiales y subterráneas, la contaminación por plaguicidas y la extracción de aguas.

<sup>(1)</sup> El estudio se realizó sólo para Alemania y Francia. No obstante, se puede asumir que el enfoque en estos dos países incluye gran parte del efecto de competencia en la UE25, pues Alemania y Francia son los Estados miembros en los que se prevé la combinación de un alto excedente de cereales para la exportación con una extensa superficie de suelo agrícola. No se ha tenido en cuenta la competencia entre la producción de bioenergía y de alimentos para uso doméstico.

**Se calcula que el potencial bioenergético compatible con el medio ambiente de la silvicultura se mantiene prácticamente constante, en aproximadamente 40 Mtep, a lo largo del periodo analizado. Se espera que las industrias competitivas liberen un potencial adicional mayor de 16 Mtep para 2030** a causa del aumento del precio de la energía y de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub>. Por ello, el valor de mercado de la energía maderera puede que aumente con el tiempo. Al mismo tiempo, la disminución esperada de la producción de pulpa y papel reducirá el potencial de la lejía negra en unos 6 Mtep.

Sin una subida de los precios de la bioenergía, el potencial bioenergético de la silvicultura se determina en función de la demanda de astillas. Al estar previsto su aumento con el tiempo, cabe esperar que la cantidad de residuos aumente. Al mismo tiempo, las podas complementarias disminuirán debido al aumento de la demanda de astillas. Entre los países con mayor potencial bioenergético procedente de los residuos de la silvicultura destacan Suecia y Finlandia, debido a su elevada proporción de superficie forestal. El potencial en dichos países aumenta al considerar el reciclado de las cenizas. Se ha detectado un alto potencial de aumento de las podas en Europa central, Italia, España, Francia y el Reino Unido.

Estas cifras tienen en cuenta las importantes funciones ambientales de los residuos forestales (hojarasca, tallos y madera caída sobre el suelo), por lo que se estima en un

40% por debajo del potencial máximo sin restricciones. Si se tiene en cuenta el efecto fertilizante de la ceniza reciclada y la deposición de nitrógeno, el potencial aumenta en unos 3 Mtep.

**Aunque las cuestiones ambientales restringen, en la mayoría de los casos, la cantidad de biomasa técnicamente disponible obtenida de los residuos, la agricultura y la silvicultura, también pueden existir beneficios complementarios entre la producción de biomasa y la conservación de la naturaleza.** Este estudio señala que una creciente demanda de bioenergía puede dar origen a nuevas formas de aprovechamiento de producciones agrícolas extensivas y residuos forestales que actualmente no son rentables. Por ejemplo, utilizando la siega de pastizales para gestionar mejor los pastizales ricos en especies, que, de otro modo, corren el riesgo de ser abandonados. Por otra parte, la gestión forestal y la recogida de restos vegetales pueden contribuir a reducir el riesgo de incendio, sobre todo en los bosques que actualmente carecen de gestión. Esto es especialmente importante en el sur de Europa. Los nuevos sistemas de cultivo bioenergético y las plantas perennes también pueden añadir diversidad y requieren menos tratamiento con plaguicidas o fertilizantes que los actuales sistemas agrícolas intensivos. La introducción de una gama más amplia de cultivos y de nuevas tecnologías que utilizan la celulosa de la biomasa herbácea u otra materia prima, puede favorecer la diversificación de los cultivos.

# 1 Introducción

La explotación de fuentes de energía renovable puede ayudar a la Unión Europea a cumplir muchos objetivos de su política ambiental y energética, incluyendo su obligación de disminuir los gases de efecto invernadero de acuerdo con el Protocolo de Kioto (CE, 2002a) y la dependencia de las importaciones de energía (CE, 2000, 2005a). Por tanto, la Unión Europea ha fijado unos objetivos ambiciosos para 2010, relacionando la cuota de energía renovable respecto al consumo total de energía (CE, 1997) y el consumo eléctrico (CE, 2001). Por otro lado, las conversaciones sobre los objetivos a partir de 2010 ya se han iniciado. Existe además un objetivo específico de aumento de la cuota de biocarburantes en el transporte (CE, 2003a).

Actualmente, la energía primaria procedente de la biomasa consumida en la UE se cifra en un 4% (69 Mtep). Por lo tanto, la biomasa es, con diferencia, la fuente de energía renovable más importante al representar dos tercios del total de la energía producida a partir de fuentes renovables <sup>(2)</sup>. No obstante, comparada con otras fuentes de energía renovable, como la eólica y la solar, la producción de biomasa ha crecido más lentamente. Para cumplir el objetivo de que el 12% del consumo total de energía para 2010 sea de energía renovable se requerirá un aumento considerable del uso de la biomasa (CE, 2004).

La **biomasa** abarca una amplia gama de productos y subproductos procedentes de la agricultura, la silvicultura y de los residuos urbanos e industriales. Entre ellos se incluyen árboles, cultivos herbáceos, algas y otras plantas, residuos agrícolas y forestales, efluentes, lodos de depuradora, estiércol, subproductos industriales y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Tras un proceso de conversión, la biomasa puede utilizarse como combustible para generar calor o electricidad, o como combustible de transporte, dependiendo de la tecnología de conversión y del tipo de biomasa primaria (CE, 2005c).

En diciembre de 2005, la Comisión Europea publicó un Plan de Acción de la Biomasa (CE, 2005b), seguido de una comunicación sobre una Estrategia de Biocarburantes en la UE (CE, 2006). El Plan de Acción de la Biomasa pretende aumentar el uso de la biomasa hasta alcanzar 150 Mtep (en términos de energía primaria <sup>(3)</sup>) en 2010 o en los años siguientes. Este nivel es consistente con los diversos objetivos de la energía renovable y puede suponer una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de unos 210 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub> al año. El plan también establece un programa coordinado de acción comunitaria, incluyendo medidas para mejorar el suministro, aumentar la demanda de biomasa, superar los obstáculos técnicos y desarrollar la investigación.

A largo plazo, el objetivo de que las energías renovables alcancen una cuota de un 20% del consumo energético total en 2020 <sup>(4)</sup>, puede requerir unos 230 - 250 Mtep procedentes del potencial de biomasa primaria. Esta cifra dependerá de las hipótesis sobre el crecimiento del consumo energético total, el aumento de otras fuentes de energía renovable y el uso final de la biomasa (AEMA, 2005a; Ragwitz *et al.*, 2005).

El uso de la biomasa tiene muchas ventajas respecto a las fuentes de energía convencional y a otras energías renovables; por ejemplo, unos costes relativamente bajos, el fomento de estructuras económicas regionales y unos ingresos adicionales para los agricultores. En el Plan de Acción de la Biomasa se estima que un incremento en el uso de la biomasa hasta unos 150 Mtep en 2010 puede originar empleo directo para 250.000 - 300.000 personas, la mayor parte dentro de las áreas rurales (CE, 2005b).

No obstante, el uso del suelo agrícola en la UE es ya intensivo en gran parte de las regiones, y el incremento de la producción de biomasa podría ocasionar presiones adicionales sobre la biodiversidad agrícola y forestal y sobre los recursos de suelo y agua. El propósito de este informe es contribuir al debate sobre el potencial bioenergético de Europa mediante la

(2) Para este cálculo se han utilizado datos de Eurostat. Utilizando un enfoque alternativo ("enfoque de sustitución") para calcular la contribución de las distintas fuentes de energía, la biomasa y los residuos representan el 44% en lugar del 66% del total de la energía renovable de la UE25 en 2003 (CE, 2005b).

(3) Conviene señalar que los 150 Mtep señalados en el Plan de Acción de la Biomasa incluyen el contenido energético de los biocarburantes sólidos, líquidos y gaseosos. Este estudio tiene en cuenta el potencial de bioenergía primaria de los combustibles sólidos y gaseosos y asume que falta convertir los cultivos bioenergéticos en combustibles líquidos, con las consiguientes pérdidas durante el proceso.

(4) El 23 de septiembre de 2005, el Parlamento Europeo propuso un objetivo vinculante para que la energía renovable alcance una cuota del 20% del consumo energético total en 2020 (PE, 2005). También se destacó que las energías renovables podrían alcanzar una cuota del 25% mediante un enfoque más integrado y centrado simultáneamente en la mejora de la eficiencia energética. El Consejo Europeo ha propuesto recientemente una Política Energética para Europa con objetivos a más largo plazo para la cuota de energía renovable en el consumo energético total de p. ej. una cuota del 15% en 2015 (Consejo, 2006).

presentación de una idea global del potencial *compatible con el medio ambiente*. Formula una serie de hipótesis ambientales que se utilizan para establecer el potencial de explotación de la biomasa de un modo *compatible con el medio ambiente*. No ha sido posible tener en cuenta las circunstancias, presiones y posibles soluciones locales porque este análisis se centra en un enfoque consistente para toda Europa. Por tanto, las hipótesis y el enfoque utilizados en este estudio deben ser objeto de futuros debates y evaluaciones complementarias a escala más regional y local.

El valor añadido de este estudio radica en que formula una serie de hipótesis ambientales sobre la producción de bioenergía y, a partir de ellas, establece de manera consistente el potencial bioenergético disponible en los sectores de la agricultura, la silvicultura y los residuos. En este sentido, los resultados no sólo señalan aspectos ambientales que deben tenerse en cuenta a la hora de aumentar la producción de bioenergía, sino que también ofrecen una indicación de cuánta bioenergía puede estar disponible sin dañar el medio ambiente y sin obstaculizar las políticas y objetivos ambientales actuales y futuros de la UE.

El informe no considera las políticas y las medidas necesarias para desarrollar este potencial.

Teniendo en cuenta las hipótesis planteadas, cabe señalar que un uso de la biomasa considerablemente inferior a dicho potencial no es necesariamente *compatible con el medio ambiente*. Sin los incentivos y los medios de control adecuados, una explotación considerablemente inferior de los recursos de la biomasa puede aumentar las presiones ambientales.

El informe tiene la siguiente estructura: en el capítulo 2 se presentan una serie de hipótesis generales sobre el desarrollo socioeconómico y sobre el sector de la energía. En los capítulos 3, 4 y 5 se describen los criterios ambientales, el enfoque analítico utilizado y el potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de la agricultura, la silvicultura y los residuos. Los resultados se exponen en el capítulo 6 para indicar la cantidad de bioenergía que Europa puede producir sin dañar el medio ambiente.

Se proporciona una descripción pormenorizada del enfoque, los modelos utilizados y los resultados en los Estados miembros en dos informes técnicos centrados en el potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de la agricultura y la silvicultura.

## 2 Hipótesis generales

Se pueden utilizar muchas formas y flujos de biomasa como fuentes de bioenergía. Entre ellos se incluyen los residuos de actividades ya existentes, como las fracciones biodegradables de los residuos domésticos o los residuos de la agricultura y la silvicultura, así como el cultivo de diferentes especies bioenergéticas. Por lo tanto, el potencial bioenergético de la UE depende en gran medida de los avances en varios sectores. El desarrollo de la demanda de madera, los mercados agrarios y la generación de residuos influirán en el potencial de los recursos bioenergéticos, mientras que, al mismo tiempo, las tendencias en los precios de la energía y los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> influirán en la futura demanda de bioenergía.

El **potencial bioenergético compatible con el medio ambiente** define la cantidad de biomasa primaria técnicamente disponible para la generación de energía, partiendo de la hipótesis de que no se ejercen presiones adicionales sobre la biodiversidad ni sobre los recursos de suelo y agua en comparación con un desarrollo sin aumento de la producción de bioenergía. Además, el potencial *compatible con el medio ambiente* debe ser coherente con otras políticas y objetivos ambientales actuales y futuros.

Los futuros avances son tan inciertos como su posible impacto sobre el medio ambiente. Para este estudio se ha elegido un enfoque de escenarios que utilizan un conjunto común de hipótesis generales, sustentadas en el trabajo de la AEMA sobre las perspectivas para el medio ambiente (AEMA, 2005d). Las hipótesis ambientales fueron diseñadas para evitar que el aumento de la producción de bioenergía desvirtuara las políticas ambientales actuales o futuras. Además, el incremento del uso de la bioenergía no debe representar presiones adicionales sobre los recursos de suelo, agua y la biodiversidad.

Los resultados de este estudio indican el potencial bioenergético total *compatible con el medio ambiente*. Es decir, la cantidad de biomasa primaria disponible para la producción de bioenergía dentro de lo establecido en las hipótesis indicadas y desde un punto de vista técnico. No contempla los costes o la logística necesarios para la recogida de la biomasa por tratarse de aspectos que escapan al alcance de este estudio. El potencial

calculado incluye el uso actual de bioenergía en la medida en que es *compatible con el medio ambiente*.

Las hipótesis del escenario se pueden dividir en una línea de desarrollo general, que describe los avances socioeconómicos, y en un conjunto de criterios ambientales. Las hipótesis del escenario general son coherentes con el trabajo sobre perspectivas realizado por la AEMA (AEMA, 2005d), que se utilizó como punto de partida para el informe *El medio ambiente europeo - Estado y perspectivas 2005* (AEMA, 2005b). En estos escenarios, se asume que la economía de la UE se caracterizará por una mayor desmaterialización, con un crecimiento más fuerte de los servicios y los sectores industriales de alto valor añadido. Las hipótesis macroeconómicas y demográficas centrales que se indican a continuación se utilizaron en los sectores de la agricultura y los residuos, mientras que para el sector de la silvicultura se utilizaron unas hipótesis similares <sup>(5)</sup>:

- Se espera que la población de la UE25 permanezca prácticamente estable entre 2000 y 2030, aunque el número de hogares aumentará considerablemente.
- Se espera que el Producto Interior Bruto crezca a una media anual del 2,4% entre 2000 y 2030. Estas hipótesis son ligeramente optimistas, e implican una serie de compensaciones ambiciosas con vistas a alcanzar un desarrollo económico sostenible.

Dado que este estudio adapta un escenario que enfatiza la protección del medio ambiente, se asume que se adoptarán futuras políticas relativas al cambio climático para reducir las emisiones a largo plazo, por encima incluso de lo establecido en el Protocolo de Kioto. Más concretamente, se asume que la UE logrará en 2030 una reducción del 40% con respecto al nivel de 1990, según lo formulado en las perspectivas para el medio ambiente de la AEMA. Alrededor de la mitad de la reducción de emisiones se logrará mediante actuaciones a nivel doméstico, lo que conducirá a una subida del precio de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub>, por ejemplo, a unos 30 EUR/t en 2020 y 65 EUR/t en 2030 <sup>(6)</sup>. Por otro lado, la introducción de los certificados verdes puede estimular el crecimiento de las energías renovables ("Ampliación del escenario de LCEP y energías renovables", AEMA, 2005a).

Este estudio asume una evolución relativamente moderada de los precios de los combustibles fósiles,

<sup>(5)</sup> El informe sobre perspectivas de la AEMA no incluye ninguna proyección relativa a la demanda de astillas. Por tanto, estos datos se obtuvieron de otras fuentes (véase el capítulo 4) que encajan bien con las hipótesis de la AEMA.

<sup>(6)</sup> El concepto de precio de los derechos de emisión se usa como una herramienta para incorporar un valor relativo adicional de la bioenergía comparada con la energía de los combustibles fósiles. Esto se puede lograr también con otros instrumentos distintos de los derechos de emisión mercantiles.

con un precio del petróleo de 35 EUR por barril en 2030 (véase el Anexo 1). No obstante, si el precio de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> se cifra en 65 EUR/t en 2030, el precio del petróleo sería de 62 EUR por barril en ese mismo año. Como las hipótesis sobre el precio de los combustibles fósiles no reflejan los recientes aumentos de precios, los efectos previstos de un precio de 50 EUR por barril de petróleo en 2030 se proporcionan como información adicional en algunos casos. Esta evolución podría afectar sobre todo al potencial forestal adicional que puede ser movilizado por las industrias competitivas. El efecto sobre el potencial de la agricultura calculado en este estudio será menor, puesto que se estableció como una condición el mantenimiento del actual nivel de autosuficiencia alimentaria de Europa. Por tanto, se asume que la competencia entre la producción de bioenergía y la de alimentos es relevante solamente en lo que se refiere a la parte de la producción agrícola que corresponde a las exportaciones previstas de alimentos. Por otro lado, son ya muchos los cultivos bioenergéticos que son competitivos respecto al menor precio de la combinación de carbono y petróleo (véase el anexo 3).

Las hipótesis específicas sobre futuros avances en los sectores de la agricultura, la silvicultura y los residuos, al igual que las hipótesis ambientales utilizadas en este estudio, se abordan con detalle en los capítulos correspondientes. Éstas hipótesis incluyen: las futuras reformas de la Política Agrícola Común que liberalizarán los mercados agrarios, la disminución del depósito de residuos en vertederos y un ligero aumento de la demanda de madera de acuerdo con las estimaciones de desarrollo demográfico y macroeconómico

El estudio no analiza las **emisiones de gases de efecto invernadero** o de contaminantes atmosféricos que se evitan al utilizar la biomasa en sectores competitivos que son consumidores finales (electricidad, calor y transporte). No obstante, las soluciones finales tendrán una enorme influencia en la magnitud de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos durante todo el “ciclo de vida”. Se necesitaría un análisis de este tipo para obtener una imagen general de una cadena *óptima para el medio ambiente* de producción y consumo de bioenergía

**El cambio climático** es probable que tenga un impacto sobre la disponibilidad de bioenergía, pero no ha sido evaluado en este estudio. En el centro y norte de Europa se espera que la estación de crecimiento vegetativo en primavera y otoño se prolongue a causa del aumento de la temperatura durante el periodo vegetativo (AEMA, 2004), lo que puede aumentar la productividad de los cultivos bioenergéticos y los bosques en dichas regiones. A medio plazo, muchos cultivos pueden aumentar su posible área de cultivo y su rendimiento productivo, pero el escenario puede cambiar a partir del decenio de 2050. En el sur de Europa, el aumento del riesgo de sequía puede ocasionar pérdidas de productividad y aumentar el riesgo de incendios forestales (Schröter *et al.*, 2005). Conviene destacar que los episodios meteorológicos extremos pueden tener un importante impacto sobre el suministro de biomasa primaria a las instalaciones de conversión de biomasa, con una consiguiente pérdida económica, sobre todo en caso de instalaciones dependientes de una limitada variedad de materias primas.

# 3 Potencial bioenergético de la agricultura

## 3.1 Introducción

El uso del suelo agrícola ha determinado las características del paisaje y el hábitat de la Unión Europea durante siglos. En las últimas cinco décadas, la Política Agrícola Común (PAC) de la Unión Europea ha sido un factor de intensificación agrícola, junto con las tendencias tecnológicas y socioeconómicas. Esta intensificación de la producción agrícola ha tenido efectos negativos importantes sobre el medio ambiente europeo (por ejemplo, AEMA, 2005c; Wadsworth *et al.*, 2003; Donald, 2002). Entre dichos impactos negativos cabe mencionar la contaminación del agua por nitratos, compuestos de fosfatos, plaguicidas y patógenos; la degradación del hábitat y la pérdida de especies; la sobreexplotación de los recursos hídricos para el regadío; y la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. Aunque las reformas de la PAC posteriores a 1990 y las medidas tomadas por el propio sector han introducido algunas mejoras, todavía hay que mejorar el balance entre la producción agrícola y la protección del medio ambiente.

La **biomasa agrícola** comprende los cultivos dedicados a bioenergía, que pueden ser "convencionales" como los ricos en almidón (por ejemplo, cereales y remolacha azucarera) o los ricos en aceite (por ejemplo, colza y girasol) y también los pastizales perennes y los bosques de rotación corta sobre suelo agrícola. Los restos agrícolas (como paja, hojas verdes y estiércol) se consideran "biorresiduos" (capítulo 5) con la excepción del material de siega de praderas y pastizales, el cual se incluye dentro del potencial bioenergético de la agricultura.

La creciente demanda de cultivos bioenergéticos puede crear una mayor competencia por el suelo y el agua entre las actividades agrícolas actuales, las de producción de energía, las de uso del suelo agrícola para la conservación de la naturaleza y las necesidades urbanísticas, lo que puede traducirse en una presión adicional para el medio ambiente, derivada de los cultivos bioenergéticos.

El impacto ambiental de la producción de bioenergía depende en gran medida de las áreas seleccionadas para su producción, las especies cultivadas y las prácticas de gestión. Algunos cultivos (por ejemplo, de plantas perennes) pueden incluso disminuir la presión ambiental de la agricultura y mejorar la biodiversidad en las tierras de cultivo. Será necesario un planteamiento ambiental, por tanto, para garantizar que el aumento de la producción de bioenergía tenga un enfoque *compatible con el medio ambiente*.

Muchas especies vegetales y animales dependen de la existencia de una agricultura extensiva. Se estima que un 50% de todas las especies en Europa dependen de hábitats agrícolas (AEMA, 2005b, p. 185). Sin embargo, la agricultura extensiva no suele resultar rentable y, por ello, son muchos los agricultores que intensifican la producción o abandonan la agricultura completamente, lo que favorece la proliferación del matorral y el bosque. Ambas tendencias suponen una amenaza para los pastizales semi-naturales y otros hábitats (Ostermann, 1998), que son importantes para numerosas especies amenazadas que dependen de estos ambientes (véase, por ejemplo, Bignal & McCracken, 1996 y 2000). Un reto importante de la política agrícola es facilitar asesoramiento e incentivos económicos a los agricultores para que mantengan las prácticas agrícolas respetuosas con la vida silvestre. La producción de bioenergía a partir de productos procedentes de los sistemas agrícolas extensivos (por ejemplo, la siega de hierba) es una posible fuente adicional de ingresos que podría compensar parte del coste de preservación de estas áreas ricas en biodiversidad, lo que indica una posible sinergia entre bioenergía y conservación de la naturaleza si se crean las condiciones adecuadas, mediante unos mecanismos políticos y de mercado diseñados a medida.

El objetivo de este capítulo es desarrollar y aplicar una serie de criterios ambientales para minimizar las presiones ambientales de la producción de cultivos bioenergéticos, a la vez que se explotan las sinergias entre la bioenergía y la conservación de la naturaleza. El potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* se ha calculado bajo esta premisa para todos los Estados miembros de la UE25 (exceptuando Chipre, Luxemburgo y Malta) en 2010, 2020 y 2030.

La cantidad de biomasa agrícola que puede utilizarse para producir energía viene determinada fundamentalmente por la superficie de suelo disponible y la productividad de los cultivos bioenergéticos cultivados. El potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de la agricultura se ha calculado utilizando un procedimiento que comprende las cuatro fases siguientes:

1. Formulación de una serie de criterios ambientales
2. Teniendo en cuenta estos criterios ambientales, estimación según un modelo de la futura disponibilidad de suelo para la producción de bioenergía en cada uno de los Estados miembros en 2010, 2020 y 2030
3. Determinación de una asociación de cultivos bioenergéticos en cada una de las zonas medioambientales (7) de la UE25
4. Cálculo del potencial bioenergético en cada Estado miembro en función de la futura disponibilidad

de suelo, la asociación de cultivos *compatibles con el medio ambiente*, el rendimiento de los cultivos y el contenido neto de energía de los distintos cultivos.

### 3.2 Consideraciones ambientales

#### 3.2.1 Posibles presiones ambientales de la producción de bioenergía

Las prácticas agrícolas actuales pueden tener un impacto positivo o negativo sobre el medio ambiente. Por este motivo, es importante que todos los pasos orientados a aumentar la producción de bioenergía traten de respaldar un desarrollo positivo, sin agravar las presiones actuales sobre la biodiversidad de las tierras de cultivo y los recursos de suelo y agua. La producción de bioenergía puede generar posibles presiones adicionales como consecuencia de:

1. Un aumento de la demanda de productos del sector agrario <sup>(8)</sup>, lo que propicia la intensificación de la gestión de las explotaciones agrarias en toda la superficie de suelo agrícola;
2. Los incentivos para convertir los pastizales, olivares y dehesas de cultivo extensivo, tras ser liberados de la producción de forraje, en terrenos para cultivos bioenergéticos;
3. La asociación inadecuada de cultivos bioenergéticos sin tener en cuenta las presiones ambientales específicas de los diferentes cultivos dentro del contexto de los principales problemas ambientales de cada región.

Las tendencias arriba indicadas pueden tener un impacto negativo adicional sobre los principales problemas ambientales de la agricultura en las distintas regiones de Europa. En los apartados siguientes se describen los principales vínculos existentes entre la agricultura y el medio ambiente en Europa, y se explica la selección de los criterios ambientales utilizados en este estudio para calcular el potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de la agricultura.

La **erosión del suelo** en Europa es, sobre todo, un problema de la región mediterránea y se caracteriza por periodos prolongados de sequía seguidos de fuertes precipitaciones que caen sobre pendientes pronunciadas con suelos inestables (AEMA, 2005c). La erosión eólica puede suponer un problema en algunos paisajes llanos con agricultura intensiva de la Europa del centro y el norte.

La **compactación del suelo** deriva de la utilización de maquinaria pesada para actividades como el laboreo, el esparcimiento del abono orgánico y la cosecha. La compactación del suelo afecta negativamente a la

biodiversidad y a la estructura del suelo. También puede ocasionar problemas de encharcamiento.

La **lixiviación de nutrientes**, concretamente de nitratos y fosfatos, desde el suelo agrícola hacia las aguas subterráneas y superficiales, puede suponer un grave problema en las superficies con cultivos intensivos. Las medidas para evitar la lixiviación de nutrientes y **pesticidas** incluyen la reducción de los aportes de estiércol y fertilizantes, el aumento de la rotación de cultivos y una mejor gestión de las explotaciones agrarias. Actualmente un 56% de la contaminación por nitrato detectada en las aguas superficiales de la UE15 se atribuye a la agricultura (AEMA, 2005c, p. 64).

El **consumo agrícola de agua** es un tema preocupante especialmente en las áreas meridionales de Europa, donde la disponibilidad de agua es baja y varía de año en año. El aumento de la superficie de regadío ha aumentado la escasez de agua, con el consiguiente descenso del nivel freático y el nivel de agua en los ríos y lagos. Los efectos del aumento de la extracción de agua incluyen la salinización y contaminación de las aguas, la pérdida de humedales y la desaparición de hábitats debido a la construcción de presas y embalses, o la desecación de ríos. En términos generales, durante los dos últimos decenios se ha registrado un aumento significativo de la competencia por el agua entre la producción agrícola, los usos en suelo urbano, el turismo y la conservación de la naturaleza en las regiones más áridas de Europa. La cuota de la agricultura en el uso total del agua es de un 7% y un 50% en los países del norte y el sur de la UE15, respectivamente (AEMA, 2005c, p. 49).

La continua especialización de la agricultura durante las últimas décadas y la simplificación de los sistemas de cultivo han dado lugar a una pérdida de la **diversidad de los cultivos**. Esto se ha asociado también con la disminución de hábitats no cultivados, como los pastizales, las lindes entre campos y las líneas de árboles. Por consiguiente, la diversidad en el paisaje ha disminuido sustancialmente, conduciendo a una pérdida de diversidad en los hábitats agrícolas y en la flora y la fauna asociada a los cultivos (AEMA, 2005c).

La **biodiversidad de las tierras de cultivo** está afectada por una combinación de todas las presiones mencionadas anteriormente. Las presiones indirectas incluyen la erosión y la compactación del suelo, la lixiviación de nutrientes y pesticidas hacia las aguas subterráneas y superficiales y la extracción de agua. Las presiones directas incluyen la pérdida de hábitats y de prácticas culturales de gestión del suelo y control de plagas. Como resultado de la intensificación de la agricultura se ha registrado, por ejemplo, un

(7) En el apartado 3.2.2. se ofrece más información sobre el concepto de zonas medioambientales con características geo-edafo-climáticas similares.

(8) Este estudio se centra exclusivamente en la superficie agraria útil (SAU), asumiendo que en la actualidad no existen otros suelos no-agrícolas que se estén transformando en SAU. Esto puede subestimar la superficie disponible, en particular en algunos de los nuevos Estados miembros (véase el apartado 3.4.3).

considerable descenso en la mayoría de las especies de aves de zonas agrícolas entre 1980 y 2002 (AEMA, 2005c, p. 81).

Sin embargo, la intensificación de la agricultura no es el único factor que puede tener un impacto grave sobre la biodiversidad de las tierras de cultivo. Dado el estrecho vínculo existente entre la riqueza de especies y las prácticas de la agricultura extensiva, el abandono de las explotaciones puede llevar a una pérdida de áreas agrícolas de alto valor natural (AVN) y paisajes agrícolas característicos (AEMA/PNUMA, 2004).

Un aumento de la diversificación de los tipos de cultivo y la introducción de elementos estructurales puede resultar beneficioso para la biodiversidad, especialmente en los sistemas agrícolas intensivos. Una mayor diversidad en la cobertura del suelo proporciona un mayor número de hábitats para especies de diferentes grupos taxonómicos. Algunos cultivos bioenergéticos (concretamente las praderas y pastizales permanentes y la selvicultura de ciclo corto) pueden contribuir en cierta medida a la diversidad paisajística y de hábitats, ya que presentan características estructurales distintas de las de los cultivos anuales actuales.

En general, la introducción de nuevos cultivos bioenergéticos y la cosecha de praderas y pastizales bien gestionada y con fines bioenergéticos pueden ayudar a sostener o incluso *fomentar* la biodiversidad. No obstante, existe el riesgo de que una mayor demanda de bioenergía pueda acentuar las presiones sobre la biodiversidad, algo que sucedería si los sistemas de cultivo extensivo fueran sustituidos por cultivos bioenergéticos sometidos a un régimen de cultivo *intensivo*, o si estos últimos implicaran un uso del suelo de intensidad generalmente mayor y se introdujeran sistemas de cultivo muy especializados <sup>(9)</sup>.

### 3.2.2 ¿Cómo se puede evitar el aumento de las presiones ambientales?

En este estudio se aplicó una serie de criterios ambientales para evitar las presiones adicionales arriba indicadas <sup>(10)</sup>. Dichos criterios son los siguientes:

- 1a. En 2030, al menos el 30% del suelo agrícola de la mayor parte de los Estados miembros estará dedicado a la "agricultura orientada al medio ambiente" (es decir, áreas agrícolas de AVN o de agricultura ecológica).
- 1b. El 3% del suelo agrícola cultivado actualmente de forma intensiva se reserva para la creación de áreas

de compensación ecológica dentro de las áreas de cultivo intensivo.

2. Se mantienen las áreas agrícolas de cultivo extensivo (por ejemplo pastizales, olivares y dehesas).
3. Se utilizan cultivos bioenergéticos de baja presión ambiental.

Los dos primeros criterios afectan a la superficie agraria útil (SAU) total y, por lo tanto, a la producción de bioenergía y de alimentos/forraje. Ambos se introducen con objeto de evitar que el incremento de la producción de bioenergía afecte a un desarrollo del sector agrario ambientalmente favorable. Los criterios restantes están relacionados con el suelo que será liberado de la producción de alimentos/forraje (existe un cierto solapamiento entre los criterios 1a y 2).

Aunque los cambios en las prácticas agrícolas son importantes para determinar los impactos ambientales finales, solamente han podido ser considerados de manera parcial en este estudio. Otros criterios ambientales diferentes de los arriba indicados serán relevantes en determinadas localizaciones, aunque dichas consideraciones locales (incluyendo las relacionadas con los criterios arriba indicados) no han sido evaluadas en este estudio.

**1a. Alta cuota de la agricultura orientada al medio ambiente (AOMA).** Dada la importancia ambiental de la superficie de AOMA, el estudio asume que la cuota de AOMA en 2030 será como mínimo del 30% en todos los Estados miembros (salvo en Bélgica, los Países Bajos, Luxemburgo y Malta). La AOMA incluye tanto las superficies agrícolas de agricultura ecológica como las áreas agrícolas de alto valor natural (AVN).

Tanto la agricultura de AVN como la agricultura ecológica tienen un gran valor de biodiversidad. Investigaciones realizadas demuestran que, en términos generales, la agricultura ecológica es beneficiosa para el paisaje y la biodiversidad debido, por ejemplo, a una mayor variedad de hábitats de vida silvestre (Stolze *et al.*, 2000; Hole *et al.*, 2005).

Las áreas agrícolas de alto valor natural (AVN) son aquellas regiones europeas donde la agricultura es uno de los principales usos que se da al suelo (normalmente el dominante) y donde la agricultura sostiene o está asociada con una gran diversidad de especies y hábitats y/o la presencia de especies cuya conservación es motivo de preocupación en Europa. Las prácticas agrícolas en las explotaciones de AVN son más extensivas y también están mejor sincronizadas con los procesos naturales y las fluctuaciones que éstos registran de año en año

<sup>(9)</sup> Merece ser señalado, no obstante, que la presión del mercado en favor de los sistemas de cultivo económicamente rentables (intensivos) existirá aún sin considerar la producción de bioenergía, a menos que se asuman planes específicos de financiación (por ejemplo, subvenciones o precios favorables de los productos).

<sup>(10)</sup> Estos criterios ambientales fueron formulados en una reunión de expertos de la AEMA celebrada en marzo de 2005 y están basados en estudios anteriores (por ejemplo, Elbersen *et al.*, 2005; Fritsche *et al.*, 2004; Feehan y Petersen, 2003; Foster, 1997; Hope *et al.*, 2003; y Reijnders, 2006).

(Andersen, 2003). El bajo rendimiento es, por lo tanto, una característica inherente a la mayor parte de los sistemas agrícolas de AVN.

Establecer un nivel *mínimo* del 30% de superficie de AOMA en la mayor parte de los Estados miembros en 2030, puede suponer una protección contra la pérdida de las categorías actuales de uso agrícola extensivo, y puede evitar que la producción de bioenergía contrarreste la ampliación de la AOMA en los países donde la agricultura extensiva está actualmente por debajo del 30%. Un número importante de Estados miembros, entre los cuales figuran la mayor parte de los países del Mediterráneo, así como Austria, Irlanda, el Reino Unido, Estonia, Letonia, Rumanía, Eslovaquia y Eslovenia ya alcanzan, e incluso superan, dicho nivel (véase el anexo 2). Por tanto, resulta importante conservar este uso extensivo del suelo debido a su contribución a la biodiversidad de los cultivos <sup>(11)</sup>.

**1b. Nivel mínimo de superficie retirada como “áreas de compensación ecológica”.** Se asume que en 2030 se habrá retirado un mínimo del 3% de las áreas agrícolas de uso intensivo <sup>(12)</sup> con fines de conservación de la naturaleza. Este criterio ayuda a recrear áreas de compensación ecológica, lo que aumenta la tasa de supervivencia y/o el restablecimiento de ciertas especies propias de las áreas agrícolas.

Una serie de estudios realizados demuestran que la creación de hábitats sin cultivo en campos, lindes y “manchones de pastizal” dentro de regiones cultivadas puede ser eficaz para favorecer la biodiversidad de las aves (Bruinderink *et al.*, 2003; Foppen *et al.*, 2000; Opdam *et al.*, 2003; Vickery *et al.*, 2004; Vos *et al.*, 2001). Por consiguiente, el establecimiento de los citados espacios en las zonas de agricultura intensiva es importante por constituirse en áreas de compensación ecológica a escala de paisaje. Sin medidas necesarias para retirar parte del suelo de la producción agrícola, es probable que un aumento de la producción de bioenergía actúe en contra de la creación de dichas áreas de compensación, dado que es probable el aumento de la presión media sobre todo el sector agrario <sup>(13)</sup>.

**2. Mantenimiento de las categorías de uso extensivo del suelo.** A medida que son liberadas de la agricultura las categorías de uso extensivo del suelo (por ejemplo, las praderas y pastizales permanentes y los olivares), éstas van quedando potencialmente disponibles para la producción de biomasa. Desde un punto de vista ambiental, sin embargo, es mejor no labrarlas para instalar cultivos de biomasa y poder mantener así su cubierta original (aunque la hierba segada y los residuos

de madera sí pueden cosecharse). Este criterio respalda el objetivo de una cuota del 30% de agricultura orientada al medio ambiente, (criterio 1a) pero especifica ciertas categorías de uso del suelo que han de incluirse en la cuota del 30%.

Las categorías de uso extensivo del suelo, especialmente las praderas y pastizales semi-naturales, son hábitats importantes para un gran número de especies de plantas y animales (Bignal y McCracken, 2000; Ostermann, 1998; Tucker y Evans, 1997). Su importancia ya es claramente reconocida en la revisión intermedia de la PAC, que favorece la conservación de las praderas y pastizales permanentes. Sin embargo, un Estado miembro puede eludir su obligación de mantener tierras de pastizal permanente sólo en circunstancias debidamente justificadas, y ello únicamente cuando la proporción entre el pastizal permanente y la superficie agrícola total no caiga por debajo del 10% respecto al valor de dicho índice en el año de referencia (CE, 2003b). Al mismo tiempo, queda claro que muchas praderas y pastizales permanentes están amenazados por la intensificación de la actividad agrícola o por el abandono del cultivo (AEMA/PNUMA, 2004; Ostermann, 1998).

Un aumento de la demanda de biomasa puede afectar negativamente a estas áreas de cultivo extensivo (por ejemplo, en lo referente a la biodiversidad ambiental y de cultivos) si dichas áreas no son expresamente protegidas (Elbersen *et al.*, 2005). Esto puede deberse a posibles desplazamientos desde la producción actual de alimentos y piensos hasta la producción de bioenergía, especialmente cultivos lignocelulósicos en suelos no óptimos para los cultivos de labor <sup>(14)</sup>.

Además de los impactos en la biodiversidad, el laboreo de los pastizales permanentes libera el carbono atrapado en el suelo, lo que puede contrarrestar el potencial de fijación del carbono causado por el uso de la biomasa para reemplazar las fuentes de energía fósil (Smith y Conan, 2004; Vellinga *et al.*, 2005) <sup>(15)</sup> <sup>(16)</sup>. Según estas amenazas, está claro que el laboreo de los pastizales para la producción de bioenergía resulta perjudicial desde un punto de vista ambiental.

Por otra parte, el paulatino abandono y/o la infrautilización de pastizales y los olivares resulta también perjudicial porque es causa de pérdida de hábitats abiertos y diversos. La continuidad de una gestión extensiva de los pastizales, mediante el pastoreo y la siega, es extremadamente importante para el mantenimiento de su biodiversidad. En cuanto a las aves en áreas agrícolas, una gestión adecuada

<sup>(11)</sup> En la actualidad un 15-25% del campo de la UE15 puede ser catalogado como área agrícola de AVN (AEMA, 2005C y anexo 2).

<sup>(12)</sup> En el apartado 3.3.1.2 se incluyen los detalles del cálculo de las áreas de cultivo de uso intensivo.

<sup>(13)</sup> Por otra parte, la producción de bioenergía también puede contribuir a la diversidad estructural si se explotan algunos cultivos bioenergéticos. Además, una cosecha ocasional en las áreas de compensación ecológica con fines energéticos no contrarresta su finalidad ambiental.

<sup>(14)</sup> Esto puede cambiar cuando los precios pagados por los cultivos bioenergéticos estén por encima de los precios de los productos básicos, véase el anexo 3.

<sup>(15)</sup> El estudio conjunto del CCI, Comisión Europea, Eucar y Concawe Well-to-Wheel estima que el laboreo de los pastizales permanentes puede neutralizar los beneficios del uso de biocarburantes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero durante un periodo entre 17 y 111 años (Eucar, Concawe, CCI, 2006).

<sup>(16)</sup> También puede emitir grandes cantidades de nitratos (Crouzet, 2001).

de pastizales se traduce en formaciones vegetales más abiertas, que son hábitats adecuados para hibernar y pernoctar (Angelstamm, 1992; Söderström y Pärt, 2000).

La retirada mecánica de biomasa puede sustituir al pastoreo animal y a la siega de praderas para henificar, las cuales, de otro modo, estarían abandonadas. De esta forma se mantiene (parcialmente) la estructura actual de los hábitats a la vez que se cosecha la biomasa para producir energía. Esto puede cubrir parte de los costes de conservación de estas áreas <sup>(17)</sup>.

**3. Uso de cultivos bioenergéticos de bajo impacto ambiental.** Los tipos de cultivo bioenergético utilizados (tanto los anuales como los perennes) deben minimizar la erosión y la compactación del suelo, la lixiviación de nutrientes a las aguas subterráneas y superficiales, la extracción de agua, la contaminación por plaguicidas y el riesgo de incendio. Lo mejor sería que también tuvieran un impacto positivo sobre los paisajes cultivados y la biodiversidad.

Cultivos bioenergéticos diferentes tienen impactos ambientales distintos. Una asociación de cultivos compatible con el medio ambiente debe tratar de reducir las principales presiones ambientales en la región donde se produce la bioenergía (véase el apartado 3.2.1).

**Suelo.** Las principales prácticas agrícolas que evitan la erosión del suelo son las siguientes: conservación de la cubierta del suelo durante todo el año (incluso en otoño e invierno); no arar ni cultivar el suelo en pendientes (pronunciadas); creación de cortavientos en el paisaje mediante la introducción de especies de diferentes alturas; conservación de los cortavientos como parte del deslinde entre campos, e introducción de prácticas destinadas a evitar la pérdida de materia orgánica en el suelo, etc. El aumento de algunos cultivos potencialmente bioenergéticos, especialmente la remolacha azucarera, no ofrece gran protección contra la erosión del suelo. Por el contrario, existen otros cultivos bioenergéticos que podrían ayudar a evitar la erosión del suelo al suministrar una cubierta durante todo el año, sobre todo durante el otoño y el invierno.

Los cultivos de biomasa perenne son particularmente eficientes como cubierta del suelo, especialmente después de uno o dos años de crecimiento.

Los cultivos con elevado contenido de humedad y por tanto con un elevado peso específico en el momento de la cosecha (como la patata y la remolacha azucarera) pueden contribuir a la compactación del suelo. Por otro lado se pueden introducir algunos cultivos bioenergéticos, como los sistemas de doble cultivo o los perennes y con sistemas de mínimo o nulo laboreo, que minimizan o reducen a cero el efecto compactador de la maquinaria pesada. El momento de la cosecha también

puede ser importante; por ejemplo, la cosecha invernal de *miscanthus* puede tener un importante impacto sobre la erosión y la compactación del suelo.

**Agua.** Algunos cultivos bioenergéticos actuales, como la colza oleaginosa, requieren un uso elevado de plaguicidas y fertilizantes y pueden, por lo tanto, aumentar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo, existen otros cultivos, como ciertos cereales, que pueden ayudar a reducir las aportaciones totales realizadas a un sistema de cultivo, si sustituyen a cultivos que requieren insumos mayores y cuya introducción implica una rotación de cultivos más amplia. Si para la producción de biomasa se usan cultivos de biomasa perenne, la eficiencia total de nutrientes será mayor que la de los cultivos herbáceos convencionales. No obstante, con independencia del tipo de cultivo, los cambios en las prácticas agrícolas pueden ser el factor más significativo en relación con las pérdidas de nutrientes y plaguicidas. Sin embargo, su impacto exacto es difícil de cuantificar y queda fuera del alcance de este estudio.

La elección de los cultivos de biomasa, sobre todo en las zonas áridas, debería centrarse en los cultivos con baja demanda de agua y que no necesiten riego. En este sentido, algunos cultivos de biomasa perenne dan mejores resultados que los cultivos herbáceos convencionales utilizados para la producción de biomasa.

**Diversidad biológica y paisajística.** Una selección cuidadosa de la asociación de cultivos de biomasa puede ayudar a aumentar la diversidad en los cultivos y el paisaje, introduciendo cultivos de biomasa con características diferentes en altura y disposición, lo que aumenta la diversidad estructural (por ejemplo las plantas perennes y la selvicultura de ciclo corto). En las regiones donde la agricultura está muy especializada, como algunos lugares del norte y oeste de la UE, será más fácil lograr una mayor diversidad de cultivo.

El riesgo de incendios es mayor en las zonas áridas de Europa con bajo nivel de precipitaciones. El efecto de un incendio se puede agravar en caso de falta de gestión del suelo (por ejemplo, en caso de abandono del cultivo), lo que propicia que la densidad de la biomasa seca e inflamable sea alta y/o dificulte más el acceso para apagar el fuego. Para el establecimiento de cultivos de biomasa en áreas con alto riesgo de incendios, es importante elegir cultivos con características que dificulten la propagación del fuego.

<sup>(17)</sup> En algunos casos, cuando la tierra de cultivo extensivo original ya ha perdido su valor de biodiversidad a causa de la intensificación, probablemente podría ser utilizada para plantar un pastizal de biomasa perenne, ya que no se crearían presiones adicionales sobre la biodiversidad de las tierras de cultivo ni sobre los recursos de suelo y agua. Sin embargo, esto no se ha tenido en cuenta en este estudio porque no ha sido posible hacer una estimación realista del porcentaje de praderas y pastizales afectados.

### 3.3 Enfoque: desarrollo de la metodología y el escenario

La cantidad de bioenergía disponible depende sobre todo de la superficie de suelo disponible y del rendimiento de los cultivos bioenergéticos utilizados. Éstos se han modelado y calculado para 2010, 2020 y 2030, atendiendo a los criterios y las hipótesis ambientales sobre el posible desarrollo del sector agrario en un mercado en proceso de liberalización.

#### 3.3.1 Superficie agrícola disponible

##### 3.3.1.1 Hipótesis

Este estudio no contempla el efecto de competencia entre la producción de bioenergía y la de alimentos para el suministro doméstico. Con los precios actuales del mercado, este efecto sería limitado, pero de importancia creciente debido a la subida prevista del precio combinado de la energía y los derechos de emisión de carbono. Ignorar esta competencia significa que el terreno disponible para cultivos bioenergéticos está determinado en gran medida por la superficie agraria útil (SAU), incluyendo la superficie retirada, que ha podido ser liberada de la producción de alimentos y forraje.

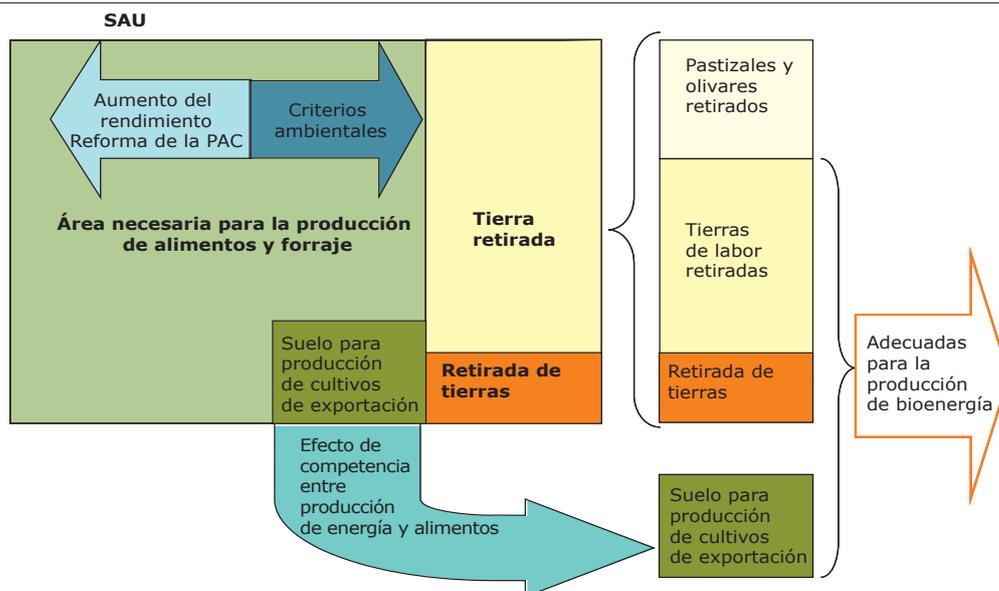
El modelo de liberación y retirada de tierras se realizó teniendo en cuenta la hipótesis de una futura reforma de la Política Agrícola Común, con una liberación total de los mercados de productos animales (bovino, lácteos, porcino y aves) en 2025, siguiendo la tendencia de anteriores reformas de la PAC y las negociaciones sobre

comercio internacional. Esto incluye la abolición del sistema de cuotas de productos lácteos. Para ser realistas, se asumieron nuevos incrementos en el rendimiento de los cultivos (EuroCare, 2004).

Al estar en la mayor parte de los Estados miembros los costes de la producción agrícola por encima de los precios de los productos en el mercado mundial (en especial los de productos lácteos y carne de vacuno), es previsible que la liberalización conduzca a un descenso de la producción y, por tanto, a una liberación de suelo que podría aprovecharse para la producción de bioenergía. Sin embargo, el criterio ambiental (1a) impone ciertas restricciones al crecimiento de la productividad. Se requiere más suelo para producir la misma cantidad de alimentos y forraje y, por consiguiente, se dispone de menos suelo para producir bioenergía. Por otro lado, el criterio (1b) implica que, en términos generales, habrá menos superficie de tierra cultivable. Al no tener previsto que se produzca la transformación de pastizales permanentes en tierras de cultivo (criterio 2), el terreno arable que pueda dedicarse a cultivos bioenergéticos será menor que sin considerar este criterio (véase la figura 3.1).

Como ya se ha mencionado, en este enfoque no se contempla la competencia entre la producción de bioenergía y la de alimentos para uso doméstico. No obstante, se asume cierta competencia en el suelo agrícola utilizado para la producción destinada a la exportación, ya que es probable que el aumento del precio de los combustibles fósiles y los derechos de emisión de carbono favorezca más la producción de

**Figura 3.1 Influencia de diferentes fuerzas motrices en la disponibilidad del suelo**



**Nota:** Se asume que el suelo usado actualmente para la producción de cultivos bioenergéticos seguirá estando disponible para la producción de bioenergía.

bioenergía que la de alimentos y piensos <sup>(18)</sup>. La asunción de una limitación de la competencia en estas áreas puede garantizar que el crecimiento del mercado de bioenergía no afecte negativamente el grado de “autosuficiencia alimentaria” europea. Dentro del alcance de este estudio, el análisis del efecto de competencia se aplicó solamente en Alemania y Francia. A pesar de esta restricción, el efecto total de la competencia en la UE se registra en gran medida en el suelo dedicado a la producción para la exportación. Esto se debe a que Alemania y Francia son los únicos Estados miembros en los que se prevé la combinación de unos grandes excedentes de cereales para la exportación y una extensa superficie agrícola.

### 3.3.1.2 Modelos

El modelo de las tierras liberadas y retiradas se ha basado en el modelo CAPSIM (EuroCare, 2004). Se trata de un modelo de equilibrio parcial diseñado para observar los avances agrícolas en los Estados miembros de la UE (por ejemplo, los patrones de cultivos y ganado y los productos animales por países). El modelo tiene en cuenta la evolución política como, por ejemplo, los cambios en la Política Agrícola Común. Puesto que los resultados del modelo se obtienen para cada Estado miembro por separado, la resolución regional de la parte agrícola de este estudio se ha limitado al nivel de los distintos Estados miembros. El horizonte temporal del modelo alcanza hasta 2025; además se ha realizado la extrapolación de los resultados del modelo hasta 2030.

Como punto de partida para determinar la cantidad de suelo necesario para la producción de alimentos y forraje y, por consiguiente, para conocer cuánto suelo será liberado, se ha utilizado el escenario “Animlib” de CAPSIM. Este escenario refleja una liberalización de los mercados animales de acuerdo con la hipótesis de una futura reforma de la PAC.

Se aplicaron los criterios ambientales para convertir el escenario Animlib en uno *compatible con el medio ambiente*. Se aplicó el objetivo del 30% de agricultura

orientada al medio ambiente, asumiendo que la cuota actual de áreas agrícolas de AVN se va a mantener estable hasta 2030, mientras que la cuota de la agricultura ecológica crecerá para cumplir el objetivo combinado. Dado que el rendimiento de la agricultura ecológica es inferior al de la agricultura convencional, se aplicaron los rendimientos reducidos de los cultivos (extraídos de Offermann, 2003) a la cuota de tierras de cultivo que se ajustan a esta definición. Aunque se asume que el futuro aumento del rendimiento de la agricultura ecológica será igual al de la agricultura convencional, no se prevé ningún aumento de rendimiento en las áreas agrícolas de AVN. Esto se debe a que las prácticas agrícolas de AVN están limitadas por factores climáticos y topográficos.

Por otra parte, se tuvo en cuenta un 3% de tierras de cultivo intensivo retiradas como áreas de compensación. Se asumió que, en 2010, la superficie de cultivo intensivo debía incluir solamente las categorías de uso del suelo para cereales, oleaginosas y otros cultivos herbáceos. Para estas categorías se hizo una estimación orientativa de la parte que se iba a cultivar muy intensivamente, a la que se le aplicó la regla del 3%. Se espera alcanzar dicha cuota en 2010, y después se supone que la cantidad total de suelo dedicada a áreas de compensación ecológica permanecerá constante.

Se calculó el suelo disponible para producir cultivos bioenergéticos asumiendo una cierta conversión de tierras liberadas del cultivo en tierras no agrícolas, como áreas urbanas, de infraestructuras y de recreo. Esto reduce la superficie liberada entre un 0,5% y un 2%, según el Estado miembro <sup>(19)</sup>. Por otra parte, se asume que el suelo utilizado actualmente para la producción de cultivos bioenergéticos y una parte de las áreas retiradas seguirán estando disponibles para la producción de cultivos bioenergéticos.

Por último, el efecto de la competencia entre la producción de bioenergía y de alimentos se tuvo en cuenta con un enfoque paralelo basado en el modelo ascendente HEKTOR (Simon, 2005; Fritsche et al., 2004) aplicado en Alemania y Francia <sup>(20)</sup>. Este modelo determina la cantidad de suelo necesario

**Tabla 3.1 Cuota estimada de tierras de cultivo intensivo dentro de la categoría de uso del suelo como tierra de labor en 2010**

Estado miembro	Cuota estimada de uso intensivo del suelo en tierras de labor
Bélgica, República Checa, Dinamarca, Alemania, Países Bajos, Finlandia, Suecia y Reino Unido	70 %
Grecia, España, Francia, Austria, Portugal, Irlanda e Italia	50 %
Estonia, Hungría, Lituania, Letonia, Polonia, Eslovenia y Eslovaquia	40 %

**Nota:** Las tierras de labor incluyen las de cereales, oleaginosas y otros cultivos herbáceos. En este análisis no se incluyen Chipre, Luxemburgo ni Malta.

<sup>(18)</sup> De acuerdo con las hipótesis planteadas, hacia 2030 la suma del “valor energético” monetario y el de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> llevará en muchos casos a que los ingresos de la producción bioenergética sean similares o mayores que los de los alimentos y piensos (véase el Anexo 3).

<sup>(19)</sup> La futura necesidad de suelo para usos no agrícolas se ha estimado de manera orientativa para cada Estado miembro utilizando una combinación de información relativa a tendencias anteriores, densidad de población y Producto Nacional Bruto. Supone un 0,5% para Estonia, Letonia y Lituania; un 1% para Hungría, Eslovaquia, Polonia, España, Grecia, Chipre, Eslovenia, Portugal, la República Checa, Finlandia, Suecia, Irlanda y Austria; un 1,5% para Francia, Dinamarca, Luxemburgo, Italia y Malta y un 2% para Alemania, el Reino Unido, Bélgica y los Países Bajos.

<sup>(20)</sup> Dentro del alcance de este estudio no fue posible aplicar el modelo HEKTOR en toda la UE. Sin embargo, como Francia y Alemania se considera que son los principales países exportadores de productos agrícolas en la UE, es razonable asumir que gran parte del efecto de competencia queda incluido al centrar el estudio en ambos países.

para producir los alimentos y el forraje necesarios para cubrir las demandas internas, sin perjuicio de los criterios ambientales anteriormente descritos. Por lo tanto, se asumió que el nivel de autosuficiencia en el suministro de alimentos dentro de la UE debería quedar garantizado a medida que se retiren las exportaciones directas e indirectas subvencionadas. Por consiguiente, la disponibilidad potencial de suelo para la producción de cultivos bioenergéticos se calcula restando las necesidades futuras de suelo para la producción de alimentos de las necesidades totales de suelo del año 2000. De este resultado se resta una cantidad igual al suelo necesario para el respeto de los criterios ambientales, la urbanización y otras actividades no agrícolas

### 3.3.1.3 Resultados

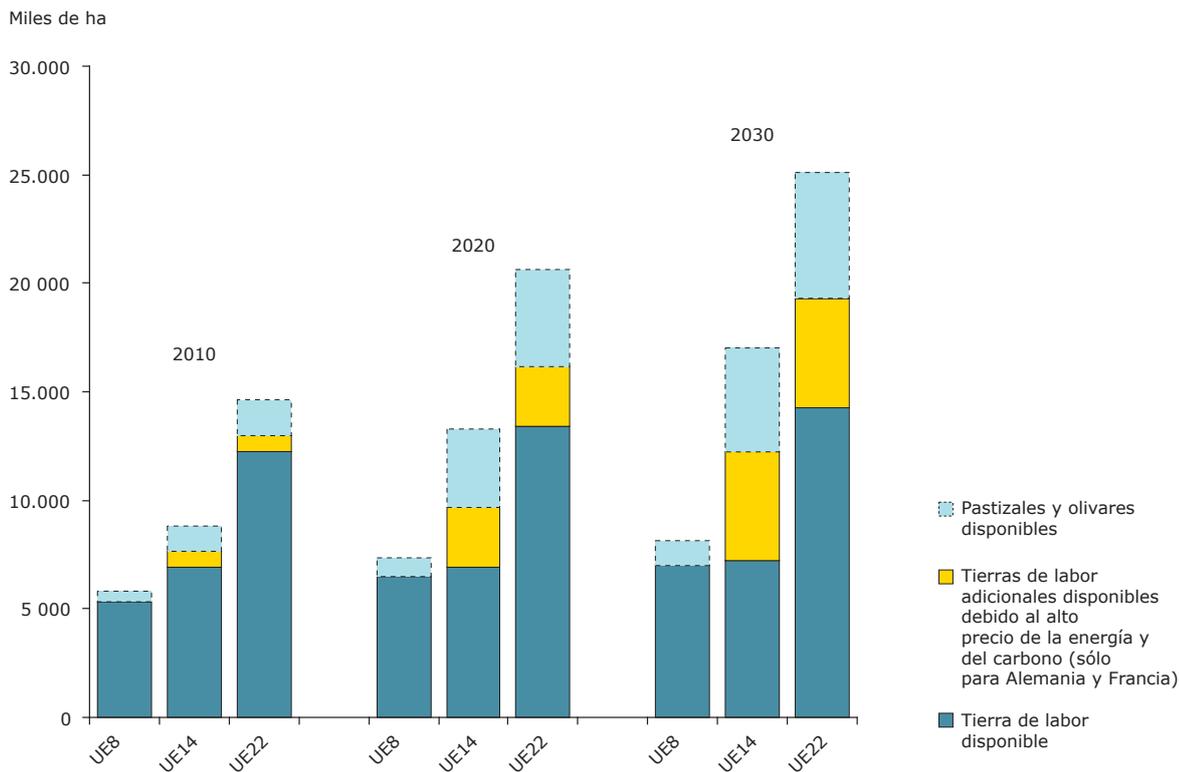
La tierra de labor disponible que puede ser utilizada para la producción de bioenergía aumenta desde 13 millones de ha en 2010 a 19,3 millones en 2030. Esto equivale a 8% de la SAU en 2010 y 12% en 2030. También puede liberarse suelo adicional en las categorías de pastizal y olivar, aumentando de 1,7 millones de ha en 2010 a

5,9 millones en 2030. En consonancia con las hipótesis ambientales, este suelo no se debe arar, y por lo tanto no puede ser utilizado para la producción intensiva de bioenergía. Sin embargo, las siegas de los pastizales sí se pueden utilizar para producir bioenergía <sup>(21)</sup>.

La mayor parte del suelo disponible proviene de liberar suelo utilizado para producir alimentos y forraje como resultado de la reforma de la PAC y el incremento de productividad de los cultivos. Sin embargo, unos 5 millones de los 19,3 millones de ha de la superficie de tierras de labor disponibles en 2030, proceden de la competencia asumida entre la producción de energía y la de alimentos en las regiones de Alemania y Francia destinadas a generar productos básicos de exportación. Esto está desencadenado por la subida del precio de los derechos de emisión de carbono y el de los combustibles fósiles.

Mirando los resultados individuales por países, se comprueba que los países con mayores previsiones en cuanto a la disponibilidad de suelo no experimentan una variación significativa en el tiempo. Los principales "aportadores" de suelo disponible para la producción

**Figura 3.2 Tierra de labor disponible para la producción de biomasa como fuente de energía**



**Nota:** Sin datos de Chipre, Luxemburgo y Malta. La tierra de labor adicional, disponible cuando el precio de la bioenergía está por encima del precio de los productos básicos alimenticios, se calculó para Alemania y Francia utilizando el modelo HEKTOR. Para los demás países, la superficie disponible se calculó con el modelo CAPSIM.

<sup>(21)</sup> La madera extraída de los olivares no se tuvo en cuenta en este estudio.

de bioenergía son Polonia, España, Italia, el Reino Unido, Lituania y Hungría. Se espera que Alemania y Francia liberen una cantidad importante de suelo debido al efecto de competencia entre la producción de bioenergía y la de alimentos/piensos de exportación. Los países sin ninguna superficie agrícola disponible son generalmente los que cuentan en la actualidad con sistemas agrícolas intensivos o muy competitivos. Esto implica que será necesaria una considerable superficie de suelo para alcanzar una cuota más alta en la retirada de superficies dedicadas a la agricultura orientada al medio ambiente y la agricultura ecológica. Asimismo, los países con una alta proporción de pastizal disponen de poca tierra de labor, puesto que se da por supuesto que los pastizales no se van a transformar en tierras de labor.

En general, queda claro que los nuevos Estados miembros aportan un porcentaje importante de suelo disponible para bioenergía, especialmente si se relaciona con su cuota de SAU en el total de la UE. Para 2030 está prevista una disponibilidad de un 18% de la SAU para producir bioenergía con un 3% de pastizal, mientras que dicha cuota en la UE15 rondará el 10% (incluyendo el potencial adicional de Alemania y Francia).

### 3.3.2 Combinación de cultivos compatibles con el medio ambiente

Los cultivos bioenergéticos han de cumplir unos requisitos diferentes de los cultivos convencionales de alimentos. El criterio de optimización es el contenido energético y no la producción de alimentos. La gama de cultivos adecuados para producir bioenergía comprende, por tanto, los cultivos anuales de alimentos y piensos como las praderas permanentes, la silvicultura de ciclo corto y los suelos dedicados a "sistemas de doble cultivo".

En este estudio, se identificó una combinación de cultivos *compatibles con el medio ambiente* a partir de la evaluación del impacto ambiental de los diferentes cultivos en el marco de las características climáticas y ambientales de cada lugar y según el rendimiento. Por esta razón, se realizó una selección inicial de combinaciones de cultivos bioenergéticos con objeto de

La **priorización de cultivos** según la zona medioambiental fue desarrollada como una herramienta para obtener una primera indicación de la combinación de cultivos *compatibles con el medio ambiente* para producir biomasa en la mayor parte de las zonas ambientales de Europa. Esta priorización de cultivos fue utilizada en este estudio como uno de los factores para determinar una combinación eventual de cultivos, junto con otras consideraciones de rentabilidad económica (expresadas como rendimiento energético por cultivo y por hectárea) y el uso del suelo actual.

Para utilizar esta priorización de cultivos más allá de su valor como herramienta, debe ser enmarcada en el contexto de los sistemas y las prácticas agrícolas existentes. Otros criterios pueden ser añadidos a este análisis, por ejemplo el contenido en materia orgánica (conservación del carbono del suelo). Además, debe ampliarse con una información más detallada sobre futuros cultivos bioenergéticos, por ejemplo, nuevos cultivos ricos en aceite y almidón o la adición de variedades de plantas perennes. En un contexto más completo también se debe introducir el análisis del ciclo de vida de los gases de efecto invernadero de los distintos cultivos y su uso. Por último, se debe aplicar a una escala regional y local para obtener una indicación más precisa.

identificar los cultivos más versátiles que pueden ser idóneos para las zonas ambientales de Europa en un futuro *compatible con el medio ambiente*.

Como complemento a los impactos ambientales de los distintos cultivos, se ha considerado la estimación de la rapidez de introducción de los nuevos cultivos en los sistemas agrícolas actuales (por ejemplo, el cambio de un cultivo anual a otro perenne). Por otra parte, se ha considerado la disponibilidad de tecnologías de conversión, puesto que algunas tecnologías de conversión existentes para el transporte dependen de los cultivos de almidón y aceite. Esto puede cambiar con los biocarburantes avanzados (de segunda generación) y también si las tecnologías de producción de calor y electricidad se tienen en cuenta, ya que pueden

**Tabla 3.2 Superficie de tierras de labor disponibles para cultivos bioenergéticos por Estado miembro (1.000 ha)**

	Alemania	Austria	Bélgica	Dinamarca	Eslovaquia	Eslovenia	España	Estonia	Finlandia	Francia	Grecia	Hungría	Irlanda	Italia	Letonia	Lituania	Países Bajos	Polonia	Portugal	Suecia	Reino Unido	República Checa	UE14	Nuevos Estados miembros (UE8)	UE22
2010	1.000	204	0	74	81	3	2.706	88	486	536	356	413	0	1.074	83	525	0	3.823	250	135	824	303	5.320	7.646	12.965
2020	2.000	266	0	0	140	16	2.582	154	299	1.000	298	512	0	1.786	144	882	0	4.321	169	168	1.118	314	6.484	9.686	16.170
2030	3,000	298	0	0	213	36	2.459	159	174	2.000	266	547	0	2.165	183	1.055	0	4.525	125	178	1.584	301	7.019	12.249	19.267

**Nota:** Sin datos de Chipre, Luxemburgo y Malta; el valor de Alemania y Francia se basa en los cálculos del modelo HEKTOR y ha sido redondeado; el de los demás países, en los cálculos del modelo CAPSIM adaptado.

copar virtualmente todos los cultivos bioenergéticos. Estos factores implican que la combinación de *cultivos sostenibles* por región se modificará con el tiempo.

Como punto de partida y para cada cultivo bioenergético se analizaron las principales presiones ambientales: erosión y compactación del suelo, aporte de nutrientes a las aguas superficiales y subterráneas, contaminación por plaguicidas, extracción de agua, aumento del riesgo de incendio y biodiversidad de las tierras de cultivo. Este enfoque está basado en un análisis cualitativo de las principales presiones ejercidas sobre el medio ambiente por los distintos cultivos, según lo descrito en la bibliografía existente. El estudio se basa en la priorización ecológica de los cultivos energéticos en las condiciones de Alemania elaborada con la información aportada por expertos según el método Delphi (Reinhardt y Scheurlen, 2004) y modificada tras una revisión bibliográfica y los conocimientos de especialistas. La tabla 3.3 contiene un ejemplo de evaluación de las presiones ambientales de un cultivo permanente; en el anexo 4 se incluye un resumen.

Los resultados de este estudio indican que los cultivos energéticos perennes (por ejemplo el alpiste arundináceo o el monte bajo de rotación corta) suelen generar menos presiones ambientales que la mayoría de las plantas anuales (AEMA/CCI, 2006). Pueden evitar la erosión y no necesitan mucho tratamiento del suelo, por lo que se reduce el aporte de nutrientes y plaguicidas. Sus raíces profundas y extendidas disminuyen la compactación del suelo. Según el tipo de cultivo, también pueden disminuir considerablemente la extracción de agua con respecto a los cultivos alimentarios anuales. Algunas plantas perennes están bien adaptadas a los climas áridos, pero aun así requieren ciertos riegos. La cosecha de los pastos perennes antes de la sequía y el calor del verano pueden reducir el riesgo de incendio, que es potencialmente alto. Por otro lado, cabe asumir que la mayor parte de los incendios en suelo agrícola pueden evitarse antes, dado el valor económico de los cultivos y la temprana detección de los incendios. En general, los cultivos perennes también pueden contribuir a la diversidad del paisaje y los cultivos. Sin embargo,

es necesario tener en cuenta los impactos sobre la estructura del paisaje.

Entre los cultivos anuales convencionales, los cereales suelen tener un “rendimiento ambiental” mejor que la colza. La remolacha azucarera y la patata tienen un impacto negativo relativamente alto sobre el medio ambiente en la mayoría de las zonas, porque favorecen la erosión del suelo (cubierta no anual ni total) y tienen un peso elevado en el momento de la cosecha, lo que obliga al uso de maquinaria pesada que acelera la compactación del suelo. El aporte de nutrientes suele ser alto en el caso del trigo, el maíz grano, la patata, la remolacha azucarera y la colza oleaginosa, pero varía enormemente entre los distintos países (y las prácticas agrícolas).

Como el cultivo de bioenergía no se limita a la agricultura convencional, se pueden introducir sistemas específicos de cultivo anual. Los sistemas de multicultivo extensivo (es decir, una asociación de varias plantas, especies y variedades dentro del mismo campo) pueden combinar una presión ambiental baja con un rendimiento alto, ya que el conjunto de todas las plantas se puede cosechar en verde varias veces al año. Dichos sistemas de cultivo doble o múltiple, que asocian varias especies en un mismo campo, tienen pocas necesidades en cuanto al aporte de fertilizantes, plaguicidas y labores del suelo. La erosión del suelo disminuye a causa de la cubierta vegetal durante todo el año y el reciclado de residuos que son fermentados y aportan al suelo materia orgánica y nutrientes del suelo. También pueden contribuir a la diversidad estructural de los campos. Sin embargo, estos sistemas de cultivo no parecen adecuados para el sur de Europa porque necesitan mucha agua y requieren una investigación más práctica, que incluye pruebas de campo en distintos lugares de Europa.

A partir de esta “clasificación ambiental de los cultivos bioenergéticos”, se determinó una combinación de cultivos bioenergéticos *compatibles con el medio ambiente* para las distintas zonas medioambientales de Europa siguiendo los siguientes pasos (véase la figura 3.3).

**Tabla 3.3 Evaluación de las presiones por cultivo – Ejemplo: chopo y sauce de ciclo corto**

Aspecto	Puntuación	Justificación
Erosión	A	Cultivo permanente, por tanto, buena cubierta del suelo
Compactación del suelo	A	Raíces profundas, cultivo permanente
Aportes de nutrientes a las aguas superficiales y subterráneas	A	Importante demanda de nutrientes pero también buena absorción; poco uso de fertilizantes; cubierta permanente del suelo
Contaminación de suelos y agua por plaguicidas	A	En las últimas fases muy competitivos, por lo que no es necesario el uso de plaguicidas y herbicidas; en los primeros años debe considerarse la competencia de las malas hierbas.
Captación de agua	B	Demanda alta de agua, pero en general sin necesidad de riego
Aumento del riesgo de incendio	—	No apto para condiciones áridas
Vínculo con la biodiversidad de las tierras de cultivo	A/B	Uso de plaguicidas bajo/nulo; hábitat de nidificación y ofrece refugio para el invierno; sin embargo, puede tener impactos negativos sobre las estructuras de paisaje abierto

**Nota:** A significa riesgo bajo; B significa riesgo medio; C significa riesgo alto; — significa que el criterio no es relevante.

1. La combinación de cultivos bioenergéticos *compatibles con el medio ambiente* se estableció dentro del contexto de las principales características ambientales y socioeconómicas de las distintas regiones de Europa. Se incorporaron las siguientes características: idoneidad climática; uso actual del suelo; sistema agrícola actual y problemas ambientales actuales. Ésta es la única forma de establecer las combinaciones óptimas en la actualidad y en el futuro, permitiendo la evaluación de sus impactos ambientales, incluidos los ecológicos. Para ello se utilizó el concepto de zona medioambiental, que divide Europa en 13 zonas con un carácter edafo-geo-climático homogéneo (22).
2. El resultado es la selección de una combinación de cultivos de biomasa en cada zona medioambiental. No se espera que dicha combinación suponga una presión adicional sobre la biodiversidad de las tierras de cultivo, sino más bien que conduzca a un descenso relativo de las presiones ambientales. En la tabla 3.4 se incluye un ejemplo de priorización de cultivos anuales en la Zona Atlántico-Centro Europea y Lusitánica.

Las combinaciones de cultivos por zonas se tomaron como puntos de partida para analizar el potencial

bioenergético *compatible con el medio ambiente* de cada Estado miembro. Esto implica que cada Estado miembro fue incluido dentro de una zona medioambiental, con la excepción de Francia, Alemania, España, Suecia y el Reino Unido, que participan de más de una zona.

En función de esta asignación y la clasificación ambiental de los cultivos por zona, se identificó *una asociación de cultivos sostenible* en cada Estado miembro. Dicha combinación de cultivos es la que goza de buena puntuación en ambas clasificaciones: la ambiental y la de *rendimiento energético* (23). Los rendimientos suponen un indicador aproximado de la eficiencia económica de los cultivos de biomasa. En la Zona Atlántico-Centro Europea, por ejemplo, las mejores opciones son los sistemas de doble cultivo y la caña común. En el Mediterráneo son preferibles los cereales, la caña común y el sorgo.

La combinación de cultivos actuales de cada país también se ha tenido en cuenta junto a la diversidad de usos del suelo. Esto implica que si dos cultivos tienen una clasificación similar en cuanto a su rendimiento ambiental y económico, se prioriza el menos frecuente. En general, una variedad de cultivos de diferentes alturas y características de implantación crea una

**Tabla 3.4 Priorización de cultivos anuales en la Zona Atlántico-Centro Europea y Lusitánica**

	Doble cultivo	Linaza (aceite)	Otros cereales	Vegetación herbácea cultivada	Trébol, alfalfa	Cañamo	Semilla de mostaza	Trigo	Girasol	Colza	Remolacha azucarera	Patata	Maíz
Erosión	A	A	A	A	A	A/B	A (B)	A	B/C	B	C	C	C
Compactación del suelo	A	A	A	A/B	A/B	A	A	A	A	A	C	C	B
Aporte de nutrientes a las aguas superficiales y subterráneas	A	A	A	B	B	A	B	A	A/B	B/C	B	B	C
Contaminación de suelos y agua por plaguicidas	A	B	A	A	A	A	B	A	B	C	B	B	C
Captación de agua	A/B	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	C	B/C
Aumento del riesgo de incendios	—	—	—	C	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vínculo con la biodiversidad de las tierras de cultivo	B	A/B	B	A	A/B	B	B	B/C	A/B	B/C	B	B/C	B/C
Diversidad de los tipos de cultivos	A	A	B	A	A	B	A	C	B	A/B	B	A/B	B/C

**Nota:** A significa riesgo bajo; B significa riesgo medio; C significa riesgo alto; — significa que el criterio no es relevante para dicha Zona y cultivo específico. Los cultivos energéticos perennes no están incluidos porque se evaluaron de forma independiente debido a sus distintos impactos sobre el medio ambiente y el paisaje. El criterio "vínculo con la diversidad de las tierras de cultivo" está basado en las restantes presiones ambientales y no engloba de forma detallada las interacciones e influencias de los factores bióticos y abióticos. Las semillas de mostaza son relevantes únicamente en la Zona Lusitánica. El criterio "erosión" es "A" para las semillas de mostaza en general, pero "B" si se cultivan en hileras para obtener aceite.

(22) La estratificación ambiental de Europa divide la región en zonas con un carácter edafo-geo-climático homogéneo. Esta clasificación por zonas está basada en datos climáticos, datos sobre la influencia oceánica, posición geográfica con latitud y altitud, todos ellos clasificados con criterios estadísticos. El resultado son 84 estratos que, a su vez, se agrupan por criterios estadísticos en 13 zonas medioambientales (ZMa) principales. Para mayor información sobre la clasificación medioambiental por zonas, véase Metzger *et al.* (2005) y Jongman *et al.* (2005).

(23) Todas las cifras referentes al rendimiento son estimaciones basadas en las medias a largo plazo incluidas en las estadísticas de la FAO o, cuando no se dispone de éstas, procedentes de otras investigaciones de campo publicadas. Las hipótesis sobre los futuros incrementos de los rendimientos se han diferenciado para cultivos oleaginosos "convencionales", cereales (solamente maíz) y cultivos bioenergéticos "especializados" (como el uso de la planta entera de los cultivos herbáceos comunes, el monte bajo de ciclo corto y las praderas permanentes energéticas). Se espera que el incremento del rendimiento sea más alto en el caso de los cultivos bioenergéticos especializados (1%/a en 2000 - 2010, 1,5%/a de 2010 - 2020 y 2%/a entre 2020 - 2030) que en el caso de los cultivos agrícolas tradicionales (1%/a para las semillas oleaginosas y 1,5%/a para los cereales, en ambos casos a lo largo de todo el periodo). Esto se debe principalmente a que la explotación del potencial de producción de los cultivos no destinados a alimentos no ha hecho más que comenzar. Por el contrario, los índices de incremento del rendimiento en los cultivos herbáceos comunes comenzaron a ralentizarse en Europa en el decenio de 1980, razón por la cual se asume que el incremento del rendimiento de estos cultivos es limitado. Se ha supuesto que los cultivos modificados genéticamente no son utilizados.

mayor diversidad estructural en el paisaje y más nichos ambientales en espacio y tiempo para una gran variedad de especies. Por otra parte, la combinación actual de cultivos y la disponibilidad de maquinaria agrícola influyen en la sostenibilidad de la combinación de cultivos. Por ejemplo, en lugar de un paso brusco desde cultivos anuales a perennes, el proceso es más probable que sea continuo y paulatino.

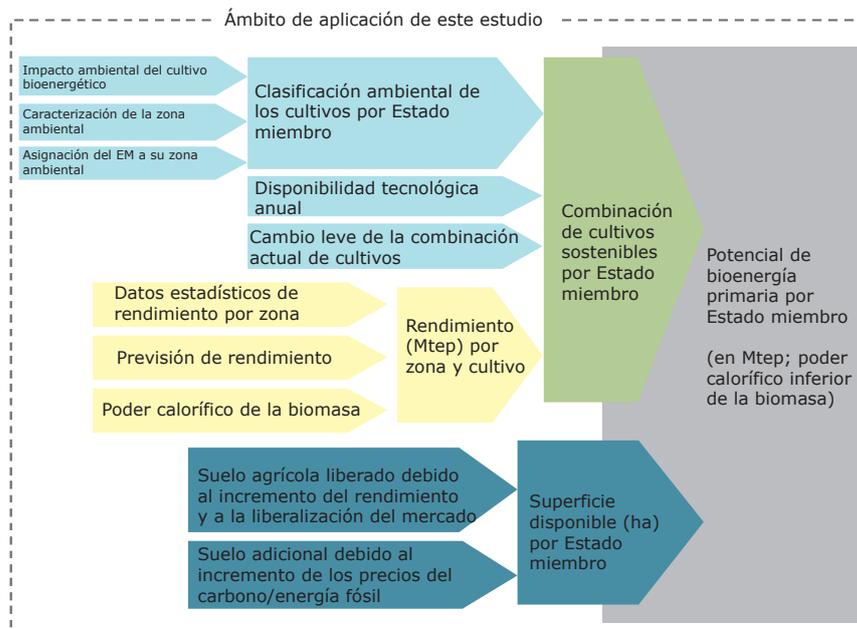
También se tienen en cuenta las hipótesis sobre el *desarrollo tecnológico* por su influencia en la demanda de determinados cultivos bioenergéticos. En la actualidad, la mayor parte del potencial de la agricultura corresponde a cultivos ricos en aceite y almidón que se pueden convertir en biocarburantes. En el futuro se espera que los biocarburantes de primera generación (por ejemplo, aceite vegetal, biodiésel y bioetanol procedente de cereales o remolacha azucarera) sean sustituidos por biocarburantes de segunda generación o biocarburantes sintéticos (BtL) y etanol obtenidos de cultivos lignocelulósicos (etanol+). Además, se utilizará una mayor cuota del potencial bioenergético de la agricultura para la producción de calor y electricidad. Las avanzadas tecnologías de producción de biocarburantes de segunda generación y de calor y electricidad pueden usar varias materias primas, como pastos perennes, bosques de ciclo corto y plantas enteras. Para el cambio desde el etanol tradicional a etanol+ lignocelulósico no es necesaria la creación de plantas de conversión completamente nuevas, y por

esta razón los cereales resultarán en el futuro más atractivos que los cultivos azucareros como materia prima para la producción de biocombustible. Además, la remolacha azucarera tiene una clasificación ambiental relativamente baja y un coste alto <sup>(24)</sup>.

Estas etapas se pueden ilustrar para el caso de los cultivos perennes, que normalmente se caracterizan por su alto rendimiento por hectárea (y por lo tanto, por su elevada eficiencia económica) y sus presiones ambientales relativamente bajas. Por esta razón son cultivos favorables en muchas regiones, siempre que se tengan en cuenta los cambios en la estructura paisajística. No obstante, la agricultura actual se centra en los cultivos anuales. Cabe esperar que el cambio desde una agricultura convencional basada en cultivos anuales, que permite ajustes anuales, hasta otra de cultivos perennes, tardará cierto tiempo. Se asume, por tanto, que las praderas permanentes y la silvicultura de ciclo corto se introducirán paulatinamente, coincidiendo con el aumento de la disponibilidad de las tecnologías de conversión de los biocarburantes de segunda generación a partir de 2010.

En la última etapa, se calculó el potencial bioenergético primario *compatible con el medio ambiente* de la agricultura a partir de la superficie de suelo liberado, las combinaciones sostenibles de cultivos, los rendimientos actuales y las hipótesis sobre sus futuros incrementos. La conversión del potencial de la biomasa en

Figura 3.3 Resumen de las etapas de trabajo



Nota: EM significa Estado miembro.

<sup>(24)</sup> La remolacha azucarera no se considera en ninguna combinación sostenible de cultivos bioenergéticos. No obstante, su inclusión en la combinación de cultivos no cambia significativamente el potencial bioenergético. Un análisis de sensibilidad demuestra que el potencial bioenergético de la agricultura en 2010 incluyendo la remolacha azucarera puede ser un 3% mayor que en el caso *compatible con el medio ambiente*.

potencial energético se hizo usando el poder calorífico inferior (potencia calorífica neta) de la biomasa seca cosechada<sup>(25)</sup>. El resultado final es el rendimiento energético por hectárea de cada cultivo en cada Estado miembro.

### 3.4 Potencial bioenergético compatible con el medio ambiente de la agricultura

#### 3.4.1 Resultados y evaluación

La evaluación muestra que en 2010 se pueden obtener unos 47 Mtep de bioenergía en la superficie agrícola liberada sin crear presiones ambientales adicionales. Esta cifra podría ascender a unos 95 Mtep en 2020 y a 144 Mtep en 2030. La triplicación del potencial se atribuye a lo siguiente:

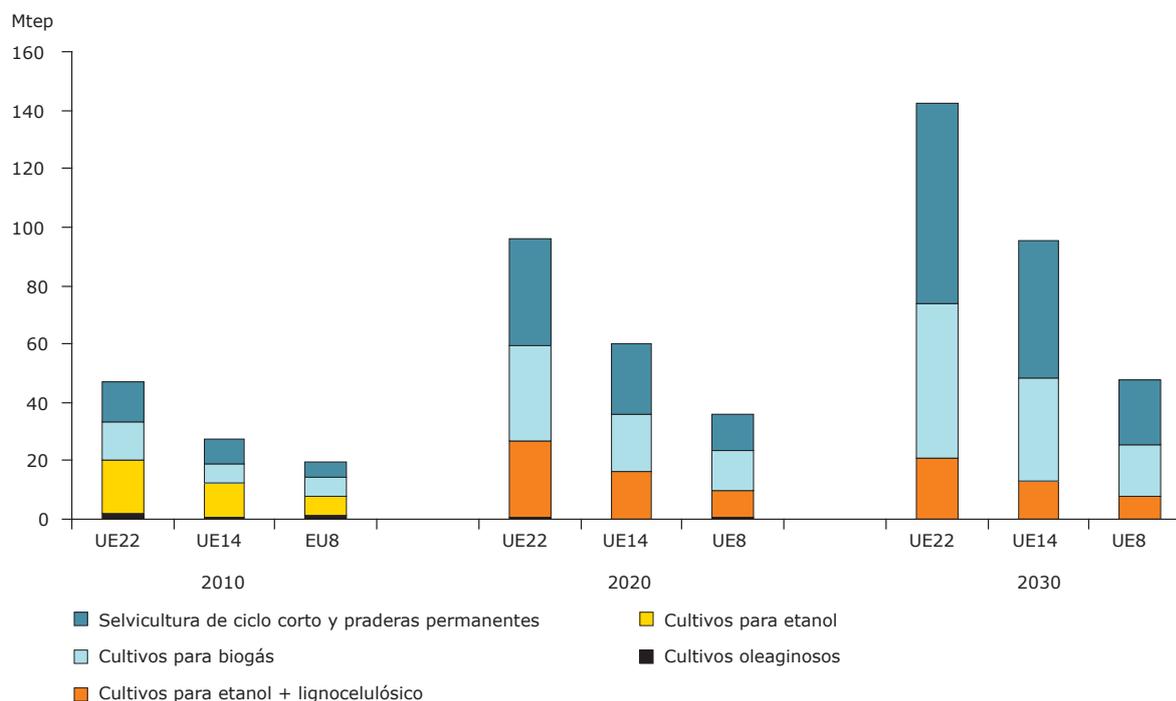
- una combinación del marcado aumento del suelo potencialmente disponible, propiciado por la liberalización de los mercados agrarios y por el incremento de la productividad;
- el incremento del precio de la energía y de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub>;

- un incremento general del rendimiento energético por hectárea, especialmente en el caso de los cultivos bioenergéticos innovadores.

El aumento de rendimiento por hectárea depende principalmente de la introducción de tecnologías avanzadas de conversión de bioenergía desde 2010, lo que permitirá el uso de cultivos de alto rendimiento energético.

Mientras que en 2010 el potencial en la UE15 (sin Luxemburgo) se sitúa un 40% por encima del potencial de los 10 nuevos Estados miembros (sin Chipre y Malta), el potencial podrá casi duplicar el de la UE10 en 2030. No obstante, el consumo total de energía y el consumo de energía para el transporte en la UE10 son mucho más bajos que en la UE15, cabiendo esperar que siga existiendo una diferencia considerable a pesar de las tendencias convergentes (AEMA, 2005a). Por lo tanto, parece realista asumir que algunos de los nuevos Estados miembros exportarán parte de su producción de biomasa (como biomasa o como combustible) a los Estados miembros de la UE15.

Figura 3.4 Potencial bioenergético de la agricultura compatible con el medio ambiente



**Nota:** Sin datos de Chipre, Luxemburgo y Malta. Los "cultivos oleaginosos" incluyen la colza y el girasol. Los "cultivos para etanol" incluyen el potencial de granos de maíz, trigo, cebada/triticale. Los "cultivos para etanol+ lignocelulósico" abarcan el valor energético de toda la planta (grano y paja) para el trigo y la cebada/triticale. Los "cultivos para biogás" son el maíz (planta entera), los sistemas de doble cultivo, pastizal y siega de las praderas permanentes. Los "bosques de ciclo corto y las praderas permanentes" incluyen chopo, sauce, caña (*miscanthus*), alpiste, caña común y sorgo dulce, los cuales pueden ser utilizados con frecuencia en los sistemas de conversión de planta entera como el de gasificación, o en procesos de conversión de la biomasa en biocarburantes líquidos.

<sup>(25)</sup> En el caso de biomasa verde para fermentación (es decir, sistema de doble cultivo o de planta entera de maíz), el poder calorífico inferior se refiere directamente al biogás.

Se prevé que la combinación de cultivos cambie drásticamente con el tiempo. Mientras que en 2010 cerca del 40% del potencial bioenergético de la agricultura estará dedicado a cultivos bioenergéticos para la producción de biocarburantes convencionales, dicho porcentaje disminuirá con rapidez a partir de 2010 como resultado, por una parte, de la clasificación ambiental relativamente baja de algunos cultivos oleaginosos y de almidón (en comparación con las plantas perennes y los sistemas de cultivo dedicados a bioenergía) y, por otra parte, del rendimiento relativamente bajo de los procesos de producción de bioenergía que se centran en la parte oleaginosa y en el almidón de los cultivos, en lugar de utilizar la planta entera.

Con el tiempo, cabe esperar que los bosques de ciclo corto y las praderas energéticas perennes aumenten considerablemente. Estos cultivos combinan un alto rendimiento energético con unas presiones ambientales relativamente bajas. Se irán introduciendo de manera paulatina y notable a partir de 2010, reflejando el periodo de transición del sector agrícola y la disponibilidad de avanzadas tecnologías de conversión de biocarburantes a partir de dicho año. La conversión avanzada puede utilizar una gama más amplia de cultivos. Se espera que aumenten los cultivos utilizados como materia prima para las instalaciones de biogás (por ejemplo, el maíz o los sistemas de doble cultivo) a partir de 2020, cuando el futuro desarrollo tecnológico suponga un aumento de la eficiencia de producción de biogás<sup>(26)</sup>. Como estos cultivos requieren agua suficiente, serán especialmente importantes en los países de la zona atlántica y continental.

En este estudio, las combinaciones de cultivos han sido especificadas a nivel nacional. No se han planteado hipótesis del lugar de implantación de los cultivos de biomasa dentro de cada país. Sin embargo, la hipótesis subyacente ha sido que la mayor parte de los cultivos energéticos se extenderán de acuerdo con la distribución actual de la agricultura convencional. La mayoría de los cultivos bioenergéticos anuales podrán entrar en las rotaciones de los cultivos de las explotaciones agrícolas y se combinarán, por tanto, con los cultivos convencionales de alimentos y piensos. Esto implica que los cultivos de biomasa aumentarán en suelos con distinta productividad (alta y baja), con la consiguiente variación en rendimiento e ingresos obtenidos, como ya viene ocurriendo con los alimentos y los piensos.

El potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de una serie de Estados miembros seleccionados se muestra en la figura 3.5. Aproximadamente el 85% de dicho potencial será producido únicamente en siete Estados miembros (España, Francia, Alemania, Italia, el Reino Unido, Lituania y Polonia). La competitividad económica de los sistemas agrícolas en cada Estado

miembro, junto a la densidad y el tamaño de la población, son los factores principales para determinar el potencial del suelo. Los países con potencial bajo o nulo suelen ser los de alta densidad de población, un sector agrario muy competitivo, SAU limitada y/o una elevada presión global sobre el suelo (por ejemplo, Bélgica y los Países Bajos). En estos casos, las posibilidades de que el suelo agrícola llegue a estar disponible para los cultivos de biomasa son limitadas. En otros países, el bajo potencial se debe a que, aún siendo sustancial la cantidad de suelo liberado, se trata de praderas permanentes, las cuales, de acuerdo con los criterios ambientales establecidos en este estudio, no se pueden transformar en cultivos intensivos de potencial bioenergético. Esto sucede, por ejemplo, en Irlanda, donde el suelo es liberado de praderas permanentes y los cortes de hierba contienen una cantidad relativamente baja de energía por hectárea.

Los Estados miembros con alto potencial bioenergético son los que liberan extensas superficies de suelo como consecuencia de la liberalización de los mercados agrarios. Serán también los Estados miembros donde el aumento de competencia genere volúmenes de producción menores. Alemania y Francia serán la excepción, porque en estos países se asume que es viable una producción de alimentos competitiva para ser exportada fuera de la UE. Por consiguiente, el aumento de la producción de bioenergía en Alemania y Francia será principalmente el resultado de la subida del precio del petróleo y de los derechos de emisión del carbono, lo que hará más atractiva la producción de biomasa en estas áreas, ya que, de lo contrario, se dedicarían a la producción de alimentos para su exportación.

Respecto a la combinación de cultivos, se espera una tendencia hacia cultivos de baja presión y alto rendimiento, que fundamentalmente son los cultivos de biomasa perenne y mayor resistencia a la sequía en los países mediterráneos, especialmente el alpeceño y los pastos. En los países del norte de Europa se incluyen tanto los sistemas perennes como los sistemas anuales de cultivo múltiple y especializado (para la producción de biogás).

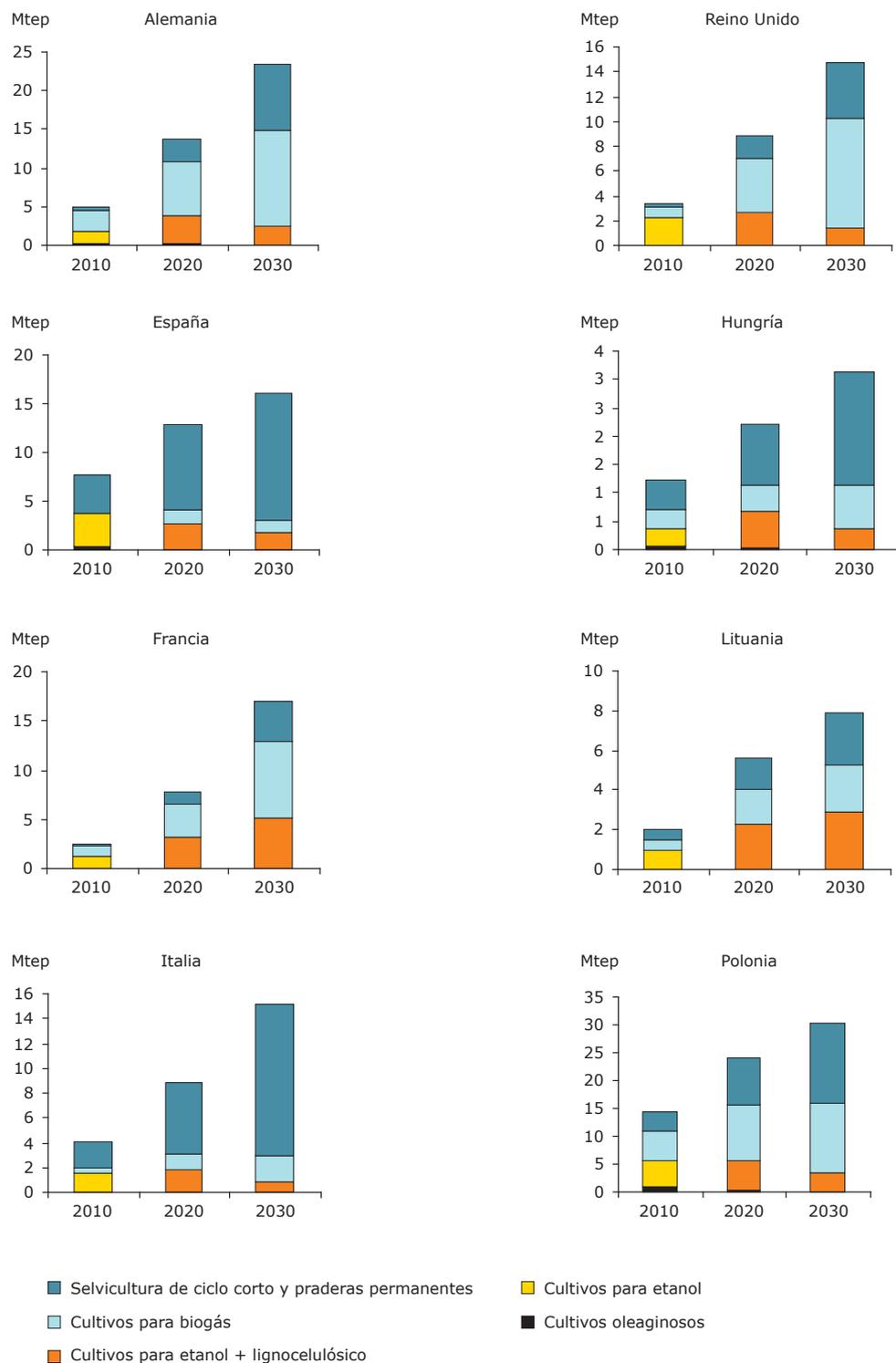
### 3.4.2 Sinergias

Una mayor producción de bioenergía puede implicar un aumento de la presión ambiental, cuando no se aplican unas directrices ambientales claras. Este es el caso particular de la intensificación del uso extensivo actual en tierras de cultivo con alto valor natural. Por otra parte, este estudio indica que hay cierto potencial de sinergia entre el aumento de la producción de bioenergía y la protección de la biodiversidad o la conservación del suelo y de los recursos hídricos. Este potencial debe ser explorado con detenimiento antes de

<sup>(26)</sup> Los "cultivos de biogás" incluyen cereales, cultivos oleaginosos, cortes de hierba, maíz y praderas permanentes. Como los residuos de la producción de biogás (fermentación) retornan al campo, su contenido en nitrógeno se utiliza como fertilizante y los ciclos de nutrientes son prácticamente cerrados, lo que evita el uso de fertilizantes basados en combustibles fósiles. Se estima que el proceso de fermentación será cada vez más eficiente gracias a los avances tecnológicos. También se asume que el biogás se podrá procesar hasta obtener la calidad del gas natural y alimentar los gaseoductos, lo que permitirá un uso generalizado.

## Potencial bioenergético de la agricultura

**Figura 3.5** Potencial bioenergético de la agricultura *compatible con el medio ambiente* en una serie de Estados miembros



**Nota:** Las cifras de Francia y Alemania están basadas en los cálculos de HEKTOR y el resto en los de CAPSIM

su aplicación activa. En este estudio se han identificado las sinergias potenciales siguientes:

- El uso de las siegas de las praderas y pastizales con fines energéticos puede ser una buena oportunidad para mantener la gestión extensiva de las tierras de cultivo, lo que se supone que beneficia la biodiversidad. En particular, la cosecha de hierba para producir bioenergía puede proporcionar ciertos beneficios económicos para la gestión de pastizales y praderas ricas en especies y, por consiguiente, evita el abandono de la tierra y la pérdida de valiosos hábitats abiertos (véase apartado 3.2.2). La siega de pastizales y praderas supone un 6 – 7% del potencial total estimado para la agricultura.
- La producción de bioenergía permite reducir la presión ambiental en comparación con la gestión intensiva de las tierras de cultivo cuando se selecciona la combinación de cultivos y la práctica agrícola adecuada. Esto puede ocurrir especialmente en las áreas de cultivo intensivo, donde la introducción de una cuidadosa selección de cultivos bioenergéticos puede minimizar algunas presiones ambientales y mejorar la estructura del paisaje y la diversidad de usos del suelo.

### 3.4.3 Sensibilidades y consistencias del enfoque

El cálculo del potencial bioenergético de la agricultura depende de una serie de hipótesis claves del escenario, incluyendo:

1. la cuota de la agricultura orientada al medio ambiente
  2. el alto precio de los combustibles fósiles y los derechos de emisión de carbono
  3. el aumento del rendimiento
  4. la restricción del enfoque de la SAU actual
  5. la baja resolución espacial
  6. la selección de los cultivos.
- 1) La aplicación de una cuota mínima de agricultura orientada al medio ambiente influye de manera significativa en el suelo potencialmente disponible para bioenergía, ya que reduce la productividad y, por lo tanto, la producción agrícola total. En 2020, la superficie de tierra de labor en un escenario *compatible con el medio ambiente* es de un 80% de la superficie que estaría disponible en caso de desarrollo sin aumento de la cuota de AOMA y sin áreas de compensación ecológica.
  - 2) Los resultados de este escenario indican que la mayor parte de los Estados miembros de la UE pueden liberar suelo agrícola como consecuencia de la liberalización del mercado y del aumento de los rendimientos. Sin embargo, el efecto de la liberalización de mercado puede no llevar a una liberalización de suelo en los países con un sector agrario competitivo. Por ejemplo, Francia y Alemania

presentan elevados índices de exportación para algunos productos agrícolas seleccionados.

Este estudio consideró la competencia entre los mercados de bioenergía y de alimentos en áreas de exportación, de acuerdo con la hipótesis de una subida del precio de la energía y de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub>. El resultado fue que el excedente de suelo se puede utilizar para la bioenergía a costa del suelo empleado para los cultivos de alimentos/piensos de exportación. El impacto de esta hipotética competencia aumenta el suelo disponible para los cultivos de biomasa en Francia y Alemania en unos 0,4 millones de ha en 2010, con una previsión de casi 5 millones de ha en 2030, lo que equivale a unos 4 y 41 Mtep de bioenergía en 2010 y 2030, respectivamente.

Es probable que el efecto de la competencia sea más pronunciado en Alemania y Francia debido a la agricultura competitiva y su extensa superficie. Por ello, esta restricción del cálculo a sólo dos Estados miembros cubre en gran medida el efecto en toda la UE25, aunque cabe una ligera subestimación. Además, si se hubiera asumido la competencia entre la producción de bioenergía y la de alimentos para uso doméstico, el potencial bioenergético habría subido considerablemente.

- 3) Tanto el potencial de suelo disponible como el potencial bioenergético dependen del supuesto aumento del rendimiento anual. En este estudio, se ha supuesto un aumento de rendimiento de un 1% anual para los cultivos herbáceos convencionales y de un 1 a 2,5% anual para los cultivos energéticos. Suponiendo un aumento de rendimiento menor del 1% para *todos* los cultivos, el potencial bioenergético se reduciría un 2% hacia 2010 y un 13% hacia 2030 (véase la figura 3.6).
- 4) En muchas partes de la UE, especialmente en los nuevos Estados miembros y en el Mediterráneo, existen importantes superficies sin uso agrícola y, por lo tanto, sin reflejo en las estadísticas agrarias, hecho que no se ha tenido en cuenta en este estudio porque el análisis se limita a la SAU. Es probable que en el año 2000, especialmente en los nuevos Estados miembros, la SAU sea menor que la superficie de suelo que puede ser utilizada para la agricultura de labor (CE, 2002b). Esto quiere decir que la cantidad de suelo disponible para la producción de bioenergía evaluada en este estudio puede haber sido subestimada. Debe realizarse un análisis complementario más detallado para estudiar la cantidad y la naturaleza de los terrenos no cultivados o baldíos.
- 5) Las evaluaciones de las combinaciones de cultivos *compatibles con el medio ambiente* y de los aspectos relacionados con la conservación de la naturaleza deben tener en cuenta las circunstancias locales.

En este estudio, sin embargo, las combinaciones de cultivos sólo se han especificado a escala nacional y sin formular otras hipótesis sobre la localización de los cultivos de bioenergía dentro de cada Estado miembro.

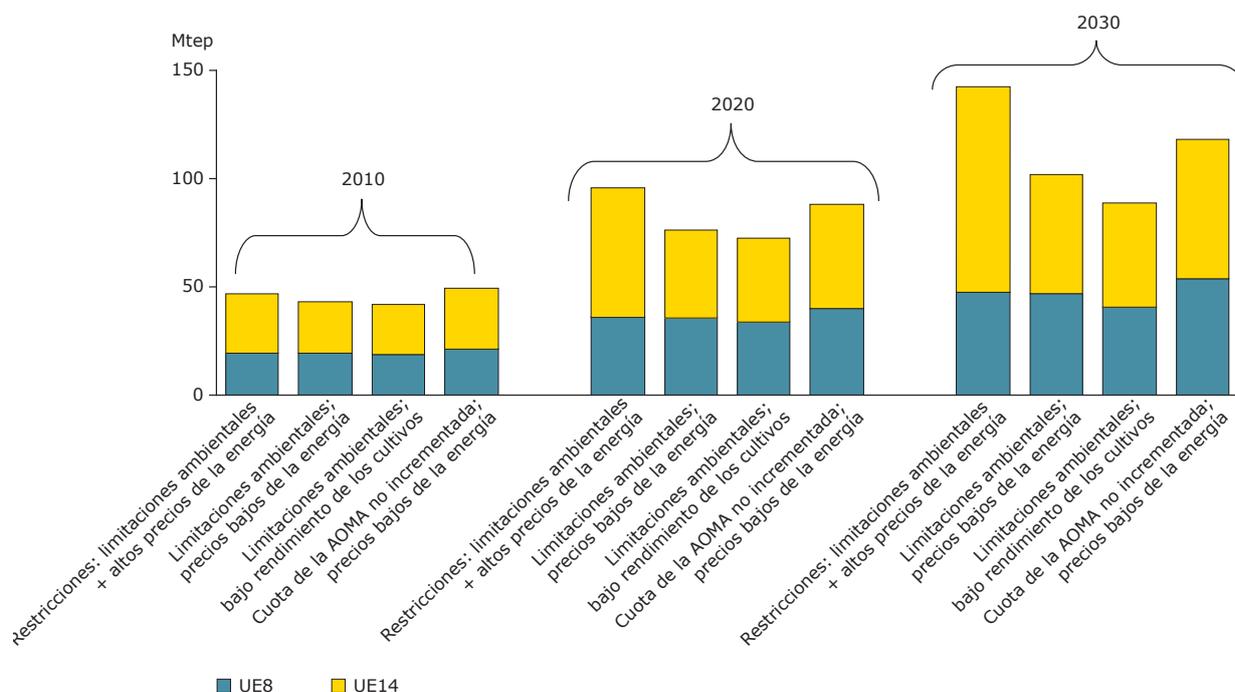
- 6) Las combinaciones sostenibles de cultivos deben entenderse exclusivamente como una orientación acerca de las combinaciones adecuadas para los futuros cultivos bioenergéticos y los sistemas de cultivo. La evaluación subyacente tiene en cuenta la actuación ambiental y, hasta cierto punto, el rendimiento económico de los diferentes cultivos a través de sus rendimientos energéticos. No se han tenido en cuenta otras consideraciones de carácter social o rural, por quedar fuera del alcance de este estudio.

En el caso concreto de las regiones del sur de Europa es necesario investigar más sobre las combinaciones adecuadas de los cultivos de biomasa, ya que

actualmente parece existir un número limitado de cultivos aptos para las regiones áridas. Concretamente, los cultivos herbáceos de biomasa pueden aumentar la extracción de agua. Aunque algunos cultivos permanentes no resultan adecuados para la producción de biomasa en condiciones muy áridas o el aumento del riesgo de incendio, en términos generales son considerados como una opción preferente en estas regiones (AEMA/CCI, 2006).

También es necesario seguir investigando prácticas agrícolas alternativas y nuevas combinaciones de cultivos. La práctica del doble cultivo es un enfoque nuevo que merece más investigación aplicada. Dichas investigaciones prácticas deberían incluir pruebas de campo en diferentes lugares de Europa con combinaciones de cultivos muy diferentes. No deben olvidarse los sistemas agrícolas alternativos, como la agrosilvicultura.

**Figura 3.6 Sensibilidad de los resultados a los cambios en las hipótesis claves**



**Nota:** No se dispone de datos para Chipre, Luxemburgo ni Malta.

# 4 Potencial bioenergético de la silvicultura

## 4.1 Introducción

A pesar de la elevada densidad demográfica de Europa, aproximadamente el 30% de su superficie permanece cubierta de bosques. Se considera que éstos siguen siendo un ecosistema clave para la biodiversidad. Los bosques naturales (aquellos en que no ha intervenido el hombre) contienen generalmente una amplia gama de especies arbóreas y de todo tipo, pero prácticamente todos los bosques de Europa han sufrido influencias antropogénicas más o menos serias a lo largo de la historia. Se acepta, sin embargo, que todos los bosques, incluso las plantaciones de monocultivos, son reservas de biodiversidad (AEMA, 2005b).

La mayor parte de los bosques son, en su medida, económicamente productivos. Aproximadamente el 25% de la superficie forestal está sujeta, no obstante, a restricciones de gestión para garantizar las funciones del ecosistema, como requiere la conservación de la naturaleza en lo relativo a la protección del suelo, el abastecimiento de agua o el recreo al aire libre (MCPFE, 2003a).

Al contrario que en muchas otras partes del mundo, la silvicultura europea extrae madera a una velocidad inferior o igual a la del aumento de las existencias. En la actualidad, los índices medios de tala suponen aproximadamente dos tercios de este aumento. Se supone que la tasa actual de tala ofrece ventajas a la biodiversidad porque los bosques europeos vienen manteniéndose durante más años y recuperándose las fases avanzadas de la sucesión ecológica, actualmente poco representadas. Los árboles grandes y viejos albergan especies cuyo desarrollo vital se concentra en esas fases, además producen madera muerta apropiada para la vida de numerosos organismos. Así, en algunos países, las políticas forestales pretenden aumentar la cantidad de madera muerta de los bosques y, por su parte, la Conferencia Ministerial sobre Protección de Bosques en Europa ha identificado la madera muerta como un indicador de biodiversidad forestal (MCPFE, 2003b).

La **biomasa de la silvicultura** comprende en este estudio los residuos de las operaciones de cosecha que normalmente se dejan en el bosque tras la retirada de la madera de tronco, como la parte superior del tronco, el tocón, las ramas, el follaje y las raíces. Las talas complementarias constituyen fuentes adicionales de bioenergía silvícola. Indican la diferencia entre el nivel máximo sostenible de cosecha y la necesidad real de cubrir la demanda de troza.

En varios países se ha constatado, sin embargo, una tendencia a recolectar restos de biomasa forestal tras las operaciones de cosecha con objeto de generar bioenergía. La diferencia existente entre la tasa de tala y el aumento de las reservas ofrece la oportunidad de utilizar como fuente de energía renovable a la biomasa silvícola que actualmente queda sin explotar. Esta explotación se denomina 'tala complementaria'. Entre los restos de cosecha y las talas complementarias existen grandes diferencias en términos de importancia económica. Mientras que, en términos generales, el valor de la biomasa leñosa procedente de los residuos de la cosecha es bajo, la realización de talas complementarias supone que el propietario del bosque obtenga como mínimo el precio actual de mercado de la madera industrial. En este informe no se ha considerado la biomasa procedente de la silvicultura, de rotación corta como parte de la silvicultura debido a que en la mayoría de los casos ésta tiene lugar en suelo agrícola y, por ello se ha incluido en el capítulo 3.

En este capítulo se aborda la cantidad de residuos forestales y de talas complementarias disponibles cuando se aplican directrices ambientales al aumento del uso de la biomasa en silvicultura. Estas directrices tratan de asegurar que no se crearán presiones ambientales adicionales. Por otra parte, se ha estimado de forma aproximada el efecto de unos precios elevados de bioenergía en las industrias competidoras. El enfoque que se ha seguido es el siguiente:

1. Formulación de una serie de criterios destinados a evitar una presión excesiva sobre el medio ambiente.
2. A partir de tales criterios, se hace la evaluación de la idoneidad de cada emplazamiento para la extracción de residuos (mediante la elaboración de mapas de idoneidad de alta resolución basados en datos espaciales; figura 4.1) y la adaptación de las cuotas de extracción a los criterios ambientales.
3. Determinación del potencial regional del recurso silvícola a partir de los residuos forestales no utilizados y de las talas complementarias. Para esto es necesario definir la demanda futura de madera.
4. Combinación del esquema de clasificación de idoneidad con información sobre las previsiones de recursos forestales, con objeto de calcular los potenciales de las extracciones de residuos *compatibles con el medio ambiente*.
5. Incorporación de los criterios ambientales relacionados con las talas complementarias mediante reducción del nivel máximo sostenible de cosechas y cálculo del potencial *compatible con el medio ambiente* de las talas complementarias.
6. Estimación del potencial adicional que podría reorientarse desde las industrias relevantes en caso de que suban los precios de la bioenergía.

## 4.2 Consideraciones ambientales

### 4.2.1 Posibles presiones ambientales de la producción de bioenergía

Los bosques, y concretamente los residuos forestales y la madera muerta, desempeñan importantes funciones ambientales. Por ejemplo, constituyen una fuente de nutrientes para el suelo, regulan los flujos hídricos contribuyendo a evitar la erosión del suelo y conforman hábitats para determinadas especies. La retirada de biomasa en silvicultura, bien como producción de madera o para consumo energético, puede tener un impacto negativo sobre algunas de estas funciones. Importa, por tanto, que el aprovechamiento de los residuos forestales o de las talas complementarias utilizados como bioenergía no supongan un aumento notable de la presión ambiental actual que representa el uso de los recursos forestales.

Aparte de estos impactos ambientales, la retirada de biomasa puede también implicar beneficios, como la reducción del riesgo de incendios o la menor pérdida de nutrientes. En el estudio no se han considerado estos beneficios adicionales, potencialmente positivos, por lo que el potencial bioenergético de la silvicultura compatible con la conservación del medio ambiente puede tildarse de conservador.

**Biodiversidad.** Se admite que los bosques europeos son importantes reservas de biodiversidad porque ofrecen hábitats para gran variedad de organismos. En la mayor parte de los países europeos, una proporción significativa del suelo forestal se explota actualmente con menor intensidad que en siglos anteriores. Ocurre que, desde una perspectiva a medio plazo, la silvicultura industrial está avanzando de forma que podría ser favorable para la biodiversidad (AEMA, 2006a). Los principios de la Gestión Forestal Sostenible (MCPFE, 2006) y el uso moderado, en relación con el aumento de las existencias, han creado condiciones consideradas favorables para la diversidad biológica en muchos casos, y aumentado el porcentaje de madera muerta en el bosque. El aumento de la extracción de residuos forestales, así como las talas complementarias, podrían derivar hacia una intensificación del uso de los recursos forestales, poniendo en peligro la conservación de la naturaleza en estos bosques. La extracción de residuos afecta también a la composición de la flora y la fauna por homogeneización del hábitat y alteración más intensa del suelo. No obstante, existen también bosques creados por el hombre que no se clarean porque no hay demanda del mercado y por los bajos precios. En tales casos, el clareo para el uso de la biomasa supone la oportunidad de apertura de plantaciones forestales coníferas habitualmente muy densas y, de este modo, mejorar el hábitat de estos bosques para muchas especies.

Cada vez encuentra más aceptación la teoría de que una cierta cantidad de madera muerta por hectárea es un importante factor para la protección de la biodiversidad

de los bosques (Humphrey *et al.*, 2004, Schuck *et al.*, 2004). Los troncos muertos de gran diámetro son especialmente importantes. Aunque la retirada de los restos de madera finos y pequeños tiene también efecto sobre la biodiversidad (Kruys y Jonsson, 1999), existen muchas más especies que dependen de los árboles grandes muertos (Schuck *et al.*, 2004). En la actualidad, en muchos países europeos la cantidad de madera muerta es baja, sobre todo la de los bosques de producción. Por consiguiente, es importante dejar una parte de los residuos, madera muerta y árboles viejos al extraerlos o realizar talas complementarias, a fin de no aumentar la presión sobre la biodiversidad.

**Fertilidad local.** La retirada de biomasa de los bosques representa siempre una exportación de nutrientes. Las diferentes partes del árbol contienen distintos niveles de nutrientes. Generalmente, la concentración más baja de nutrientes está en la madera y la más alta en el follaje. Por consiguiente, el impacto nutricional de la extracción de biomasa de los bosques está muy influido por la cuota de extracción y por la cantidad de follaje y pequeñas ramas que se dejan en el lugar. La reposición natural de nutrientes debida a la oxidación química natural y a la descomposición de origen microbiano, así como la deposición atmosférica, varía según los tipos de suelo y región. Los nutrientes minerales se encuentran en el suelo de forma natural por efecto de la oxidación y descomposición y su disponibilidad está relacionada con la productividad del lugar. En general se entiende que no habrá problemas de productividad local cuando se elimina biomasa leñosa en los bosques gestionados con niveles de explotación sostenibles. La utilización de los restos procedentes de la cosecha forestal podría ser perjudicial para la productividad del lugar sin una fertilización compensatoria en lugares pobres, como es el caso de las turberas (Richardson *et al.*, 2002; Sverdrup y Rosen, 1998). Es importante dejar el follaje en el lugar, incluso en suelos fértiles. Por esta razón es ventajoso excluir las ramas pequeñas y el follaje de la extracción de biomasa. En las especies de coníferas, esto puede conseguirse mediante la extracción de residuos una vez están ya secos, que permite la caída de las acículas antes de la retirada de los troncos y del astillado. En el caso de las especies de frondosas, la cosecha debería realizarse durante los meses de invierno (Richardson *et al.*, 2002).

Parte de la superficie forestal europea está sujeta a la deposición de nitrógeno transportado desde grandes distancias (AEMA, 2006a). La extracción de los restos de las talas puede eliminar una cantidad importante de nitrógeno (Samuelsson, 2002). A escala regional, la exportación de nutrientes con los residuos forestales podría tener, por tanto, un efecto positivo en ciertos ecosistemas forestales si tienen ya una carga de nitrógeno elevada.

**Erosión del suelo.** El suelo es uno de los componentes más frágiles de los ecosistemas forestales. Los residuos de la tala disminuyen la exposición directa del suelo al agua de lluvia, al sol o al viento y, por tanto, reducen el riesgo de erosión.

Las modernas tecnologías de tala deberían tener en cuenta medidas para reducir el daño a los suelos forestales. Los efectos negativos derivados del uso de maquinaria pesada pueden incluir la compactación del suelo y una mayor erosión. Al cosecharse la madera, se elimina una proporción mucho más alta de biomasa respecto a los métodos de cosecha tradicionales. Esto significa inevitablemente una mayor intervención y transporte en los lugares talados. Las 'buenas prácticas' pasarían por dejar las raíces de los árboles intactas en el suelo y utilizar una parte de las ramas como 'alfombras' en las rutas de transporte de las sacas para proteger el suelo, lo que supondría un límite a las cuotas excesivas de extracción de biomasa.

**Protección del agua.** Los restos de tala y la madera muerta desempeñan una función relevante en la regulación de los flujos hídricos en el ecosistema forestal y actúan como filtros para mejorar la calidad del agua. Esto lo hacen mediante captación y almacenamiento de cantidades importantes de agua y reducción del agua de escorrentía en las laderas. La cosecha de biomasa podría reducir considerablemente el potencial regulador de estos flujos.

Los bosques situados en áreas de protección hidrológica se gestionan normalmente con una intensidad baja, es decir, evitándose talas a gran escala ('cortas a hecho'), previniendo aumentar el riesgo de arroyadas propias de precipitaciones de gran intensidad y la pérdida de nutrientes por percolación y exportación superficial asociada al uso intensivo de la biomasa, lo que también podría agudizar la acidificación de las masas de agua.

#### 4.2.2 ¿Cómo se puede evitar el aumento de las presiones ambientales?

Para evitar el aumento de las presiones ambientales derivadas de la producción de bioenergía en silvicultura se han aplicado una serie de criterios, entre ellos los siguientes <sup>(27)</sup>:

1. No intensificar el uso en las superficies forestales protegidas.
2. Dejar siempre el follaje y las raíces intactos en el lugar.
3. Optar por una cuota de extracción de restos de troncos y ramas en función de las características del lugar.

En relación con las talas complementarias, para las que se consideró la cosecha dedicada a la bioenergía, se han evaluado los criterios adicionales siguientes:

4. Reducción del 5% de la superficie disponible para el suministro de madera en cada Estado miembro, a fin de propiciar un aumento en las zonas protegidas

5. Reserva del 5% del volumen de la madera en forma de árboles sueltos y pequeños grupos de conservación tras la cosecha, para aumentar el número de árboles de diámetro grande y de madera muerta.

**1. No debería intensificarse el uso en las zonas forestales protegidas.** Una parte importante de la superficie forestal europea está protegida con fines de conservación, bien por la legislación nacional o por la Red Natura 2000 de la Comunidad Europea. Actualmente el 11,7% de los bosques europeos está protegido (MCPFE, 2003). Las restricciones legales impuestas por esta protección varían desde una prohibición total de la intervención hasta la ausencia de limitaciones para una gestión sostenible. En este último caso, se puede asumir que sólo está permitida una gestión de bajo impacto, lo que es especialmente importante en el sur de Europa, donde se han incluido extensas áreas de bosques en Natura 2000.

**2. Dejar el follaje y las raíces intactos en el lugar.** Los residuos forestales proporcionan nutrientes al suelo, reducen su riesgo de erosión, regulan los flujos hídricos del ecosistema forestal y mejoran la calidad del agua. Esto lo hacen mediante la captación y el almacenamiento de cantidades importantes de agua y la reducción de la escorrentía en las laderas. Se formuló la hipótesis central de dejar el follaje en el lugar porque es el que contiene la mayor concentración de nutrientes y representa aproximadamente el 20% de toda la biomasa de los restos en superficie. Además, se ha asumido que las raíces deben dejarse siempre intactas para prevenir la erosión del suelo y su alteración.

**3. Cuota de extracción de residuos específica para cada lugar.** La extracción de residuos se adaptó a la 'idoneidad ambiental' del lugar, teniendo en cuenta las funciones de los residuos en el ecosistema forestal. En los lugares con mayor riesgo de erosión del suelo, valorado en función de una medición combinada de pendiente y elevación del suelo, una cuota de extracción de restos reducida es la apropiada para protegerlo de la erosión.

Como los residuos proporcionan nutrientes, su extracción debería adaptarse a la fertilidad del suelo del lugar. La saturación en bases y otros caracteres dependientes del tipo de suelo son indicadores apropiados para conocer la fertilidad del suelo. El primero se relaciona con el grado de acidez del suelo; una saturación en bases baja corresponde a suelos ácidos y una menor disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales. El reciclaje de la ceniza puede aumentar hasta cierto punto la idoneidad de la extracción de recursos de los suelos pobres en nutrientes. Este efecto ha sido analizado en un caso de sensibilidad (sección 4.4.3).

<sup>(27)</sup> Estos criterios ambientales se formularon en una reunión de expertos de la AEMA celebrada en marzo de 2005 y están basados en el trabajo de WWF Hungría y de Solagro, en representación del Centro Temático Europeo de Biodiversidad (véase [http://www.efi.fi/projects/eea\\_biodiversity/results/constraints.html](http://www.efi.fi/projects/eea_biodiversity/results/constraints.html)), y aportaciones del Centro Temático Europeo de la Atmósfera y el Cambio Climático de la AEMA.

La protección del suelo frente a la compactación se ha valorado mediante análisis de idoneidad del lugar en función del régimen hídrico del suelo y, en su caso, de la presencia de turberas.

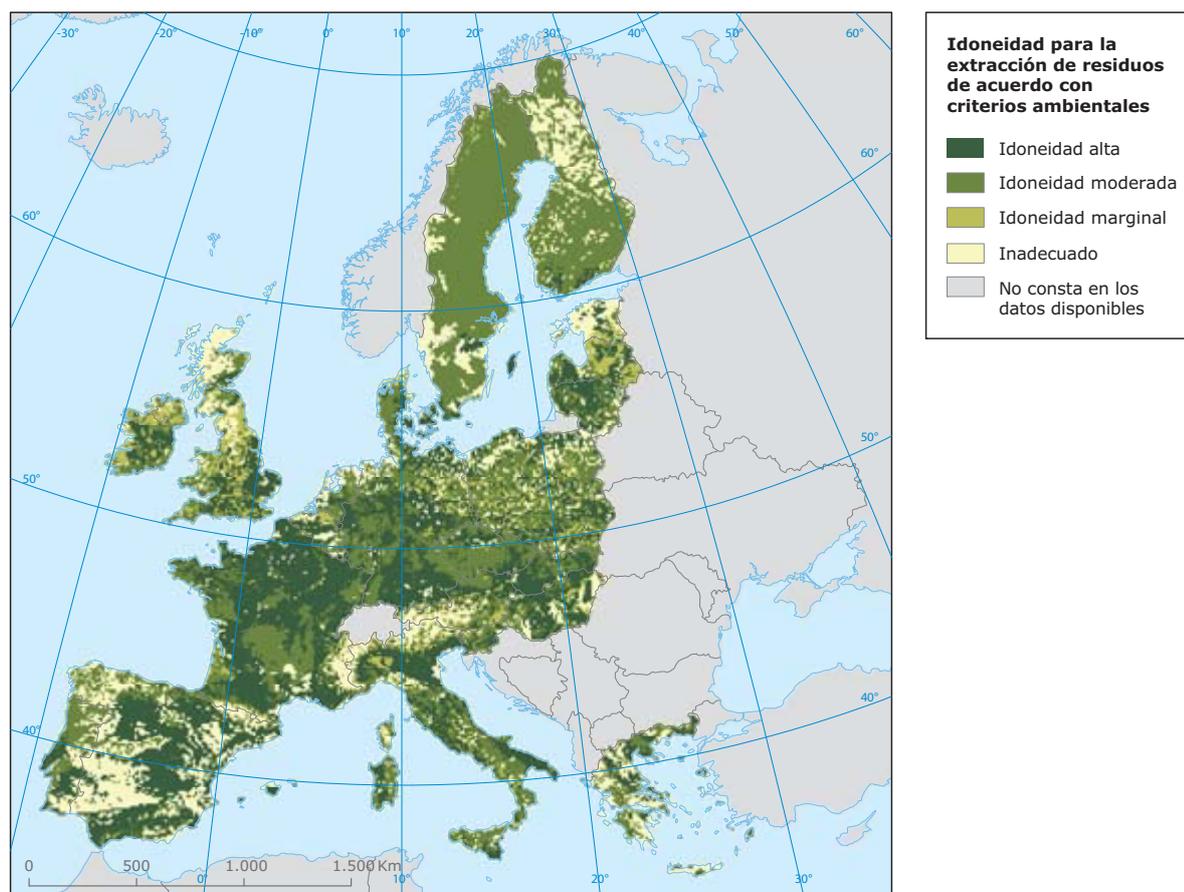
La idoneidad del lugar debe definirse con suma precisión. En el estudio se utilizaron varias 'capas' de información sobre el territorio para elaborar un mapa de idoneidad con resolución de 1x1 km para toda Europa. El mapa es el resultado de combinar información sobre tipos de suelo y datos de altitud. Se basa en dos fuentes de información: datos espaciales sobre fertilidad, erosión y compactación del suelo obtenidos de la Base de Datos de Suelo europea (cuadrícula de 10x10 km) del *European Soil Bureau Network* (<http://eusoils.jrc.it/>), datos de altitud derivados de la misión topográfica *Shuttle Radar Topography Mission* y del conjunto de datos del estudio geológico GTOPO30 de los EE.UU. (aproximadamente 1x1 km).

El máximo potencial de extracción de residuos del tronco y de las ramas (excluido el follaje) se fijó en un 75% para los lugares de idoneidad alta y en un 50% o

15% para los lugares de idoneidad media o marginal, respectivamente. No se supuso el 100% de extracción ni siquiera en los lugares de idoneidad alta (tabla 4.1). La hipótesis se formuló para tener en cuenta la exclusión de microhábitats sensibles o no aptos, y también porque el hecho de dejar algunas ramas como alfombras en las rutas de los vehículos de transporte es una buena práctica. Sin una fertilización compensatoria, el follaje debería dejarse siempre en el bosque, por ello, los porcentajes anteriores corresponden al 60%, 40% y 12% del total de la biomasa de residuos superficiales.

**4. Aumento de la proporción de superficie forestal protegida.** La producción de bioenergía en los bosques no debería contrarrestar un posible desarrollo futuro del sector forestal respetuoso con el medio ambiente como, por ejemplo, mediante el aumento de la proporción de zonas forestales protegidas, algo que se ha considerado esencial para lograr una biodiversidad elevada. Por ello, se supuso un aumento de las zonas forestales protegidas y una reducción del 5% de la superficie forestal disponible para el suministro de madera en cada país.

**Figura 4.1 Idoneidad para la extracción de residuos de acuerdo con criterios ambientales**



**Nota:** El mapa de idoneidad indicado no tiene en cuenta la fertilización como opción para los suelos pobres en nutrientes. Si se considerara el reciclado de ceniza en regiones con suelos podsoles, la cuota de idoneidad sería más alta, especialmente en Finlandia y Suecia. Tampoco se han tenido en cuenta los posibles efectos ambientales positivos de la extracción de nutrientes en superficies con elevada deposición atmosférica de nitrógeno, aunque esto podría aumentar la idoneidad para la extracción de residuos, especialmente en algunas partes de Bélgica, Dinamarca, norte de Francia, Alemania, norte de Italia, Países Bajos, Polonia y sur de Suecia.

**5. Aumento de la cuota de madera muerta.** Una parte importante de la biodiversidad de los bosques europeos puede depender de la madera muerta. Se supuso que después de la cosecha se dejarían en el lugar los árboles adultos y muertos. Se asumió que se conservarían en pie el 5% del volumen como árboles de conservación más o menos aislados después de la cosecha. Esto implica un volumen adicional de madera muerta en los bosques gestionados de 9 m<sup>3</sup>/ha como media europea.

Si se combinan los dos factores señalados, se reduce un 10% el volumen total máximo sostenible de la cosecha. En algunos países, esto significó que no había potencial adicional para las talas complementarias en comparación con las cosechas actuales.

Existen otras muchas consideraciones ambientales o impactos indirectos que no fue posible incorporar en el análisis de este trabajo. Por ejemplo:

- Valores paisajísticos y de protección de los paisajes culturales tradicionales. Estos aspectos podrían imponer también una restricción sobre la utilización de determinadas superficies forestales para talas complementarias, especialmente en zonas de importante valor recreativo.
- En muchos casos, el papel de los residuos forestales se orienta a proteger la regeneración de los bosques naturales tras la explotación.
- La época de la cosecha puede influir considerablemente en el impacto ambiental de la gestión. La cosecha en superficies forestales sensibles debería programarse en función de las necesidades de las especies a proteger de las alteraciones o en función de la sensibilidad del suelo a la compactación en condiciones adversas (ausencia de heladas, condiciones muy húmedas o secas).

Además, las prácticas de gestión forestal podrían tener, en principio, un impacto importante sobre el potencial bioenergético de la biomasa forestal a largo plazo. No obstante, en la escala de tiempo considerada en este estudio, la influencia de cambios de gestión favorables para el medio ambiente –como, por ejemplo, el aumento de la proporción de frondosas– en el potencial de recursos forestales es probable que sea pequeño, puesto que no afectará al lugar hasta dentro de 30 o 40 años, una escala que rebasa el horizonte temporal del estudio. En la mayoría de los casos, la eliminación de biomasa hasta 2030 estará relacionada con generaciones de árboles plantados hace varios decenios.

### 4.3 Enfoque: metodología y desarrollo del escenario

Los potenciales de recursos de la biomasa de los bosques europeos para 2010, 2020 y 2030 se cuantificaron en un escenario *compatible con el medio ambiente* (que evite el aumento de las presiones ambientales). El potencial de la biomasa depende de los residuos forestales procedentes de las talas periódicas, talas complementarias y residuos forestales procedentes de estas últimas. El potencial bioenergético se determina principalmente en función de la demanda del mercado de troza, puesto que la competencia entre la producción de bioenergía y el uso tradicional de la madera está condicionada por la dinámica de los precios. No obstante, asumiendo la subida de los precios de la energía y de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> para 2030, la situación podría cambiar. El potencial bioenergético suplementario ha podido calcularse sólo de forma aproximada.

**Tabla 4.1 Clasificación de los umbrales de idoneidad de un lugar para la extracción de sus residuos forestales**

	<b>Idoneidad alta</b>	<b>Idoneidad moderada</b>	<b>Idoneidad marginal</b>	<b>Inadecuado</b>
<b>Nivel de extracción de residuos</b>	<b>75%</b>	<b>50%</b>	<b>15%</b>	<b>0%</b>
<b>Erosión del suelo</b>				
Pendiente	< 5° ( < 9%)	5°–10° (9–18%)	10°–25° (18–47%)	> 25° ( > 47%)
Altitud	< 1.500 m	< 1.500 m	< 1.500 m	> 1.500 m
<b>Compactación del suelo</b>				
Turbera	No	No	Peat	
Régimen hídrico del suelo	Húmedo a una profundidad de 80 cm, < 6 meses	Húmedo a una profundidad de 80 cm, < 6 meses	Húmedo a una profundidad de 80 cm, > 6 meses	Húmedo a una profundidad de 40 cm, > 11 meses
<b>Fertilidad del suelo</b>				
Saturación en bases en el humus en el subsuelo	> 50% > 50%	< 50% < 50%		
Tipo de suelo (FAO85 Lv1)	Cambisol; Chernozem Podzolvisol; Kastanozem Rendzina; Gleysol Phaeozem; Fluvisol Luvisol; Greyzem Andosol; Vertisol; Ciudad	Podzol Inundado	Histosol Ferralsol Planosol	Ranker; Arenosol Lithosol; Xerosol Solonchak; Regosol Acrisol; Solonetz Marjal

**Nota:** Celdas con sombreado gris: debe cumplirse el criterio (Y). Sin sombreado: el criterio es opcional (O).

### 4.3.1 Hipótesis del escenario

La cantidad de residuos forestales explotables o reservados en el bosque depende directamente de la demanda de madera de tronco. Por otra parte, las talas complementarias son inversamente proporcionales a la demanda de esa madera. De manera que éste es el principal motor del potencial silvícola disponible. La demanda se calculó a partir de estadísticas de la FAO y se aplicó un ligero aumento de la misma de 2006 en adelante. Esto es coherente con las hipótesis generales del estudio (capítulo 2). El desarrollo posterior de la demanda se basó en las previsiones para Europa de la OCDE (*Image Team*, 2001), a su vez basadas en la línea de desarrollo B2 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Este escenario sugiere un aumento en la demanda de madera del 20% entre 2000 y 2030.

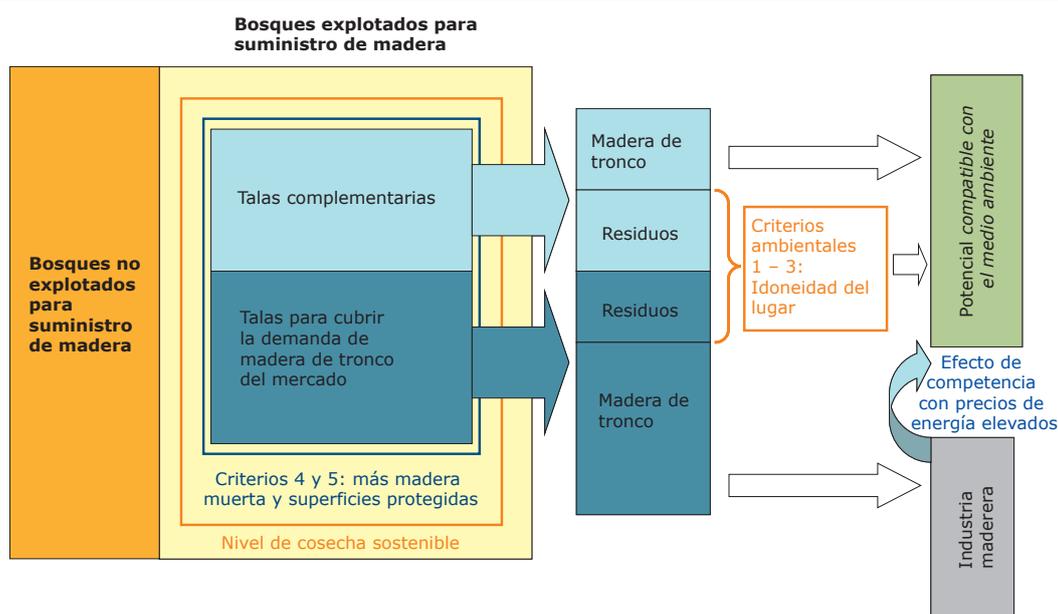
Para determinar la cantidad de residuos derivados de la demanda prevista de madera de tronco es necesario conocer la proporción entre el volumen de troncos y la biomasa total del árbol (tronco, ramas, follaje, raíces finas y gruesas). Esto varía considerablemente entre las distintas especies, clases de edad y condiciones de crecimiento. En el estudio se utilizaron factores de expansión de biomasa dependientes de la edad y de la especie. Estos factores fueron elaborados en el marco del proyecto CarboInvent (Joanneum *et al.*, 2005) para Alemania, Finlandia, Suecia, Irlanda y Austria, y se han aplicado también a otros países para este estudio.

El potencial bioenergético procedente de las talas complementarias se define como la diferencia entre el nivel máximo sostenible de cosecha y la cosecha real. La cosecha máxima sostenible se calculó a partir

de la fórmula de Heder (1841, Nachhaltshiebsatz, o nivel de cosecha sostenible), cuyo objeto es igualar la distribución por clases de edad (superficies iguales en cada clase de edad) y ofrecer un aumento constante de cosecha. Esta fórmula se sugiere por el Consejo de Manejo Forestal (FSC), entre otros, como indicador de sostenibilidad. El nivel máximo sostenible de la cosecha se redujo en un 10% para tener en cuenta el aumento asumido para zonas forestales protegidas, de los árboles de gran diámetro y de la madera muerta en bosques gestionados.

Es probable que una subida de los precios de los derechos de emisión y de los combustibles fósiles haga subir el precio que se esté dispuesto a pagar por la madera utilizada para producir energía. Actualmente se pueden observar ya algunas señales del efecto de los elevados precios de la energía en el sector forestal e industrias madereras. La línea de desarrollo general asumió una subida del precio del petróleo hasta 62 EUR por barril (que incluye el precio de la energía y el de los derechos de emisión asumido). Esto daría lugar a un potencial energético forestal adicional, porque el valor de mercado de la biomasa forestal para la producción de bioenergía ha aumentado (véase el anexo 3). El efecto de competencia se estimó mediante la asignación de recursos de madera a distintas ramas industriales, incluidas las industrias bioenergéticas, de acuerdo con los principios de oferta y demanda del mercado de la madera. La cantidad de biomasa se transformó en potencial bioenergético a través de la potencia calorífica neta (véase el anexo 5).

Figura 4.2 Esquema del enfoque de flujos de biomasa en silvicultura



### 4.3.2 Modelos

Se utilizó el modelo de escenario EFISCEN (*European Forest Information Scenario*, Escenario Europeo de Información Forestal) para la previsión del posible desarrollo futuro de los recursos forestales en la Unión Europea (Karjalainen *et al.*; 2002, Nabuurs *et al.*, 2003; Päivinen *et al.*, 1999). El modelo se basa en los datos del Inventario Forestal Nacional. En el análisis del escenario sólo pudieron incluirse 21 de los Estados miembros de la UE25 porque no se disponía de datos de inventarios adecuados de Grecia, Luxemburgo, Malta y Chipre.

El modelo EFISCEN simula únicamente la superficie forestal disponible para el suministro de madera. Se excluyeron del análisis los bosques improductivos y las reservas naturales. De esta forma, se aplicaron intrínsecamente los criterios ambientales relativos a la no intensificación de las zonas protegidas <sup>(28)</sup>. Probablemente, la mayor parte de la superficie no disponible para el suministro de madera se hubiera clasificado como no apta o con idoneidad marginal para la extracción de residuos. Sin embargo, parte de la misma podría haber constituido un recurso adicional para el uso de la biomasa. Esto significa que los resultados proporcionan una estimación conservadora de la superficie forestal que se puede utilizar para la extracción de biomasa.

Las previsiones de recursos de EFISCEN están impulsadas por la demanda de troza del mercado, lo que determina la cantidad de talas. De acuerdo con las previsiones del modelo, la demanda iguala a la oferta cuando existe volumen suficiente para los claros o para las talas finales. En caso contrario, la oferta sería inferior a la demanda. Los resultados se obtienen a escala NUTS2 regional para la mayoría de los países. En los casos de España, Italia, Portugal, los Países Bálticos, Eslovenia y Eslovaquia, los datos del Inventario Forestal Nacional no permitían una distinción entre regiones.

Para calcular los residuos y las talas complementarias se han usado las hipótesis ambientales descritas en la sección 4.2.2, de forma que en el cálculo de los potenciales de residuos forestales sólo se tuvieron en cuenta los residuos del tronco (parte superior) y las ramas, suponiéndose que el follaje y las raíces permanecerían en el bosque. Las talas complementarias se calcularon con el 'nivel máximo reducido' de cosecha sostenible.

La aplicación del mapa de idoneidad específico del lugar (figura 4.1) para determinar las cuotas adaptadas de extracción de residuos requería que los resultados de EFISCEN fueran particularmente más explícitos

en términos espaciales. Para esto se utilizó el mapa forestal de Europa (Päivinen *et al.*, 2001; Schuck *et al.*, 2002), que ofrece información sobre la proporción de los bosques con una resolución de 1x1 km. Se supuso que los potenciales de existencias y de recursos de la biomasa por unidad de superficie forestal estaban distribuidos de forma homogénea dentro de las regiones de EFISCEN. Esta hipótesis es menos problemática en aquellos países donde podían distinguirse varias regiones del Inventario Forestal Nacional (por ejemplo, centro Europa). Sin embargo, en los casos de España e Italia, el modelo EFISCEN consideró el país como un todo, por lo que los resultados de estos países deben interpretarse con cautela (tanto el potencial total como la distribución regional).

A continuación, se superpuso el mapa de disponibilidad sobre el mapa forestal. Los potenciales de extracción específicos de cada lugar se vincularon con los recursos sin restricción calculados en el modelo EFISCEN. Como resultado se obtuvieron los potenciales de recursos de la biomasa, correspondientes a cada píxel del mapa forestal. El potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de los residuos forestales derivados de la demanda de madera de tronco y de las talas complementarias de las regiones NUTS2 se calculó añadiendo los potenciales energéticos basados en la cuadrícula al nivel de las regiones NUTS2.

El efecto de competencia, en consecuencia con la subida de los precios de los combustibles fósiles, se calculó con el modelo EFI-GTM, un modelo global de equilibrio parcial y regionalizado para las industrias forestales y de silvicultura (Kallio *et al.*, 2004). Su función principal es ofrecer un análisis coherente sobre cómo y cuánto podrían cambiar con el tiempo la producción, el consumo, las importaciones, las exportaciones y los precios de la troza y los productos forestales industriales. Los cambios pueden ser una respuesta a variaciones de factores externos, como los índices de crecimiento económico, las normas comerciales o la demanda de productos de madera en el mercado mundial. Con el EFI-GTM pudo, pues, calcularse la competencia entre el uso de la madera para la generación de energía y para otros fines. Conforme aumente el valor de mercado de la bioenergía, las virtutas de madera que ahora utilizan los fabricantes de planchas y la industria papelera se destinarán a la generación de bioenergía.

<sup>(28)</sup> Una comparación por países reveló que las superficies forestales *no disponibles* para el suministro de madera eran superiores a la superficie forestal de los lugares propuestos por Natura 2000 para todos los países salvo Alemania, Países Bajos y Bélgica. La diferencia era pequeña en el caso de Alemania, en tanto que los otros dos países representan solamente una pequeña proporción de los recursos forestales de la UE. Puesto que es posible que algunos lugares de Natura 2000 no restrinjan la gestión forestal y dado que no se ha tenido en cuenta el aumento de las superficies forestales derivado de las actividades de repoblación forestal, se llegó a la conclusión de que el modelo incluía estos criterios de forma adecuada. Por tanto, no se aplicó ninguna otra restricción para tener en cuenta las zonas protegidas en la evaluación de los residuos forestales.

#### 4.4 Potencial bioenergético compatible con el medio ambiente de la silvicultura

##### 4.4.1 Resultados y evaluación

Se estima que el potencial bioenergético compatible con el medio ambiente procedente de los residuos de la silvicultura girará en torno a los 15 Mtep en 2010, ascendiendo a 16,3 en 2030. Sumando las talas complementarias y los residuos derivados de las mismas, se podrían obtener 28 Mtep adicionales en 2010 y aproximadamente 23 Mtep en 2030. El aumento de los residuos forestales derivados de las talas periódicas se debe a un aumento en la demanda de productos forestales tradicionales. Al mismo tiempo, el aumento en el nivel de cosecha de productos tradicionales implica un descenso en el potencial de talas complementarias.

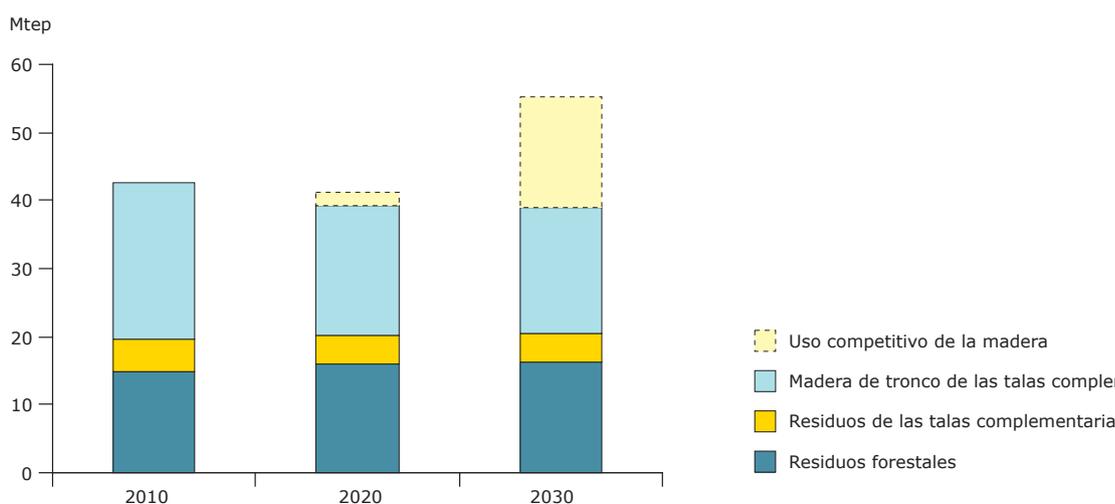
Si se asume una subida de los precios de las energías fósiles, para 2030 se podrían utilizar importantes cantidades adicionales de recursos de biomasa leñosa para la bioenergía, en lugar de destinarlos a las industrias competidoras. El aumento en los valores de mercado de la bioenergía implicaría la movilización de recursos de biomasa leñosa para la generación de bioenergía desde otras industrias competidoras que explotan actualmente la madera. El potencial energético derivado del uso competitivo de la madera aumentaría de unas 2 Mtep en 2020 hasta más de 16 Mtep en 2030<sup>(29)</sup>, sobre todo a costa de la producción de pulpa y de papel. De acuerdo con las hipótesis sobre los precios, la producción de pulpa y de papel podría descender

aproximadamente un 5% en 2020 y hasta un 38% en 2030. Esto implicaría una reducción similar de la lejía negra procedente de la producción de pulpa y papel (véase el capítulo 5).

Podría existir un potencial adicional de biomasa de silvicultura en Grecia y, en menor medida, en Luxemburgo, Malta y Chipre, que no se han incluido en el análisis por falta de datos. Aunque no se ha tenido en cuenta tampoco la superficie forestal actualmente en expansión de la UE, puede considerarse que proporcionará biomasa suplementaria. No obstante, esto será importante especialmente hacia finales del periodo considerado y más adelante. Por otra parte, podrían extraerse 2 Mtep adicionales de residuos forestales si se tuviera en cuenta el reciclaje de ceniza (véase la sección 4.4.3).

En el análisis no se incluyeron los posibles impactos del cambio climático ni del creciente contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico sobre el crecimiento forestal. Hoy por hoy, estos factores parecen estimular el crecimiento forestal y, por consiguiente, podrían aumentar el potencial de biomasa disponible, especialmente la procedente de los bosques de Europa central y del norte (véase el capítulo 2). Unas mejores prácticas de gestión forestal podrían aumentar la productividad de los bosques. No obstante, el estándar relativamente alto de gestión forestal en Europa significa que este potencial es relativamente pequeño. Cabe destacar asimismo que con una revisión de las estrategias de gestión, un determinado porcentaje de talas complementarias podría provenir de clareos

**Figura 4.3 Potencial bioenergético compatible con el medio ambiente de los bosques**



**Nota:** En los cálculos se incluyen los Estados miembros de la UE25, salvo Chipre, Grecia, Luxemburgo y Malta.

<sup>(29)</sup> El valor de la energía de las virutas de madera se estimó en 64 EUR/m<sup>3</sup> en 2020 y en 94 EUR/m<sup>3</sup> en 2030 (véase el anexo 3). Si se asume un precio del petróleo más alto como, por ejemplo, 50 EUR por barril, el potencial reorientado de las industrias competidoras aumentaría a 6 y 33 Mtep en 2020 y 2030, respectivamente.

precomerciales, que no compiten con el uso tradicional de los recursos forestales.

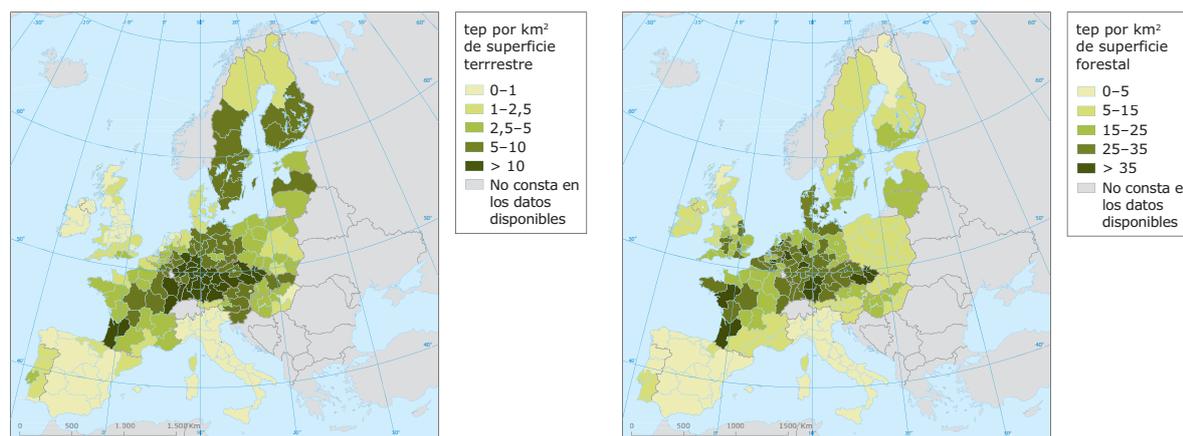
En la figura 4.4 se muestra la distribución espacial del potencial energético *compatible con el medio ambiente* de los residuos forestales en el ámbito de NUTS2. El mapa de la izquierda muestra el potencial energético por superficie. En el de la derecha se indica el potencial energético de los residuos forestales por superficie forestal, que caracteriza la densidad media de los recursos en los bosques disponibles por unidad de superficie forestal.

Se puede observar que la alta densidad de recursos por unidad de superficie forestal no coincide necesariamente con los recursos forestales extensivos en las regiones NUTS2. Las densidades de recursos más altas para los residuos forestales se localizan en Europa central y en el Reino Unido, pero la cuota media de bosques en la superficie terrestre total es más alta en Europa del

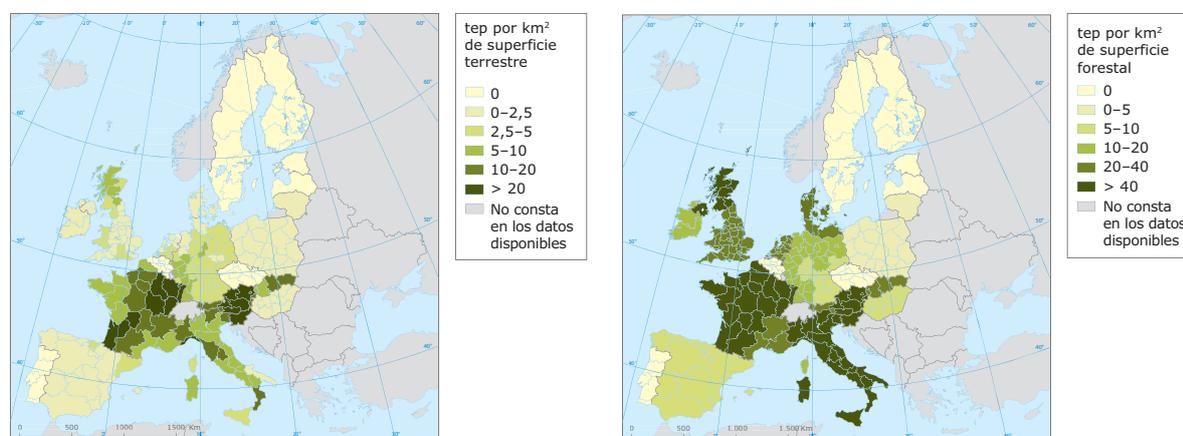
norte. El sur de Suecia y Finlandia se caracterizan por un elevado potencial energético, dado, principalmente, el alto porcentaje de superficie forestal en estos países, mientras que la media del volumen de biomasa es más alta en Europa central.

El potencial de extracción de residuos es generalmente bajo en la región mediterránea. Esto se debe, en parte, a las limitaciones existentes, como clima y suelos consecuentemente improductivos, y también a la baja densidad de la biomasa. No obstante, la extracción de residuos podría tal vez ser beneficiosa en algunos casos para prevenir los incendios forestales. No se ha incluido ningún potencial adicional derivado de las medidas de prevención de incendios, debido a la falta de datos sobre los volúmenes afectados y a la importancia regional de esta práctica. Además, el potencial total del Mediterráneo puede haberse subestimado, porque en las bases de datos de recursos forestales no se incluyeron otras superficies forestales y terrenos boscosos no disponibles

**Figura 4.4** Potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de los residuos en 2030



**Figura 4.5** Potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* de las talas complementarias en 2030



**Nota:** El potencial correspondiente a Chipre, Grecia, Malta y Luxemburgo no se pudo modelar. La distribución regional del potencial dentro de España e Italia debe interpretarse con cautela debido a las limitaciones de los datos regionales.

para el suministro de madera. Ambas categorías de suelo podrían desempeñar un papel importante al proporcionar biomasa para la generación de bioenergía en el Mediterráneo, donde hay una extensa superficie clasificada como 'otras superficies boscosas'.

En la figura 4.5 se presenta la distribución espacial de los potenciales energéticos *compatibles con el medio ambiente* procedentes de las talas complementarias en 2010. Existe un potencial considerable para aumentar las talas en muchas partes de Europa, sobre todo en Europa central, Italia, Francia y el Reino Unido. En España se utiliza solamente un pequeño porcentaje del aumento para la tala y, por tanto, el nivel de talas podría crecer considerablemente.

En Portugal, Bélgica, Estonia y Letonia, el nivel máximo sostenible de cosecha se ha alcanzado ya o incluso se ha sobrepasado con la tala periódica. Asimismo, en el norte de Europa (República Checa y Hungría) se está utilizando ya un alto porcentaje del aumento. Por consiguiente, no quedaría más potencial de tala disponible si se dirige más atención a la protección de la naturaleza y de la biodiversidad.

### 4.4.2 Sinergias

La eliminación de biomasa para producir energía puede ofrecer también otros beneficios ambientales. Por ejemplo, la exportación de nutrientes con residuos forestales puede tener un efecto positivo en ciertas superficies forestales con una elevada carga de nitrógeno. La extracción de residuos de las talas puede eliminar una importante cantidad de nitrógeno (Samuelsson, 2002). Esto contrarresta la acumulación de nitrógeno que puede resultar de la pérdida de nitrógeno por lavado (lixiviación), la comentada acidificación del suelo y los cambios en la vegetación.

El potencial adicional de este efecto se estimó mediante análisis de sensibilidad. Se detectaron ganancias relevantes en el potencial de extracción de residuos debido a la deposición atmosférica de nitrógeno en países como Dinamarca, Países Bajos, Alemania, Francia, Polonia y el sur de Suecia. El potencial bioenergético adicional giraría en torno a los 0,6 – 0,7 Mtep para la UE durante el periodo de tiempo analizado.

Los residuos leñosos de la cosecha y la madera muerta constituyen un singular riesgo de incendio en los países mediterráneos. La eliminación de biomasa para la producción de bioenergía podría por tanto, ayudar a reducir ese riesgo y facilitar su extinción si se declaran. Además, la biomasa derivada de la creación de cortafuegos es aprovechable y añade valor comercial a esta operación.

Si bien, en términos generales, se considera que la baja utilización del aumento anual ha creado buenas condiciones para la diversidad biológica, algunos bosques creados por el hombre no se han clareado. Esto

se debe a la falta de demanda de mercado y a los bajos precios. En tales casos, el clareo para la obtención de la biomasa podría suponer una oportunidad de apertura de plantaciones de coníferas muy densas y mejoraría el valor del hábitat de estos bosques para determinadas especies.

### 4.4.3 Sensibilidades y consistencias del enfoque

En esta sección se abordan algunas de las limitaciones del enfoque empleado y se comparan los resultados con los de otros estudios. Las limitaciones se pueden dividir en tres áreas:

1. selección y cuantificación de las restricciones ambientales (concretamente, el efecto de la fertilización);
  2. restricciones asumidas del modelo y
  3. disponibilidad de datos.
1. Existe relativamente poca información sobre el vínculo entre la intensidad de la gestión en relación con la extracción de bioenergía y los efectos tanto en determinadas especies consideradas amenazadas como en la diversidad biológica. Por ello, las hipótesis utilizadas en el estudio pudieran no representar el equilibrio óptimo entre la conservación de la naturaleza y la producción de biomasa. Esto también puede aplicarse a otros temas ambientales, como la protección de las cuencas fluviales y el control de inundaciones, para los que la falta de información ha impedido la inclusión de estos criterios. Por último, el mapa de suelo europeo disponible no abarca toda la superficie terrestre del mapa forestal, de manera que las superficies forestales que no quedaban incluidas se excluyeron del análisis.

Las restricciones ambientales más importantes para la extracción de residuos estaban relacionadas con: (i) la pendiente y elevación de las regiones montañosas; (ii) el régimen hídrico, especialmente en el norte de Finlandia, los Estados Bálticos y el norte del Reino Unido; y (iii) la fertilidad del suelo en la mayor parte de las regiones restantes. En comparación con un desarrollo sin restricciones ambientales, el potencial *compatible con el medio ambiente* de los residuos es aproximadamente un 40% inferior.

La fertilidad del suelo fue, por sí sola, el criterio que más restringía la extracción de residuos. Casi un 20% de la superficie forestal de la UE21 recibió una clasificación de idoneidad moderada por la baja saturación en bases, pese a su idoneidad de acuerdo con los restantes atributos relevantes.

Si se considerara la fertilización como una opción para compensar la exportación de nutrientes en suelos con poca saturación en bases, se obtendría un potencial adicional de los residuos forestales.

Este potencial se ha estimado en un análisis de sensibilidad en el que se asumió la aplicación de fertilizantes en los suelos tipo podsoles. Estas superficies pasarían a tener una idoneidad alta, en lugar de moderada, con un aumento del potencial de extracción (si no se aplicasen otras restricciones). Se calculó que el potencial adicional ascendía a 2 Mtep, equivalente a, aproximadamente, el 12% del potencial total procedente de los residuos de la cosecha sin fertilización compensatoria. La mayor parte de este potencial adicional se daría en Suecia y Finlandia. Si bien la aplicación de fertilizantes inorgánicos puede ser criticada por las emisiones de combustibles fósiles relacionadas con sus procesos de producción y el efecto colateral negativo del aumento de emisiones de N<sub>2</sub>O del suelo, la aplicación de ceniza de madera podría ser una alternativa interesante (Ingerslev *et al.*, 2001).

- En el análisis no se tuvo en cuenta el aumento de la superficie forestal. Entre 1999 y 2000, la media de repoblación forestal en la UE ha sido de, aproximadamente, 360.000 ha anuales. Se espera que esta tendencia se mantenga (EURuralis, 2004). No obstante, en una importante cantidad de esta superficie se han plantado especies de frondosas de crecimiento lento y pasarán unos 30 – 40 años hasta que se pueda obtener una cantidad importante de biomasa de estas superficies repobladas. La situación sería distinta si se plantaran cultivos forestales de crecimiento rápido y rotación corta. Aunque esto no entraba en el alcance de este estudio, podría añadir un potencial suplementario a los resultados. Una ganancia similar en la superficie forestal europea es la derivada del rebrote espontáneo, aunque su aprovechamiento no es inmediato.

Debido a las restricciones del modelado, no se incluyeron las plantaciones de eucalipto en el estudio. En Portugal constituyen cerca del 20% de la superficie forestal total. Si se asume una media de productividad de 15 t de peso anhidro de biomasa por hectárea con un 10% de residuos, éstos podrían representar un potencial suplementario de residuos de aproximadamente 0,4 Mtep.

- Los datos subyacentes relativos a los recursos forestales de los inventarios forestales nacionales sólo aparecían de forma agregada a escala regional. El mapa forestal europeo indica dónde están ubicados los bosques en cada región. Por ello se asumió que las existencias estaban distribuidas de forma homogénea dentro de las regiones del modelo EFISCEN. Esta situación no coincide con la realidad, porque existen diferencias entre los tipos de bosques y los regímenes de gestión en las regiones.

Como consecuencia, el potencial local de extracción de biomasa puede desviarse de la media regional representada en los mapas y las tablas.

Chipre, Grecia, Luxemburgo y Malta no se incluyeron en este estudio debido a la falta de datos en los inventarios. Mientras las superficies forestales de Chipre, Luxemburgo y Malta son pequeñas, son en cambio muy extensas en Grecia, donde la mitad de la superficie está cubierta por bosques y otros terrenos boscosos. Por tanto, se puede asumir de forma realista un potencial adicional, aunque pequeño, en Grecia (0,3 Mtep).

También existen limitaciones de acceso a los datos espaciales necesarios para especificar algunos criterios ambientales. Concretamente, existe una falta de información espacial coherente sobre todos los bosques protegidos de Europa y sobre las actividades de gestión permitidas en las distintas superficies protegidas.

La poca resolución espacial de los datos disponibles en el ámbito europeo a menudo dificultó la definición y la cuantificación de los criterios ambientales. Por ejemplo, las capas cartográficas del suelo tienen una cuadrícula de 10 km y unos rangos de clase bastante amplios. Esto representa un problema de consideración, especialmente en lo relativo a la fertilidad del suelo.

La poca resolución del modelo digital cartográfico en relación con las curvas de nivel a escala europea se traduce en una representación deficiente de la superficie forestal con pendientes pronunciadas. Esto se vio compensado, en parte, por la introducción de un filtro de altitud, que mostró que los lugares muy elevados (> 1.500 m) no eran aptos para la extracción de residuos. Sin embargo, con una resolución de 0,8x0,8 km no es posible detectar características más pequeñas del paisaje, que restringen la aplicación de la tecnología que permitiría la utilización eficiente de los recursos.

A pesar de las restricciones en los datos subyacentes y de las limitaciones del modelo, los resultados de este estudio se mantienen en la misma línea que otros que comparan definiciones similares de los potenciales (tabla 4.2). El potencial teórico *no compatible con el medio ambiente* residual de este estudio es similar al de un estudio de Siemons *et al.* (2004). Este trabajo informa sobre potenciales más altos que en el estudio EFFECT (Meuleman *et al.*, 2005), porque se ha centrado en evaluar los potenciales de los recursos sin tener en cuenta la viabilidad económica de la extracción o la accesibilidad de los recursos. Ambos factores reducirían el potencial de uso estimado de los recursos de la biomasa procedente los residuos forestales.

Sólo hay otro estudio en el que se aporta una estimación separada del potencial de la biomasa de las talas complementarias, el de Karjalainen *et al.* (2004). En él se habla de una diferencia entre el aumento y las talas en la UE25 de aproximadamente 186 millones de m<sup>3</sup> al año.

## Potencial bioenergético de la silvicultura

Sin las restricciones ambientales, este estudio calculó un potencial para las talas complementarias de 162 millones de m<sup>3</sup> en 2010 (aproximadamente 32 Mtep), lo que encaja razonablemente bien con la estimación arriba indicada.

**Tabla 4.2 Comparación de los resultados sobre los residuos forestales con otros estudios**

Referencia	Cobertura geográfica	Potencial energético de los residuos forestales en Mtep		
		2000/2005	2010	2020
Este estudio, potencial compatible con el medio ambiente	UE13	11,0	11,5	12,3
	UE21	14,3	14,9	15,9
Este estudio, base de referencia sin restricciones ambientales	UE13	18,1	18,9	20,3
	UE21	24,1	25,1	26,8
Bioenergy's role in the EU Energy Market — A view of developments until 2020 (Siemons <i>et al.</i> , 2004)	UE15	17,5	19,3	21,3
Bioenergy's role in the EU Energy Market — Biomass availability in Europe (Nikolaou <i>et al.</i> , 2003)	UE14	14,8		
Estimation of Energy Wood Potential in Europe (Karjalainen <i>et al.</i> , 2004)	UE25	12,4		
Effect: EU forest for renewable energy to mitigate climate (Meuleman <i>et al.</i> , 2005)	UE15	3,2		

**Nota:** La UE13 comprende los Estados miembros de la UE15 excepto Grecia y Luxemburgo; la UE21 comprende los Estados miembros de la UE25 excepto Chipre, Grecia, Luxemburgo y Malta; la UE14 comprende los Estados miembros de la UE15 excepto Luxemburgo.

# 5 Potencial bioenergético de los residuos

## 5.1 Introducción

A medida que ha ido aumentando el nivel de vida, la sociedad europea ha ido generando cada vez más residuos. Cada año se generan en Europa alrededor de 1.800 millones de toneladas de residuos. Esto incluye los residuos y materiales de desecho procedentes de los hogares, del sector comercial, de la industria, de la agricultura, de la construcción y la demolición, de las actividades mineras y canteras y de la generación de energía. Pese a que los datos existentes sobre la generación de residuos son incompletos, se sabe que están aumentando los flujos de residuos importantes, y que los niveles globales de generación de residuos también están creciendo.

Con la generación de grandes cantidades de residuos, resulta crucial que éstos se gestionen de forma que se minimicen los daños al medio ambiente y la salud humana. Para lograr estos objetivos, en la política comunitaria se establecen principios globales sobre la gestión de los residuos<sup>(30)</sup>, uno de los cuales es el principio de jerarquía en su gestión. Dentro de lo establecido en dicho principio, las estrategias de gestión de residuos deben estar diseñadas principalmente para prevenir su generación y reducir su nocividad.

En el Quinto Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente se reforzó el objetivo de reducir el volumen de residuos generados, que es a su vez una de las prioridades del Sexto Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente. En aquellos casos en que la reducción de los residuos no es posible, los materiales desechados han de ser reutilizados, reciclados o recuperados (por ejemplo, mediante el compostaje) o utilizados como fuente de energía (por ejemplo, mediante la digestión anaerobia o la incineración con recuperación de energía). En última instancia, los residuos deben ser eliminados de forma segura.

Los biorresiduos, es decir, los residuos de origen biológico, son una parte importante de los residuos generados. Se pueden utilizar para generar energía contribuyendo a mitigar el cambio climático. En este capítulo se tienen en cuenta los flujos de residuos procedentes de la agricultura, la industria y los hogares. Los residuos de la silvicultura se incluyen en el capítulo 4 y en el capítulo 3, dedicado a la agricultura, se trata el material de siega de praderas y pastizales.

En este capítulo se evalúa el potencial primario de producción de energía a partir de biorresiduos, respetando al mismo tiempo el principio de jerarquía de residuos indicado en el cuadro anterior. Además, en este

Los **biorresiduos** comprenden los residuos y subproductos, y residuos de origen biológico, procedentes de la agricultura, la industria y los hogares. En este estudio se han tenido en cuenta los flujos de residuos que se indican a continuación:

- Residuos sólidos agrícolas — cereales y paja de colza, tallos de girasol y restos de la poda de viñedos y olivos;
- Otros residuos agrícolas — parte aérea de las patatas y la remolacha;
- Estiércol húmedo — estiércol de vacas, cerdos y gallinas ponedoras;
- Estiércol seco — estiércol de gallinas de engorde;
- Residuos sólidos urbanos (RSU) — el componente de los residuos sólidos urbanos de origen biológico (principalmente residuos de jardinería y cocinas, papel y cartón, pero también el componente de otras fracciones de residuos de origen biológico);
- Lejía negra — subproductos líquidos procedentes de la industria productora de papel y pulpa;
- Residuos de la transformación de la madera — residuos de madera en forma de serrín y virutas procedentes de la transformación primaria de la madera (aserraderos) y de la transformación secundaria de la madera (por ejemplo la fabricación de muebles);
- Madera de la construcción/demolición — madera procedente de la construcción de edificios y madera recuperada durante la demolición;
- Residuos de madera de embalaje — procedente de la industria de embalaje y palets (de palets, cajones, etc.);
- Residuos de madera de los hogares — procedente de artículos como muebles viejos o vallado;
- Lodos de depuradora;
- Residuos de la industria alimentaria — residuos procedentes de la industria láctea y azucarera y de la producción de vino y cerveza.

<sup>(30)</sup> véase <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/index.htm>

apartado se concluye que un aumento en la demanda de bioenergía no perjudicará a los objetivos relativos a la reducción de residuos. Por último, las hipótesis realizadas son coherentes con los criterios ambientales y macroeconómicos utilizados en las evaluaciones de la agricultura y la silvicultura.

## 5.2 Consideraciones ambientales

### 5.2.1 Presiones ambientales potenciales derivadas de la producción de bioenergía

A diferencia de los cultivos bioenergéticos, los biorresiduos y los residuos no se producen específicamente para ser utilizados como fuente de energía y tampoco desempeñan importantes funciones ambientales. Actualmente ya se producen cantidades importantes de biorresiduos, que son el resultado de la actividad económica y de la producción de bienes en casi todos los sectores de la economía. Como esta generación de cualquier manera, la utilización de los biorresiduos para actividades de recuperación de energía no supone un aumento de las presiones ambientales. De hecho, la utilización de biorresiduos para la recuperación de energía en vez de otras opciones de gestión, como son la disposición en vertederos, reducirá algunas de las presiones ambientales asociadas. Además, ofrecerá beneficios relacionados con la producción de bioenergía (como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero)<sup>(31)</sup>.

Asumiendo una subida de los precios de los derechos de emisión de carbono, el valor económico de la bioenergía producida a partir de los biorresiduos aumentará con el tiempo. Esto podría reducir los incentivos destinados a minimizar la producción de biorresiduos (por ejemplo, mediante la ampliación de la vida útil de los productos biológicos, minimizando el embalaje). También podría atraer parte de los flujos de biorresiduos que actualmente se reciclan (por ejemplo, el papel procedente de los residuos sólidos urbanos o la madera procedente de escombros utilizada para la producción de aglomerado) o para los que existe otro mercado (por ejemplo, residuos agroalimentarios destinados a piensos pasan a ser utilizados como recursos energéticos). Esto puede aumentar las presiones ambientales, ya que el reciclado de algunos residuos es generalmente más beneficioso desde el punto de vista ambiental que la incineración (por ejemplo, el estudio sobre el papel: AEMA, 2006b).

### 5.2.2 ¿Cómo se puede evitar el aumento de las presiones ambientales?

Para evaluar el potencial energético de los biorresiduos se han asumido los siguientes criterios ambientales:

1. Una ambiciosa minimización de los residuos.
2. No existe recuperación energética de los residuos que se reciclan o reutilizan.
3. Todos los residuos domésticos que actualmente se depositan en vertederos o compostados estarán disponibles para la producción de energía.
4. La fabricación de productos de madera/derivados de la madera y del papel desciende en consonancia con los escenarios de conservación de la naturaleza.
5. Aumento de prácticas agrícolas extensivas, que influirán sobre la disponibilidad de residuos agrícolas.

**1. Una ambiciosa minimización de los residuos:** Los residuos domésticos se reducen un 25% con respecto a un escenario sin cambios.

Tal como se indicaba anteriormente, uno de los objetivos principales de la política comunitaria en materia de residuos es evitar que se generen. En el caso de los residuos domésticos, la UE, en su Quinto Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente, estableció el objetivo de estabilizar, para el año 2000, la generación de residuos urbanos a 300 kg por persona y año, que era el nivel medio de la UE en 1985. Este objetivo no se ha alcanzado y la cantidad media de residuos urbanos generados en muchos países de Europa occidental ha superado los 500 kg por persona y año. Asimismo, el Sexto Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente contempla la prevención y la gestión de residuos como una de sus cinco prioridades, con el objetivo de conseguir una reducción global de los volúmenes de residuos generados.

En este análisis se asumió que en el futuro se deberá realizar un gran esfuerzo para reducir los residuos de origen doméstico. Para el 2030, la generación de residuos domésticos debería ser un 25% inferior a la de un escenario habitual<sup>(32)</sup>. Esto quiere decir que si no se produjeran cambios, la cantidad media de residuos sólidos urbanos por persona y año sería de 475 kg en lugar de los 633 kg

**2. No existe recuperación energética de los residuos que se reciclan o reutilizan.** Las fracciones de los flujos de residuos que actualmente se reciclan o se reutilizan no se consideran disponibles para su uso como recurso energético. Estos flujos incluyen el papel desechado que se recicla; la paja reutilizada en la agricultura y los residuos agroalimentarios que se reutilizan como piensos animales. Se asumió, por ejemplo, que un 37% de la paja no estará disponible para la producción de energía en el escenario compatible con el medio ambiente (y un 33% en el escenario habitual) porque se utiliza para otros fines, como cama del ganado o malhojo. Respecto a la parte aérea, se estimó una disponibilidad del 17% en el caso de la patata y del 2% en el de la remolacha. Se consideró que entre un 10% y un 50% de los residuos

<sup>(31)</sup> La combustión de biorresiduos (así como la de otras materias primas de la biomasa) puede generar emisiones de contaminantes atmosféricos, especialmente si se mezclan con materiales contaminados con metales pesados

<sup>(32)</sup> Esta hipótesis se elaboró en una reunión de expertos de la AEMA (véase también Gewiese *et al.*, 1988).

de la industria alimentaria están disponibles para la producción de energía (dependiendo de la fuente), dado que el resto ya se utiliza en la industria (por ejemplo, como aportes para otros productos alimenticios o como piensos animales).

**3. Se asume que todos los residuos domésticos que actualmente se incineran o se depositan en vertederos sin recuperación de energía, estarán disponibles para la incineración con recuperación de energía.** Además, se asume que otros residuos con similar composición que actualmente son compostados, son digeridos anaeróbicamente primero con el objeto de permitir la recuperación de la energía. Después, el producto digerido se destina a compostaje.

El depósito en vertederos y la incineración sin recuperación de energía son las opciones menos adecuadas en una jerarquización en la gestión de residuos, porque ofrecen oportunidades mínimas o nulas para la recuperación útil de los recursos (ya sea para materiales o energía) de los residuos<sup>(33)</sup>. Por tanto, en este estudio se asume que todos los residuos que actualmente son depositados en vertederos pasan a estar disponibles como recursos para incineración con recuperación de energía. Como consecuencia, el tratamiento de estos residuos sube de nivel en la jerarquía de residuos.

La directiva relativa al vertido de residuos exige la separación del contenido biodegradable de los residuos sólidos urbanos (CE, 1999). La cantidad de residuos urbanos biodegradables que van a parar a vertederos ha de reducirse en el futuro de modo que, para 2016 (2020 en aquellos países que actualmente tengan una gran dependencia de los vertederos) sólo el 35% de los residuos urbanos biodegradables podrán ser depositados en vertederos.

Algunos Estados miembros cuentan con una legislación nacional más estricta y han prohibido el vertido de todos los residuos biodegradables en los vertederos. Algunas alternativas al depósito de los residuos en vertederos (por ejemplo los tratamientos biológicos mecánicos y el compostaje) ofrecen posibilidades de recuperación de los materiales, pero no de la energía. En su lugar, se supone que todos estos residuos se digerirán anaeróbicamente. El producto de esta digestión derivado del proceso podría pasar a estar disponible (tras una maduración posterior, si fuera necesario) como compost. Esto permite la recuperación de biogás para la generación de energía procedente de los residuos así como la recuperación de materiales (compost), mejorando así el aprovechamiento global de los recursos que poseen los residuos.

**4. Coherencia con el sector forestal.** Se asume que la producción de productos y derivados de la madera y del papel (y por tanto los residuos procedentes de la

transformación de los mismos) crece a un ritmo lento comparado con un escenario habitual. Este crecimiento es coherente con la conservación de la naturaleza y con una mayor atención a la reducción, reciclaje y reutilización de residuos, acorde con la línea de desarrollo del escenario. Además, esta hipótesis coincide con las planteadas para el sector de la silvicultura.

**5. Coherencia con el sector agrario.** Tal y como se indica en el capítulo 3, el 30% de la superficie agraria útil (20% en ciertos Estados miembros) debería utilizarse para la agricultura orientada al medio ambiente (AOMA) para 2030. Esta hipótesis se plantea también con vistas a la estimación de los biorresiduos agrícolas. Esto influye en la disponibilidad de algunos residuos agrícolas. Por ejemplo, en los sistemas de agricultura extensiva y ecológica se asume un mayor uso de la paja para las camas del ganado en comparación con la agricultura intensiva tradicional (véase más arriba).

### 5.3 Enfoque: metodología y desarrollo del escenario

En este informe se tuvieron en cuenta una amplia variedad de flujos de biorresiduos. La disponibilidad de información relativa a las cantidades actuales de biorresiduos y a las previsiones de generación futura difería considerablemente entre los distintos flujos de residuos. Por ello, se utilizaron tres enfoques distintos (figura 5.1) para estimar la disponibilidad presente y futura de recursos dentro de un escenario *compatible con el medioambiente*. Los tres enfoques se describen a continuación:

- 1) Para los residuos sólidos urbanos y los residuos de la construcción y la demolición, las previsiones de generación de residuos se enmarcaban en un escenario sin cambios. Los efectos de los criterios ambientales sobre las previsiones de generación se estimaron directamente para obtener una aproximación de la disponibilidad de recursos en el escenario *compatible con el medio ambiente*, por ejemplo, asumiendo el 25% en la reducción de residuos con respecto a una base de referencia.
- 2) Para los residuos agroalimentarios se utilizó el escenario creado para la evaluación del potencial bioenergético agrícola *compatible con el medio ambiente*. Este escenario se combinó con información relativa a la cantidad de toneladas de biorresiduos generados por animal y a la disponibilidad de estos residuos después de otros usos. Además, se tuvo en cuenta la realización de prácticas agrícolas orientadas al medio ambiente. Por ejemplo, los rendimientos de la agricultura orientada al medio ambiente son generalmente más bajos, pero el uso de variedades de tallo más largo permite la obtención de más paja por tonelada de producto. Sin embargo, en este

<sup>(33)</sup> La energía de residuos depositados en vertederos puede recuperarse mediante la captación y combustión del gas producido en el vertedero.

<sup>(34)</sup> El 35% de los residuos urbanos biodegradables generados en 1995.

escenario, es necesaria más cantidad de paja para la cama del ganado.

- 3) Respecto a otros flujos de biorresiduos se obtuvieron estimaciones de las cantidades actuales, estimándose las previsiones de generación futura a partir de proyecciones de los principales factores socioeconómicos que pueden influir en la generación futura de residuos. Además se tuvo en cuenta el impacto de las medidas ambientales sobre dichos factores socio-económicos (por ejemplo, una reducción en la demanda de un producto) con objeto de obtener una estimación de las cantidades de residuos producidas.

### 5.3.1 Hipótesis del escenario

Las previsiones sobre la cantidad de biorresiduos dependen del desarrollo económico y social. Para este estudio se tuvo en cuenta un escenario *compatible con el medio ambiente* en el que se supone un desarrollo más sostenible de Europa. Además del deseo de fomentar el uso de la biomasa y de otras fuentes de energía renovables, el escenario asume que la sociedad responde rotundamente ante otras cuestiones ambientales como, por ejemplo, la minimización de residuos.

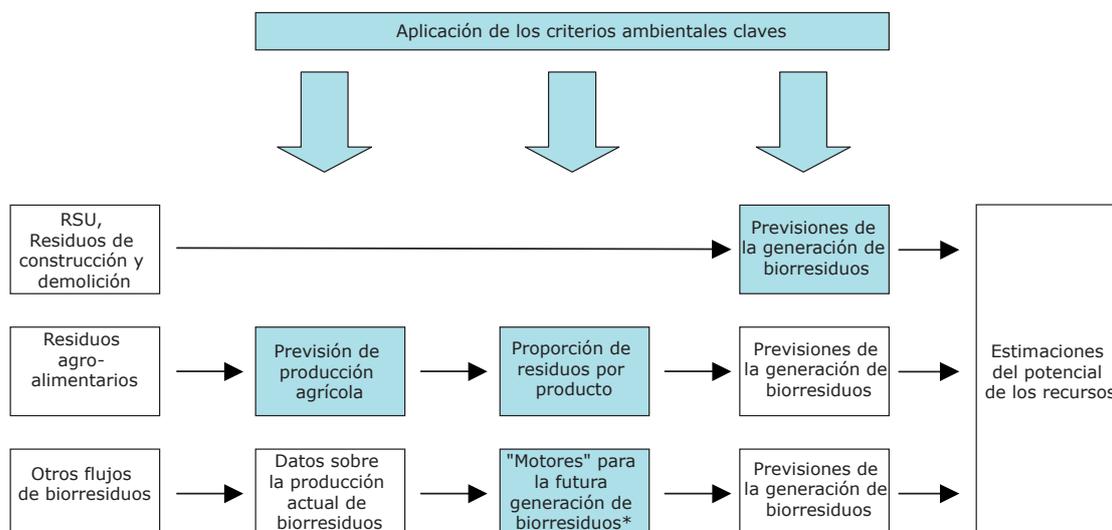
Las hipótesis socioeconómicas subyacentes (por ejemplo el PIB en el ámbito nacional y sectorial, la población, el número de hogares, etc.) se obtuvieron de los modelos de energía y emisiones realizados anteriormente para la AEMA utilizando el modelo PRIMES (escenario LCEP, véanse el capítulo 2 y el anexo 1; AEMA, 2005a). Para calcular el potencial de los residuos agrícolas, del estiércol animal y de los residuos de la industria alimentaria se utilizaron las mismas previsiones

que para los residuos (por ejemplo la producción de cultivos y las poblaciones de ganado). Para mantener la coherencia con la sección dedicada a la agricultura incluida en el capítulo 3, se tuvieron en cuenta los efectos de un aumento de la cuota de la agricultura orientada al medio ambiente.

En el caso del componente biodegradable de los residuos sólidos urbanos, la cantidad de residuos generados está basada en previsiones realizadas por el Centro Temático Europeo sobre Gestión de Recursos y Residuos (Skovgaard *et al.*, 2005). Dichas previsiones se elaboraron para el informe sobre las previsiones de la AEMA (AEMA, 2005d). No obstante, se asume que la generación de residuos se puede reducir un 25% para el 2030 debido a las medidas de prevención de la producción de residuos domésticos (basado en datos de Gewiese *et al.*, 1988). Se asume que la fracción de los residuos que es biodegradable se mantendrá constante en el futuro.

En cuanto a la lejía negra, las estimaciones sobre el crecimiento en la producción de pulpa y papel y, por tanto, sobre la producción de lejía negra, se han obtenido del escenario LCEP (véase el anexo 1) reduciéndolas en un 25% a fin de ajustarlas mejor a las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación sobre la madera destinada a la producción de papel y pulpa en el marco de un escenario sostenible (FAO, 2005). En el supuesto de precios altos de la energía y el carbón, se han utilizado las mismas hipótesis que para el sector forestal. Para un precio estimado de la viruta de madera de 64 EUR y 94 EUR por m<sup>3</sup> en 2020 y 2030 respectivamente, la producción de pulpa descendería alrededor de un 5

**Figura 5.1 Resumen del enfoque de modelos de los flujos de biorresiduos**



\* Por ejemplo, población, número de hogares, PIB, es decir, población, hogares, crecimiento industrial, demanda de productos.

y un 38%. También se ha asumido que la producción potencial de lejía negra disminuiría de forma similar. La utilización de las tecnologías más avanzadas puede ayudar a incrementar la recuperación de energía por tonelada de pulpa, pero no se ha tenido en cuenta.

Las estimaciones sobre el crecimiento de los residuos procedentes de la industria maderera están basadas en el escenario de conservación de la FAO sobre la troza, la madera aserrada y los tableros de madera.

Los cambios en la cantidad de madera procedente de la construcción y demolición disponible en el futuro se basan en las previsiones sobre los residuos de construcción y demolición realizadas por el Centro Temático Europeo sobre Gestión de Recursos y Residuos (Skovgaard *et al.*, 2005; AEMA, 2005d). Los residuos de madera procedentes de embalajes están basados en las previsiones del PIB, con una reducción del 25% en la tasa de crecimiento para dejar un margen para la minimización de residuos. El crecimiento de los residuos de madera procedentes de los hogares está basado en proyecciones sobre el número de hogares, que es también el principal factor para las estimaciones sobre los residuos sólidos urbanos.

El crecimiento en la producción de lodos de depuradora se basa también en las previsiones sobre el número de hogares. Es posible que en las próximas décadas se puedan introducir métodos de tratamiento de aguas residuales más avanzados para mejorar la calidad de los vertidos, por lo que es probable que aumente la cantidad de lodos de depuradora producidos. No obstante, esto no fue estimado en este estudio. En cualquier caso, el efecto sobre el potencial total sería limitado ya que las cantidades de lodos procedentes de depuradoras representan sólo el 1,4% del potencial de los biorresiduos.

### 5.3.2 Modelos

Se elaboraron una serie de modelos para estimar los potenciales de los recursos. Los modelos principales en los que se apoyaron los datos clave fueron los siguientes:

- Modelos agrícolas como CAPSIM para previsiones de actividad agrícola (por ejemplo, la producción de cultivos y las cabañas de ganado), con objeto de calcular el potencial de los residuos agrícolas, el estiércol animal y los residuos procedentes de la industria alimentaria.
- Los modelos creados por el Centro Temático de la AEMA sobre Gestión de Recursos y Residuos, de los que se obtuvieron proyecciones sobre los flujos de materiales y de residuos. También se analizó la relación histórica entre los flujos de residuos y los factores de los que dependen (por ejemplo, el número de hogares, la población, el consumo de bienes), a fin de poder prever los flujos futuros de residuos.

## 5.4 Potencial bioenergético compatible con el medio ambiente de los residuos

### 5.4.1 Resultados y evaluación

Los recursos energéticos procedentes de los biorresiduos, representarán 99 Mtep para 2010, predominando cinco flujos de residuos: residuos sólidos agrícolas (de los cuales, casi todos son paja procedente del cultivo del cereal), estiércol húmedo, residuos de la transformación de la madera, residuos sólidos urbanos y lejía negra. Estos flujos de residuos representan prácticamente el 90% de los recursos (figura 5.2).

Está previsto que el total de recursos procedentes de los biorresiduos se mantenga prácticamente constante entre 2010 y 2030. Esto representará un aumento del 10% en comparación con el año 2000. Si bien los recursos procedentes de algunos biorresiduos aumentarán, como por ejemplo los recursos de los residuos madereros procedentes de los procesos de transformación o de la construcción y la demolición, otros como los residuos domésticos verán disminuidos su potencial energético debido a las medidas de minimización sobre su generación, lo que ocasionará una disminución en la generación de residuos urbanos. En comparación con un desarrollo sin cambios, se producen también reducciones importantes en los recursos procedentes de los residuos de la transformación de la madera (3 Mtep en 2030) y en los procedentes de la lejía negra (2 Mtep en 2030), lo que se debe principalmente a un descenso en la demanda de papel y de productos de la madera.

El aumento en los precios de la energía y de los derechos de emisión de carbono se traduciría en un mayor descenso del potencial de la lejía negra. En ese caso, parte de la madera podría utilizarse directamente para generar energía en lugar de producir pulpa y papel, reduciendo así el potencial en 0,8 Mtep en 2020 y en 6,3 Mtep para 2030. El potencial total compatible con el medio ambiente de los biorresiduos descendería en 95,8 Mtep entre 2020 y 2030, alcanzando prácticamente el nivel existente en el año 2000.

Debido a las medidas de minimización de los residuos procedentes de los embalajes, se producirá una reducción en los recursos madereros procedentes de estos residuos. En cuanto a los recursos procedentes de la agricultura, el incremento de los recursos de los residuos sólidos agrícolas y los del estiércol húmedo será más bajo que en el caso del escenario habitual. En el caso de los residuos sólidos agrícolas, el descenso de los rendimientos de los cultivos debido a la agricultura orgánica se compensa, en parte, gracias al uso de variedades de cereales de tallo más largo, con las que se obtiene más paja por tonelada de cereal producida. No obstante, las explotaciones ecológicas de ganado requieren más paja por cama y, por lo tanto, el recurso total se reducirá aproximadamente un 9% en 2030 con respecto a un escenario habitual. Los recursos procedentes del estiércol húmedo sufren solamente un

ligero incremento debido a un menor aumento en las cabañas de ganado que se producen en un escenario *compatible con el medio ambiente*. En términos generales, esto significa que la tasa de crecimiento es inferior en un 50% a la que se observa en un escenario habitual.

En la figura 5.3. se muestra el potencial de los biorresiduos *compatible con el medio ambiente* de los distintos Estados miembros. La distribución de los recursos de los biorresiduos varía considerablemente entre los Estados miembros, desviándose sustancialmente en algunos países de la media de la UE25. Por ejemplo, los residuos sólidos agrícolas son un recurso de biorresiduos especialmente importante para Francia, Hungría y Polonia. Los residuos de la transformación de la madera suponen la mayor fuente del recurso de biorresiduos en Estonia y Letonia y son también muy significativos en Austria. La lejía negra es una fuente importante en Portugal, Finlandia y Suecia, pero podría descender en el supuesto de que subieran los precios de la energía y de los derechos de emisión del carbono.

### 5.4.2 Sinergias

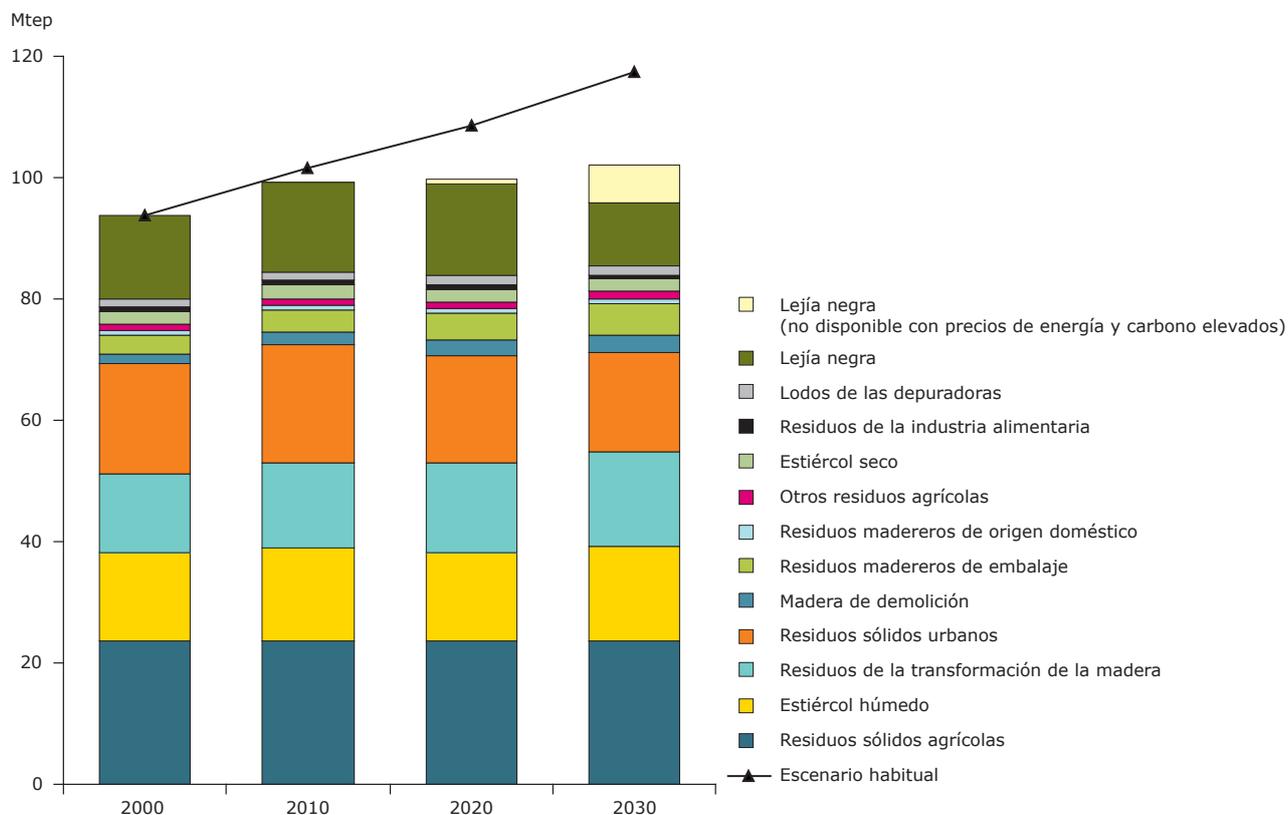
Como se ha indicado anteriormente, la utilización de biorresiduos para la recuperación de la energía en lugar de su disposición en vertederos o de su incineración sin recuperación energética, favorece que este aprovechamiento avance de nivel en la jerarquía de residuos. Además, este aprovechamiento contribuye a la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero y efluentes líquidos.

### 5.4.3 Consistencia del enfoque

Las mayores incertidumbres en la estimación de los recursos energéticos de los biorresiduos son las siguientes:

- Los datos estadísticos históricos utilizados para estimar los residuos de la transformación de la madera y los residuos de embalaje, domésticos, de la construcción y la demolición.
- El potencial de prevención asumido para la generación de residuos domésticos. Las hipótesis están de acuerdo con los objetivos de la política relativos a la reducción en la generación de residuos. Sin embargo, la cuantificación de dichas hipótesis

**Figura 5.2 Potencial energético compatible con el medio ambiente de los biorresiduos en la UE25**



**Nota:** El "potencial de la lejía negra no disponible con precios de energía y carbono elevados" indica la reducción en el potencial en los casos en que la madera se desvía desde la producción de pulpa y papel hacia la producción de energía (véase la figura 4.3). Se asumió que esto sucedería con precios de energía y carbono elevados, que pueden aumentar el "valor energético" de las virutas de madera hasta superar el precio del producto básico.

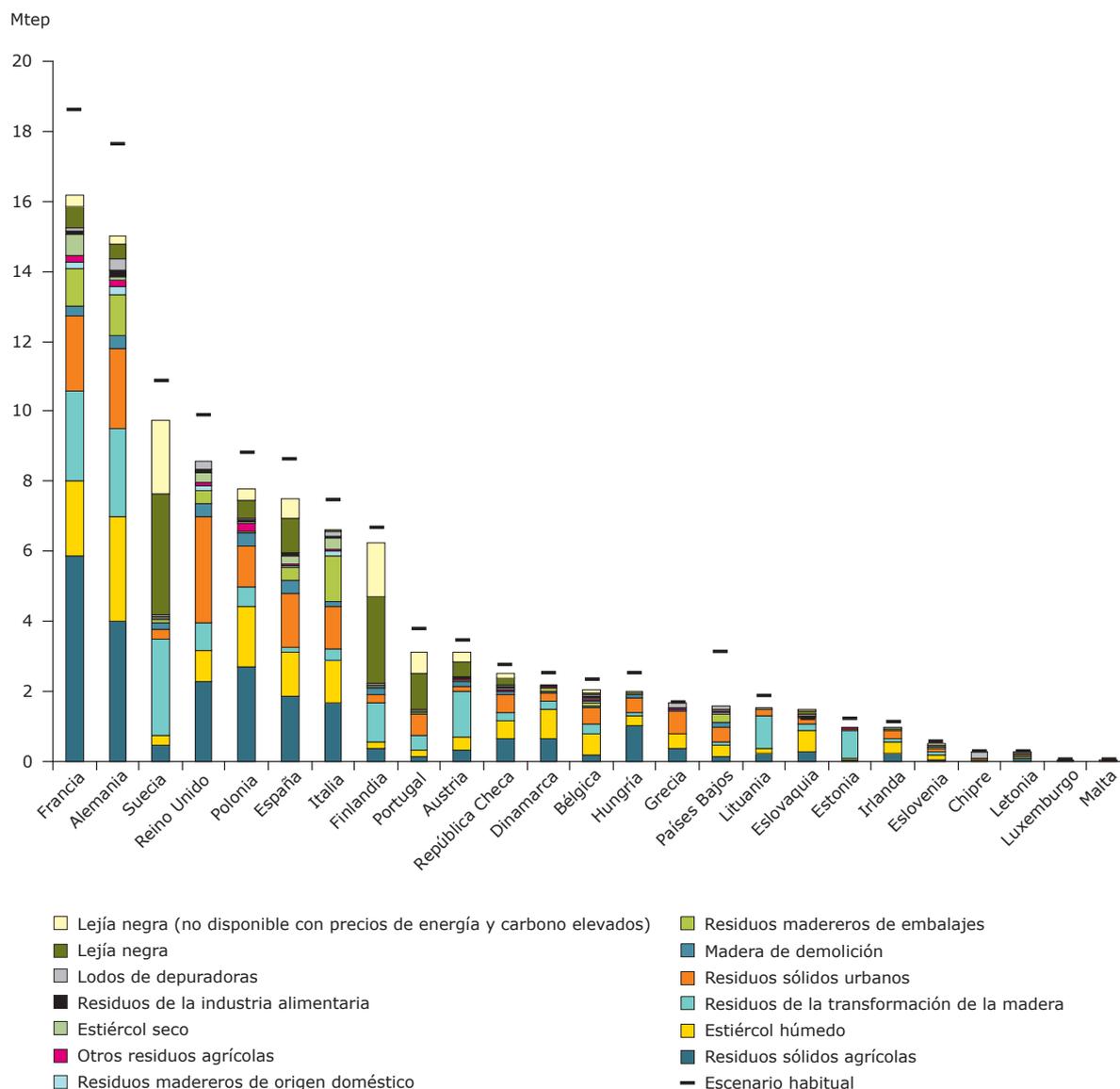
está basada en un número limitado de estudios de casos, debido a la falta de análisis más completos.

- El uso de valores “europeos” medios para calcular la cantidad de residuos de las cosechas y de estiércol disponibles. Estos valores están adaptados de datos del norte de Europa y pueden no resultar apropiados para los países del sur.
- Los usos de algunos flujos de residuos (por ejemplo los residuos madereros para la fabricación de aglomerados o los residuos de las industrias alimentarias para piensos de animales). Con la subida de los precios de la energía fósil y los derechos de emisión de CO<sub>2</sub>, podría aumentar el valor de los flujos de residuos como recurso energético, destinándose una mayor cantidad a la

generación de energía e incrementar los recursos disponibles.

La disponibilidad de recursos en el año 2000 (tal y como se ha calculado en este estudio) se ha comparado con la reflejada en otros dos estudios. El primero lo realizó la Comisión Europea para evaluar el papel de la bioenergía en el mercado energético de la UE (Siemons *et al.*, 2004). Este estudio tiene en cuenta el potencial total de la biomasa hasta 2020 para los Estados de la UE25 más Bulgaria y Rumanía. El segundo es un estudio realizado para el Gobierno alemán (IE, 2004) en el que se incluyen los Estados de la UE25 más Bulgaria, Rumanía y Turquía. En términos generales, las estimaciones de los recursos actuales procedentes de los biorresiduos señaladas en este documento son similares a las de

**Figura 5.3 Potencial energético compatible con el medio ambiente de los biorresiduos por Estado miembro en 2030**



dichos estudios. Esta comparación muestra que el potencial de los biorresiduos calculado en este estudio para el año 2000 (que incluye a Bulgaria, Rumanía y Turquía) es un 4% mayor que el estimado en el estudio de Siemons *et al.* (2004) si se comparan flujos de residuos similares. También es un 5% menor que en el estudio de IE. Las diferencias aumentan cuando se estudian

individualmente los diferentes flujos de residuos. Las principales causas de estas diferencias entre los estudios se deben a que se han realizado a partir de diferentes fuentes de datos y a las hipótesis realizadas sobre la cantidad de residuos disponibles para su conversión en energía.

## 6 Resultados generales y retos futuros

Un aumento sustancial en la producción de bioenergía a partir de la biomasa procedente de la agricultura, la silvicultura y los residuos ofrece importantes oportunidades para que Europa reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero y diversifique y garantice su suministro energético. Además, podría aportar ingresos adicionales para los agricultores y, por tanto, contribuir a favorecer nuevas perspectivas económicas para las regiones rurales.

Por otro lado, una mayor producción de bioenergía podría incentivar un uso más intensivo de las zonas agrícolas y forestales, además de entorpecer los objetivos de las políticas sobre reducción de residuos. Un aumento en la producción de bioenergía conlleva, por tanto, el riesgo de que se ejerzan presiones ambientales adicionales sobre la biodiversidad y sobre los recursos de suelo y agua. Sin embargo, estas presiones se pueden minimizar, por ejemplo, mediante cultivos bioenergéticos de bajo impacto, no permitiendo el arado de las praderas permanentes, o mediante la adaptación de la intensidad de la extracción de los residuos a las condiciones del suelo local. Por tanto, se intuye la necesidad de aplicar reglas y normas ambientales cuando se incrementa la producción de bioenergía.

En este informe se evaluó la cantidad de biomasa técnicamente disponible para la producción de energía sin aumentar las presiones sobre el medio ambiente ni contrarrestar las políticas y objetivos ambientales actuales y futuros de la UE. En este sentido, en el estudio se formularon una serie de hipótesis ambientales relativas a la producción de bioenergía como base para crear modelos de potencial bioenergético disponible que fueran coherentes con los sectores agrícola, selvícola y de residuos.

En este estudio se utilizan las hipótesis ambientales que se indican a continuación:

- Al menos el 30% del suelo agrícola está dedicado a la "agricultura ecológica" en 2030 en todos los Estados miembros (salvo Bélgica, Luxemburgo, Malta y los Países Bajos, en los que se asumió el 20%).
- Se mantienen las áreas agrícolas de cultivos extensivos: los pastizales, los olivares y las dehesas no se transforman en tierras de cultivo.
- Aproximadamente el 3% del suelo agrícola cultivado de forma intensiva se reserva para la creación de zonas de compensación ecológica para 2030.
- Se utilizan cultivos bioenergéticos de baja presión ambiental.

- Se mantienen las superficies forestales protegidas actuales; se excluyen de las mismas la eliminación de residuos y las talas o podas complementarias.
- El porcentaje de eliminación de residuos forestales se adapta a la idoneidad del emplazamiento local. No se elimina el follaje ni las raíces.
- Las talas complementarias se ven restringidas por una cuota más alta de superficies forestales protegidas y de madera muerta.
- Se aplican estrategias ambiciosas en materia de minimización de residuos.

El estudio concluye que puede haber una cantidad importante de biomasa técnicamente disponible para ayudar a cumplir los objetivos ambiciosos en materia de energías renovables, incluso si se aplican las rigurosas medidas ambientales mencionadas anteriormente. El total del potencial de biomasa compatible con el medio ambiente se puede incrementar desde unas 190 Mtep en 2010 a aproximadamente 295 Mtep en 2030. Esto contrasta con un potencial total de 69 Mtep en 2003, que incluye el potencial correspondiente a la biomasa *compatible con el medio ambiente*. Estos valores representan aproximadamente el 16% de las necesidades de energía primaria previstas para 2030 en la UE25 teniendo en cuenta las suposiciones realizadas en este estudio <sup>(35)</sup>. También representan el 17% del consumo energético actual, si se tiene en cuenta una cuota de biomasa del 4% en el año 2003.

Este potencial es suficiente para alcanzar el objetivo comunitario sobre energías renovables propuesto para 2010. Este tiene como meta la utilización de una cantidad de biomasa equivalente a 150 Mtep de acuerdo con el Plan de actuación para la biomasa, lo que evitaría unas emisiones de 210 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub>. Además, este potencial permitiría fijar metas más ambiciosas sobre el uso de energías renovables para el 2010, que podrían llegar a 230 – 250 Mtep de biomasa primaria.

La distribución regional del potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente* (véase la tabla 6.1), especialmente en el caso de los cultivos bioenergéticos, y sus costes respectivos, podrían generar beneficios económicos más importantes para algunos Estados miembros. El análisis señala, por ejemplo, que, por lo menos para Polonia, se podrían prever las exportaciones de bioenergía (productos) a medio plazo <sup>(36)</sup>. De forma similar, algunos de los residuos agroforestales podrían comercializarse tras su

<sup>(35)</sup> En un escenario de referencia, esta cantidad de biomasa representaría el 15%.

<sup>(36)</sup> Como se ha señalado en otro estudio, esto también es aplicable al caso de Rumanía (véase IE/BFH/HU/ÖKO, 2006).

## Resultados generales y retos futuros

procesado como biocarburantes sólidos o como biocarburantes líquidos o gaseosos.

Este estudio proporciona una visión global del potencial bioenergético *compatible con el medio ambiente*. Sin embargo, no es más que el *primer paso* hacia la identificación y en *última instancia la aplicación* de este potencial. En el estudio *no se analizan las políticas ni las medidas necesarias para garantizar la aplicación de los criterios ambientales*. De hecho, todavía *no puede asumirse la existencia de incentivos adecuados y de medidas de control necesarias*. Por ello, incluso una explotación de los recursos energéticos de la biomasa por debajo del potencial *compatible con el medio ambiente* podría aumentar las presiones ambientales. Sin embargo, si se tienen en cuenta debidamente las cuestiones ambientales, el aumento del uso de la

bioenergía evitará no sólo emisiones de gases de efecto invernadero, sino que, en algunos casos, llevará a mayores beneficios ambientales.

En **futuros estudios** será necesario afinar y analizar más a fondo el enfoque y las hipótesis a realizar para lograr una mayor exactitud de los resultados a nivel regional, de manera que se tengan en cuenta las presiones a nivel nacional y local, así como sus posibles soluciones. Además, los siguientes aspectos deben tenerse en cuenta:

- La evaluación del impacto ambiental y de los beneficios de la producción y consumo de bioenergía requiere un **análisis de todo el ciclo de vida** de la producción de bioenergía. Esto debería incluir un debate acerca de la mejor forma de usar el potencial

**Tabla 6.1 El potencial bioenergético compatible con el medio ambiente (en Mtep) por Estado miembro y sector en 2010, 2020 y 2030**

	2010				2020				2030			
	Agricultura	Selvicultura	Residuos	Total	Agricultura	Selvicultura	Residuos	Total	Agricultura	Selvicultura	Residuos	Total
Alemania	5,0	6,3	14,9	<b>26,2</b>	13,7	5,3	14,8	<b>33,8</b>	23,4	4,8	15,0	<b>43,2</b>
Austria	0,6	3,3	3,0	<b>6,9</b>	1,4	3,3	3,1	<b>7,8</b>	2,1	3,5	3,1	<b>8,7</b>
Bélgica	0,1	0,1	2,1	<b>2,3</b>	0,1	0,1	2,1	<b>2,3</b>	0,1	0,2	2,0	<b>2,3</b>
Dinamarca	0,4	0,1	2,3	<b>2,8</b>	0,1	0,2	2,2	<b>2,5</b>	0,1	0,2	2,2	<b>2,5</b>
España	7,8	1,7	7,1	<b>16,5</b>	12,9	1,8	7,3	<b>22,0</b>	16,0	1,5	7,5	<b>25,1</b>
Finlandia	1,9	1,7	6,1	<b>9,6</b>	1,8	1,8	6,2	<b>9,8</b>	1,3	1,8	6,2	<b>9,4</b>
Francia	2,6	12,7	16,1	<b>31,4</b>	7,8	13,2	16,2	<b>37,2</b>	17,0	14,2	16,2	<b>47,4</b>
Grecia	0,0	n. d.	1,6	<b>1,6</b>	1,7	n. d.	1,6	<b>3,4</b>	2,2	n. d.	1,7	<b>3,8</b>
Irlanda	0,0	0,1	1,0	<b>1,1</b>	0,1	0,1	1,0	<b>1,2</b>	0,1	0,1	1,0	<b>1,3</b>
Italia	4,1	5,6	6,5	<b>16,2</b>	8,9	3,3	6,5	<b>18,7</b>	15,2	3,0	6,6	<b>24,8</b>
Luxemburgo	n. d.	n. d.	0,0	<b>0,0</b>	n. d.	n. d.	0,0	<b>0,0</b>	n. d.	n. d.	0,0	<b>0,0</b>
Países Bajos	0,2	0,1	2,4	<b>2,6</b>	0,5	0,1	1,6	<b>2,2</b>	0,7	0,2	1,6	<b>2,4</b>
Portugal	0,7	0,2	2,7	<b>3,6</b>	0,8	0,2	2,9	<b>3,9</b>	0,8	0,2	3,1	<b>4,1</b>
Reino Unido	3,4	1,5	8,6	<b>13,5</b>	8,8	1,5	8,7	<b>19,0</b>	14,7	1,1	8,6	<b>24,5</b>
Suecia	0,6	2,2	8,9	<b>11,7</b>	1,1	2,4	9,5	<b>13,0</b>	1,4	2,4	9,7	<b>13,5</b>
UE15	27,2	35,7	83,3	<b>146,2</b>	59,8	33,2	83,7	<b>176,6</b>	95,0	33,3	84,7	<b>213,0</b>
Chipre	n. d.	n. d.	0,3	<b>0,3</b>	n. d.	n. d.	0,3	<b>0,3</b>	n. d.	n. d.	0,3	<b>0,3</b>
Eslovaquia	0,2	1,0	1,0	<b>2,2</b>	0,6	0,9	1,0	<b>2,4</b>	1,2	0,9	1,5	<b>3,6</b>
Eslovenia	0,0	1,3	0,5	<b>1,8</b>	0,1	1,1	0,5	<b>1,7</b>	0,2	1,0	0,5	<b>1,8</b>
Estonia	0,4	0,2	0,9	<b>1,5</b>	1,1	0,2	0,9	<b>2,2</b>	1,3	0,2	1,0	<b>2,6</b>
Hungría	1,2	0,2	2,1	<b>3,6</b>	2,2	0,2	2,1	<b>4,5</b>	3,1	0,4	2,0	<b>5,6</b>
Letonia	0,4	0,6	0,3	<b>1,3</b>	1,0	0,6	0,2	<b>1,9</b>	1,5	0,6	0,3	<b>2,4</b>
Lituania	2,0	0,7	1,4	<b>4,1</b>	5,6	0,6	1,4	<b>7,6</b>	7,9	0,4	1,6	<b>9,9</b>
Malta	n. d.	n. d.	0,05	<b>0,05</b>	n. d.	n. d.	0,05	<b>0,05</b>	n. d.	n. d.	0,04	<b>0,04</b>
Polonia	14,5	2,0	7,3	<b>23,8</b>	24,1	1,5	7,4	<b>33,0</b>	30,4	1,2	7,8	<b>39,3</b>
República Checa	0,8	0,8	2,2	<b>3,8</b>	1,3	0,8	2,3	<b>4,5</b>	1,6	0,9	2,5	<b>5,0</b>
<b>Nuevos UE10</b>	<b>19,5</b>	<b>6,8</b>	<b>16,0</b>	<b>42,4</b>	<b>36,0</b>	<b>5,9</b>	<b>16,2</b>	<b>58,1</b>	<b>47,3</b>	<b>5,7</b>	<b>17,5</b>	<b>70,5</b>
<b>UE25</b>	<b>46,8</b>	<b>42,5</b>	<b>99,3</b>	<b>188,5</b>	<b>95,8</b>	<b>39,2</b>	<b>99,8</b>	<b>234,7</b>	<b>142,4</b>	<b>39,0</b>	<b>102,1</b>	<b>283,4</b>
Efecto neto de la competencia para la selvicultura						2,1	- 0,8	1,3		16,2	- 6,3	9,9
<b>UE25</b>	<b>46,8</b>	<b>42,5</b>	<b>99,3</b>	<b>188,5</b>	<b>95,8</b>	<b>41,3</b>	<b>99,0</b>	<b>236,0</b>	<b>142,4</b>	<b>55,2</b>	<b>95,8</b>	<b>293,3</b>

**Nota:** El potencial agrícola comprende los cultivos bioenergéticos y la siega de pastizales y praderas. Los residuos agrícolas como la paja y el estiércol forman parte de la categoría residuos. El potencial de la selvicultura está formado por los residuos de las talas o podas así como las talas complementarias. El "efecto neto de la competencia para la selvicultura" incluye un potencial adicional debido al desvío de las virutas de madera procedentes de la producción de pulpa y papel a la producción de energía, lo que en parte se compensa con la reducción del potencial energético de la leña negra debido al descenso en la producción de pulpa y papel. Este potencial depende fundamentalmente de las suposiciones realizadas sobre los precios del petróleo y de los derechos de emisión de carbono.

**Posibles beneficios complementarios de la producción de bioenergía y la conservación de la naturaleza**

- La gestión forestal y la eliminación de residuos pueden contribuir a reducir el riesgo de incendios, sobre todo en aquellos bosques que actualmente no se gestionan. La utilización de dicha biomasa para producir energía podría cubrir parte de los costes asociados a las medidas de prevención de incendios.
- De modo similar, con el uso bioenergético de la siega de los pastizales se pueden obtener ciertos beneficios económicos en la gestión de pastizales ricos en biodiversidad, evitándose el abandono de la tierra y la pérdida de valiosos hábitats abiertos.
- Con una selección adecuada de la asociación de cultivos y de las prácticas culturales, la producción de bioenergía puede reducir la presión ambiental con respecto a una gestión agrícola intensiva de las tierras.

de biomasa disponible. Los diferentes usos de carburantes en los sectores competitivos finales de electricidad/ calor/transporte y los diferentes procesos de conversión, ejercen una fuerte influencia en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos que se pueden evitar. Aunque este tipo de evaluación no entraba dentro del alcance de este estudio, una estimación orientativa indica que el uso del potencial calculado implica un ahorro de las emisiones de gases de efecto invernadero desde aproximadamente 400 Mt hasta más de 600 Mt de CO<sub>2</sub> en 2030 <sup>(37)</sup>. Las emisiones que se evitan durante el ciclo de vida serán inferiores porque algunas emisiones tienen lugar durante la producción de la biomasa, por ejemplo, en el curso de la producción de fertilizantes.

Hacen falta nuevas investigaciones para identificar posibles medidas y tecnologías que minimicen las emisiones de gases de efecto invernadero durante todo el ciclo de vida, de manera que se alcance un equilibrio entre las emisiones atmosféricas y la protección de la naturaleza. La realización de una evaluación económica y logística sería el complemento perfecto para futuras investigaciones. Por ejemplo, las plantas de conversión de la biomasa que utilizan una amplia gama de materias primas son menos vulnerables a posibles alteraciones en el flujo del suministro.

La elección de las vías de conversión de la bioenergía determina también las presiones ambientales de la producción de bioenergía y su potencial, especialmente en el sector agrario. Probablemente, un aumento en el uso de las tecnologías convencionales de biocarburantes a gran escala, de acuerdo con las técnicas de cultivo actuales, incrementará las presiones actuales (por ejemplo, la intensificación, la especialización y el abandono de los pastizales marginales). El uso de nuevas tecnologías y vías de conversión que permitan la utilización de una gama más amplia de materias primas, puede ayudar a la diversificación de cultivos.

- De crucial importancia será el análisis del **marco político** necesario para evitar impactos ambientales negativos e incrementar los beneficios potenciales de la producción de bioenergía. Para ello se requiere acción política a varios niveles. La Política Agrícola Común de la UE ya ofrece una importante gama de herramientas que respaldan esta actividad, muchas de las cuales han de aplicarse en el ámbito local o nacional. Unas directrices a nivel europeo podrían ser un paso adelante importante en esta dirección. En el anexo 6 se indican una serie de opciones políticas que se pueden considerar en este contexto.

Por otro lado, las administraciones regionales y nacionales y las organizaciones de productores tienen una responsabilidad especial en el desarrollo y la aplicación de medidas de control ambientales para la producción de bioenergía. Esto puede resultar especialmente eficaz si se tiene presente que el mercado actual de biocarburantes se ha creado en cierta medida por los gobiernos como un mercado artificial. Los Planes nacionales de acción sobre la biomasa (como se propone en CE, 2005b) podrían ser un primer paso en esa dirección. También sería importante aplicar las directrices ambientales a los biocarburantes importados.

- Por último, los recursos bioenergéticos disponibles y su uso en los sectores competitivos finales dependen de los **criterios sociales**. Para ello hace falta una mayor participación por parte de la sociedad europea, desde los responsables políticos hasta los investigadores, empresas, ONG y consumidores.

Las distintas vías de conversión serán más o menos favorables dependiendo del objetivo principal del incremento en el uso de biomasa (por ejemplo, protección ambiental, garantía de suministro o ingresos rurales). Desde un punto de vista ambiental, la producción de biocalor y bioelectricidad permiten, al igual que el avance en las tecnologías de conversión de combustible para el transporte, el uso de una amplia gama de materias primas. Entre estas materias primas se pueden incluir los residuos, los materiales de desecho que favorecen una rápida

<sup>(37)</sup> Una parte de esta reducción de emisiones teórica se consigue mediante el actual uso de biomasa.

introducción de cultivos de alto rendimiento y bajo impacto. La producción de combustibles de transporte convencionales de primera generación depende de un número limitado de cultivos, y usa sólo la parte correspondiente al almidón o el aceite de los mismos. Por ese motivo, su eficiencia es reducida en comparación con una utilización de toda la planta. Por otra parte, los biocarburantes para el transporte pueden sustituir directamente al petróleo en un sector que depende enormemente de la importación de crudo.

Además, parece probable que haya cada vez más competencia por el suelo agrícola entre la producción de alimentos/forraje y la de bioenergía. En este estudio se asumió que dicha competencia se produciría solamente en aquellas áreas en las que se produzcan alimentos para la exportación con el objetivo de que no descienda el autoabastecimiento

alimentario europeo. Sin embargo, el grado en que es deseable la sustitución de la producción de alimentos es un tema a debatir en el seno de la sociedad.

En términos generales, el aumento de la cuota de fuentes de bioenergía en el consumo total de energía de Europa es una meta importante para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, aumentar la seguridad energética y crear actividades alternativas para las zonas rurales. Sin embargo, es importante garantizar que el aumento en la producción de dicha "energía verde" sea *compatible con el medio ambiente*. En este estudio se han mostrado opciones para conseguir que la producción de bioenergía sea *compatible con el medio ambiente*. Ahora hace falta actuar a escala local, nacional y europea para alcanzar este objetivo y para implementar las actividades anteriormente indicadas.

# Bibliografía

---

- AEMA, 2004. *Impactos del cambio climático en Europa Una evaluación basada en indicadores*. Edición española: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.
- AEMA, 2005a. *Climate change and a European low-carbon energy system*. Informe de la AEMA, N° 1/2005.
- AEMA, 2005b. *El medio ambiente europeo - Estado y perspectivas 2005*. Edición española: Ministerio de Medio Ambiente, 2007..
- AEMA, 2005c. *Integración del medio ambiente en la política agrícola de la UE – Informe de evaluación basado en los indicadores IRENA*. Edición española: Ministerio de Medio Ambiente, 2007.
- AEMA, 2005d. *Perspectivas para el medio ambiente europeo*. Edición española: Ministerio de Medio Ambiente, 2007.
- AEMA, 2006a. *Progress towards halting the loss of biodiversity by 2010*. Informe de la AEMA N° 5/2006.
- AEMA, 2006b (en prep). 'Paper and Cardboard – recovery or disposal? Review of LCAs and CBAs on the recovery and disposal of paper and cardboard'. Informe técnico de la AEMA, próxima aparición.
- AEMA/CCI, 2006. 'Sustainable Bioenergy cropping systems in the Mediterranean. Proceedings of the workshop 9–10 February 2006', próxima aparición.
- AEMA/PNUMA, 2004. *High nature value farmland*. Agencia Europea de Medio Ambiente y Oficina Regional para Europa del PNUMA. Informe de la AEMA, N° 1/2004.
- Andersen, E. (ed), 2003. *Developing a High Nature Value Farming area indicator*. Informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente. Copenhague.
- Angelstamm, P., 1992. 'Conservation of communities: the importance of edges, surroundings, and landscape mosaic structure'. En: L. Hansson, (ed.), *Ecological principles of nature conservation*. Londres, Elsevier, págs. 9–70.
- Bignal, E.M., D.I. McCracken, 1996. 'Low-intensity farming systems in the conservation of the countryside'. *Journal of Applied Ecology* 33: páginas 413–424.
- Bignal, E.M., D.I. McCracken, 2000. 'The nature conservation value of European traditional farming systems'. *Environmental Reviews* 8: páginas 149–171.
- Bruinderink, G., v/d Sluis, T., Lammertsma, D.R., Opdam, P., Pouwels, R., 2003. 'Designing a coherent ecological network for large mammals in Northwestern Europe'. *Conservation biology*, Vol 17, No 2.
- CE, 1997. Libro Blanco: Energía para el futuro: Fuentes de energía renovables, COM(97)599 final. Comisión Europea, 1997.
- CE, 1999. Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos, Comisión Europea, 1999.
- CE, 2000, Libro Verde - Hacia una estrategia europea de seguridad en el abastecimiento energético, COM(2000)769 final, Comisión Europea, 2000.
- CE, 2001. Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad, Comisión Europea, 2001.
- CE, 2002a. Decisión del Consejo, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kioto del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo.
- CE, 2002b. *Analysis of the Impact on Agricultural Markets and Incomes of EU Enlargement to the CEECs*. Comisión Europea DG AGRI, 2002.
- CE, 2003a. 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, Comisión Europea, 2003.
- CE, 2003b. Reglamento (CE) n° 1782/2003 del Consejo, de 29 de septiembre de 2003, por el que se establecen disposiciones comunes aplicables a los regímenes de ayuda directa en el marco de la Política Agrícola Común y se instauran determinados regímenes de ayuda a los agricultores y por el que se modifican los Reglamentos (CEE) n° 2019/93, (CE) n° 1452/2001, (CE) n° 1453/2001, (CE) n° 1454/2001, (CE) n° 1868/94, (CE) n° 1251/1999, (CE) n° 1254/1999, (CE) n° 1673/2000, (CEE) n° 2358/71 y (CE) n° 2529/2001, Comisión Europea, 2003.
- CE, 2004. Comunicación de la Comisión Europea del 26/05/2004 sobre la cuota de las energías renovables en la UE, COM(2004)366 final. Comisión Europea, 2004.

- CE, 2005a. *Report On The Green Paper On Energy – Four years of European initiatives*, Comisión Europea 2005.
- CE, 2005b. Comunicación de la Comisión Europea sobre el Plan de acción sobre la biomasa, COM(2005)628 final. Comisión Europea, 2005.
- CE, 2005c. *Biomass, Green Energy for Europe*. Comisión Europea, DG Investigación. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- CE, 2006. Comunicación de la Comisión - Estrategia de la UE para los biocarburantes, COM(2006)34 final. Comisión Europea, 2006.
- Consejo Europeo, 2006. Conclusiones de la Presidencia del Consejo de Europa 23/24 Marzo 2006. Documento del Consejo 7775/06. Consejo Europeo, 2006.
- Crouzet, 2001. *Calculation of nutrient surpluses from agricultural sources*. Informe técnico N° 51. Copenhague. Agencia Europea de Medio Ambiente. 62 páginas.
- Donald, P.F., Pisano, G., Rayment, M.D., Pain, D.J., 2002. 'The Common Agricultural Policy, EU enlargement and the conservation of Europe's farmland birds'. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- Elbersen. B. *et al.*, 2005. 'Large-scale biomass production and agricultural land use – potential effects on farmland habitats and related biodiversity'. Informe técnico, Contrato de estudio de la AEMA EEA/EAS/03/004. Wageningen-Copenhague, próxima aparición.
- EURuralis, 2004. *A scenario study on Europe's Rural Areas to support policy decisions*. Wageningen University and Research Center, RIVM.
- EUCAR, Concawe, JRC/IES, 2006. *Well-to-wheel analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*. Well-to-tank report. Version 26, marzo 2006.
- EuroCare, 2004. Outlooks on selected agriculture variables for the 2005 State of the Environment and the Outlook Report. EEA/RNC/03/016.
- FAO, 2005. *European Forest Sector Outlook Study: 1960-2000-2020*, Informe Principal de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Geneva Timber and Forest Study Paper 20, 2005.
- Feehan, J., Petersen, J.E., 2003. A framework for evaluating the environmental impact of biofuel use. Documento presentado en el taller de la OCDE sobre biomasa y agricultura. Junio 2003.
- Foppen, R.P.B, Bouwma, I.M., Kalkhoven, J.T.R., Dirksen, J., v. Opstal, J., 2000. *Corridors in the Pan-European Ecological Network*. ECNC Technical Series. ECNC, Tilburg.
- Foster, C., 1997, Biodiversity of wildlife in energy crop plantations. p. 87–108 In: Bijl. G. van der and E.E. Biewinga. Environmental impact of biomass for energy. Actas de una conferencia en Noordwijkerhout. Países Bajos 4–5 noviembre 1996.
- Fritsche, U.R., Dehoust, G., Jenseit, W., Hünecke, K., Rausch, L., Schüler, D., Wiegmann, K., Heinz, A., Hiebel, M., Ising, M., Kabasci, S., Unger, C., Thrän, D., Fröhlich, N., Scholwin, F., Reinhardt, G., Gärtner, S., Patyk, A., Baur, F., Bemmann, U., Groß, B., Heib, M., Ziegler, C., Flake, M., Schmehl, M., Simon, S., 2004. *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse*. Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Freiburg, Darmstadt, Berlin.
- Gewiese A. *et al.*, 1988. *Abfallvermeidung – Ein Modellversuch in Hamburg-Harburg im Jahre 1987*. Berlin: INECTUS 1988 quoted in *Abfallwirtschaft – Handbuch für Praxis und Lehre*, by: Bernd Bilitewski, Georg Hardtle, Klaus Marek.
- Heyer, C., 1841, *Die Waldertragsregelung*, Giessen.
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V, Evans, A.D., 2005. 'Does Organic farming benefit biodiversity?' *Biological Conservation* 122 (2005), páginas. 113–130.
- Hope, A., Johnson, B., 2003. Discussion Paper on Biofuels, Terrestrial Wildlife Team, English Nature.
- Humphrey, J.W., Sippola, A.-L., Lempérière, G., Dodelin, B., Alexander, K.N.A., Butler, J.E., 2004. *Dead wood as an indicator for biodiversity in European forests: From theory to operational guidance*. En: *Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operationality* Ed. M. Marchetti. European Forest Institute, Joensuu, páginas 193–206.
- IE, 2004. 2. *Zwischenbericht. Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext: Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern*, Institute for Energy and Environment, diciembre 2004.
- IE/BFH/HU/ÖKO, 2006. *Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext – Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern*. Informe del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (en imprenta), Leipzig etc.

- Image Team, 2001. *The IMAGE 2.2 implementation of the SRES scenarios: A comprehensive analysis of emissions, climate change and impacts in the 21st century*. Main disc. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, Países Bajos.
- Ingerslev, M., Mälkönen, E., Nilsen, P., Nohrstedt, H., Óskarsson, H., Raulund-Rasmussen, K., 2001. 'Main Findings and Future Challenges in Forest Nutritional Research and Management in the Nordic Countries'. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 16, páginas 488–501.
- Joanneum Research, European Forest Institute, Joint Research Centre, National University of Ireland, Finnish Forest Research Institute, Institute of Forest Ecosystem Research, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Hungarian Forest Research Institute, Ghent University, Federal Forest Research Centre Austria, Swedish University of Agricultural Sciences, University of Hamburg, Centre for Ecological Research and Forestry Applications, Universität Padua, 2005: CarboInvent – Multi- Source Inventory Methods For Quantifying Carbon Stocks And Stock Changes In European Forests. <http://www.joanneum.ac.at/carboinvent/index.php>
- Jongman, R., Bunce, R., Metzger, M., Mucher, C., Howard, D., 2005. 'A statistical Environmental classification of Europe: Objectives and Applications'. *Landscape Ecology*. En prensa.
- Kallio, A.M.I., Moiseyev, A., Solberg, B., 2004. *The global forest sector model EFI-GTM. The model structure*. European Forest Institute, Joensuu, Informe interno 15.
- Karjalainen, T., Pussinen, A., Liski, J., Nabuurs, G.-J., Erhard, M., Eggers, T., Sonntag, M., Mohren, F., 2002. 'An approach towards an estimate of the impact of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget: Germany as a case study'. *Forest Ecology and Management*. 162, páginas 87–103.
- Karjalainen, T., Asikainen, A., Ilavsky, J., Zamboni, R., Hotari, K.-E., Röser, D., 2004. Estimation of Energy Wood Potential in Europe. Finnish Forest Research Institute, Joensuu, Documentos de Trabajo del Finnish Forest Research Institute 06.
- Kruys, N., Jonsson, B.G., 1999. 'Fine woody debris is important for species richness on logs in managed boreal spruce forests of northern Sweden'. *Can. J. For. Res.* 29, páginas 1295–1299.
- MCPFE (Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques en Europa), 2003a. *State of Europe's forests 2003. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe*. Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques en Europa, Unidad de Enlace de Viena, Viena.
- MCPFE, 2003b. *Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management*. Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques en Europa, Unidad de Enlace de Viena.
- MCPFE, 2006, véase la página de Internet de la MCPFE <http://www.mcpfe.org/>.
- Metzger, M., Bunce, R., Jongman, R., Mucher, C., Watkins, J., 2005. 'A statistical classification of the environment of Europe', *Journal of Global Ecology and Biogeography*. En imprenta.
- Meuleman, B., Kuiper, L., Nabuurs, G.J., 2005. *EFFECT: EU forest for renewable energy to mitigate climate*. ECOFYS, Informe confidencial encargado por la DG Medio Ambiente de la Comisión Europea.
- Nabuurs, G.J., Päivinen, J., Pussinen, A., Schelhaas, M.J., 2003. *Development of European forests until 2050 – a projection of forests and forest management in thirty countries*. En el informe del European Forest Institute Research. Brill, Leiden, Boston, Colonia.
- Nikolaou, A., Remrova, M., Jeliakov, I., 2003. *Bioenergy's role in the EU Energy Market – Biomass availability in Europe*. Centre for Renewable Energy Sources, BTG Czech Republic s.r.o, ESD Bulgaria Ltd, Informe de la Comisión Europea.
- Offermann, F., 2003. *Quantitative Analyse der sektoralen Auswirkungen einer Ausdehnung des ökologischen Landbaus in der EU*. Berliner Schriften zur Agrar- und Umweltökonomik. Berlín.
- Opdam, P. J., Verboom, J., Pouwels R., 2003. 'Landscape cohesion: an index for the conservation potential of landscapes for biodiversity'. *Landscape Ecology* 18, páginas 113–126.
- Osterman, O. P., 1998. 'The need for management of nature conservation sites under Natura 2000'. *Journal of Applied Ecology* 35, páginas 968–973.
- Päivinen, R., Nabuurs, G.J., Lioubimow A.V., Kuusela, K., 1999. *The state, utilisation and possible future development of Leningrad region forests*, Joensuu, Finlandia, Documento de Trabajo 18 de EFI.
- Päivinen, R., Lehtikainen, M., Schuck, A., Häme, T., Väättäinen, S., Kennedy, P., Folving, S., 2001. *Combining Earth Observation Data and Forest Statistics*. Research Report 14. European Forest Institute, Joensuu.
- PE, 2005. *Informe sobre la cuota de las fuentes de energía renovables en la UE y propuestas de medidas concretas*,

- (2004/2153(INI)). Parlamento Europeo, Informador: Claude Turmes. A6-0227/2005.
- Ragwitz, M., Schleich, J., Huber, C., Resch, G., Faber, T., Voogt, M., Coenraads, R., Cleijne, H., Bodo, P., 2005. FORRES 2020: *Analysis of the renewable energy sources' evolution up to 2020*. Informe final. Karlsruhe, 2005. (Datos sobre el potencial primario proporcionado por M. Ragwitz, 2005).
- Reijnders, L., 2006. 'Conditions for the sustainability of biomass based fuel use', *Energy policy* 34, páginas 863–876.
- Reinhardt, G., Scheurlen, K., 2004. *Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien*. Anexo del informe a la Agencia Federal Alemana para la Conservación de la Naturaleza. Leipzig.
- Richardson, J., Björheden, R., Hakkila, P., Lowe, A.T., Smith, C.T., 2002. *Bioenergy from Sustainable Forestry: Guiding Principles and Practices*. Kluwer Academic, Dordrecht, Países Bajos.
- Samuelsson, H., 2002. *Recommendations for the extraction of forest fuel and compensation fertilising*. National Board of Forestry (Skogsstyrelsen), Jönköping, Meddelande. 3 – 2002.
- Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, C., Araujo, M., Arnell, N., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T., Gracia, C., de la Vega-Leinert, A., Erhard, M., Ewert, F., Glendining, M., House, J., Kankaanpää, S., Klein, R., Lavorel, S., Lindner, M., Metzger, M., Meyer, J., Mitchell, T., Reginster, I., Rounsevell, M., Sabate, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Zaehle, S., Zierl, B., 2005, 'Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe'. *Science* Vol 310 (25), páginas. 1333–1337.
- Schuck, A., Meyer, P., Menke, N., Lier, M., Lindner, M., 2004. *Forest biodiversity indicator: Dead wood – A proposed approach towards operationalising the MCPFE indicator*. En: *Monitoring and 41 Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operationality* Ed. M. Marchetti. European Forest Institute, Joensuu, páginas 49–77.
- Schuck, A., van Brusselen, J., Päivinen, R., Häme, T., Kennedy, P., Folving, S., 2002. *Compilation of a calibrated European forest map derived from NOAAVHRR data*. European Forest Institute, Joensuu, Informe interno 13 EFI.
- Siemons, R., Vis, M., v.d. Berg, D., Chesney, I.M., Whiteley, M., Nikolaou, N., 2004. *Bio-Energy's role in the EU Energy Market – A view of developments until 2020*. BTG biomass technology group BV, ESD Ltd, CRES, Informe a la Comisión Europea.
- Simon, S., 2005, *Nachhaltige Energetische Nutzung von Biomasse – dynamische Ermittlung von Biomassepotenzialen in der Landwirtschaft zur Generierung von Szenarien*. En: *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.*, Bd. 40/05, páginas 351–360
- Skovgaard, M., Moll, S., Møller Andersen, F., Larsen, H., 2005. Outlook for waste and material flows: Baseline and alternative scenarios, Documento de trabajo del CTE/GRR 2005/1, AEMA.
- Smith, K.A., Conan, F., 2004. 'Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases'. *Soil Use Management*: 20, páginas 255–263.
- Söderström, B., Pärt, T., 2000. 'Influence of Landscape scale on Farmland birds breeding in semi-natural pastures'. *Conservation Biology* 14, páginas 522–533.
- Stolze, M., Piorr, A., Häring, A.M., Dabbert, S., 2000. *The environmental impacts of organic farming in Europe*. Organic Farming in Europe: Economics and Policy Vol. 6. Universität Hohenheim, Stuttgart-Hohenheim.
- Sverdrup, H., Rosen, K., 1998. 'Long-term base cation mass balances for Swedish forests and the concept of sustainability'. *Forest Ecology and Management*. 110, páginas 221–236.
- Tucker, G.M., Evans, M.I., 1997. *Habitats for Birds in Europe: a conservation strategy for the wider environment*. BirdLife Conservation Series No 6. Cambridge, Great Britain, BirdLife International.
- Vellinga, V, van den Pol-van Dasselaar, A., Kuikman, P.J., 2005. 'The impact of grassland ploughing on CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in the Netherlands'. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70: páginas 33–45.
- Vickery, J., Bradbury, R., Henderson, I., Eaton, M., Grice, P., 2004. 'The role of agri-environment schemes and farm management practices in reversing the decline of farmland birds in England'. *Biological conservation* 119, páginas 19–39.
- Vos, C.C., Verboom, J., Opdam, P., Ter Braak, P., 2001. 'Toward ecologically scaled landscape indices'. *The American Naturalist*, Vol: 183, N<sup>o</sup> 1.

Wadsworth, R.A., Carey, P.D., Heard, M.S., Hill, M.O., Hinsley, S.A., Meek, W.R., Pannell, D.J., Ponder, V., Renwick, A.W., James, K.L., 2003. *A review of Research into the environmental and socioeconomic impacts of contemporary and alternative cropping systems*. Informe para Defra

# Anexo 1. Hipótesis del escenario general

**Tabla A1 Principales características de un escenario LCEP con aumento de las energías renovables**

	1990	2000	2010	2020	2030
<b>Consumo interior bruto de energía (ktep)</b>	<b>1.554.333</b>	<b>1.650.700</b>	<b>1.761.899</b>	<b>1.816.685</b>	<b>1.826.931</b>
Combustibles sólidos	430.600	303.200	206.326	120.821	76.653
Combustibles líquidos	596.184	635.600	612.963	606.535	556.740
Gas natural	259.191	376.000	488.644	581.831	595.089
Nuclear	196.944	237.700	245.307	210.248	203.595
Electricidad	2.180	2.100	2.091	2.057	2.363
Fuentes de energía renovables	69.234	96.100	206.567	295.194	392.491
<b>Producción de electricidad (GWh<sub>e</sub>)</b>	<b>2.455.642</b>	<b>2.897.900</b>	<b>3.397.131</b>	<b>3.849.729</b>	<b>4.129.689</b>
Nuclear	780.025	921.200	952.609	822.467	841.517
Hidro — renovables	272.737	359.500	552.169	765.127	987.556
Térmica (incluida la biomasa)	1.402.880	1.617.200	1.892.352	2.262.134	2.300.616
<b>Demanda de energía final (ktep)</b>	<b>1.009.710</b>	<b>1.074.400</b>	<b>1.186.945</b>	<b>1.263.169</b>	<b>1.290.128</b>
Industria	327.201	309.100	333.635	353.867	366.828
Terciario	140.665	279.100	167.344	182.718	194.877
Sector doméstico	268.112	154.200	303.361	315.269	311.552
Transportes	273.732	332.000	382.606	411.316	416.871
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (Mt de CO<sub>2</sub>)</b>	<b>3.769,5</b>	<b>3.664,9</b>	<b>3.441,4</b>	<b>3.279,6</b>	<b>2.984,1</b>
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (índice 1990 = 100)</b>	<b>100</b>	<b>97,2</b>	<b>91,3</b>	<b>87</b>	<b>79,2</b>
<b>Precios de la energía</b>					
Crudo (EUR <sub>2.000</sub> /GJ)	4,03	5,30	3,78	4,60	5,32
Hulla (EUR <sub>2.000</sub> /GJ)	1,89	1,39	1,36	1,32	1,28
Gas natural (EUR <sub>2.000</sub> /GJ)	2,25	2,93	3,21	3,94	4,44
Prima por renovable (EUR-cent/kWh)	0	0	1,2	2,4	4,5
Precio derechos emisión (EUR /tCO <sub>2</sub> )	0	0	12	30	65
<b>Indicadores</b>					
Población (1.000)	441.127	453.400	461.227	462.113	458.161
PIB (1.000 MEUR <sub>2000</sub> )	7.315	8.939	11.433	14.462	18.020
Consumo interior bruto/PIB (tep/MEUR <sub>2000</sub> )	212,5	184,7	154,1	125,6	101,4
Consumo interior bruto/persona (ktep/persona)	3.524	3.641	3.820	3.931	3.988
Uso de tep para mantener la coherencia					
Emisiones de CO <sub>2</sub> /persona (t de CO <sub>2</sub> /persona)	8,5	8,1	7,5	7,1	6,5
CO <sub>2</sub> por unidad de PIB (t de CO <sub>2</sub> /MEUR <sub>2000</sub> )	515,3	410,0	301,0	226,8	165,6
Intensidad de carbono (t de CO <sub>2</sub> /tep)	2,4	2,22	2,0	1,8	1,6
Dependencia de las importaciones (%)	44,8	47,2	50,0	56,1	55,5

Fuente: AEMA, 2005a.

## Anexo 2. Cuota de la agricultura orientada al medio ambiente

**Tabla A2 Cuota estimada actual y futura de agricultura orientada al medio ambiente en SAU expresada en clases**

Año:	Clases			
	2000	2010	2020	2030
Alemania	2	3	5	6
Austria	6	6	6	6
Bélgica	1	2	3	6
Chipre	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Dinamarca	2	3	5	5
Eslovaquia	6	6	6	6
Eslovenia	7	7	7	7
España	7	7	7	7
Estonia	5	6	6	6
Finlandia	3	4	5	6
Francia	4	5	6	6
Grecia	7	7	7	7
Hungría	4	5	6	6
Irlanda	5	6	6	6
Italia	6	6	6	6
Letonia	5	6	6	6
Lituania	5	6	6	6
Luxemburgo	1	2	3	5
Maltas	4	4	5	5
Países Bajos	1	2	3	5
Polonia	3	4	5	6
Portugal	7	7	7	7
Reino Unido	5	5	6	6
Suecia	5	5	6	6

Clases:	
0-4,9%	1
5-9,9%	2
10-14,9%	3
15-19,9%	4
20-24,9%	5
25-30%	6
> 30%	7

**Nota:** Las cuotas de agricultura orgánica están basadas en Offermann (2003). Las cuotas de zonas agrícolas de AVN para la UE15 están basadas en AEMA/PNUMA, 2004. Las cuotas de zonas agrícolas de AVN para los nuevos Estados miembros se estimaron a partir de una combinación de datos seleccionados del Inventario Corine de cobertura y usos del suelo del año 2000 y de estimaciones sobre los pastizales seminaturales. No había datos disponibles para Chipre.

# Anexo 3. Comparación orientativa de los precios de los cultivos bioenergéticos con respecto a los precios de los productos básicos

Los costes de los cultivos bioenergéticos se determinaron a partir del "precio sombra" de su alimento/pienso equivalente en el desarrollo del mercado mundial (basado en previsiones de la DG Agricultura y de la FAO) y los costes relativos de cultivo y la agricultura. También se tuvo en cuenta el "atractivo" de su valor energético con respecto al petróleo y las emisiones de CO<sub>2</sub> que se evitan, expresadas en ahorros equivalentes de CO<sub>2</sub> cuando se comparan con el petróleo. Las hipótesis sobre los precios del petróleo y de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> se obtuvieron de un escenario reciente propuesto por la AEMA (AEMA, 2005a). Los mismos cálculos se realizaron con un precio del petróleo más alto que el utilizado por la AEMA (2005a). Este análisis de sensibilidad se realizó con el objetivo de reflejar la evolución de precios más reciente.

La evaluación concluye que para diferentes tecnologías de conversión energética (por ejemplo el calor, la combustión o los biocarburantes de segunda generación), el valor monetario energético (es decir, su valor de mercado) de (algunos) cultivos bioenergéticos es más alto que el del producto básico.

**Tabla A3.1 "Valor" relativo de la energía y el CO<sub>2</sub> frente al precio de los productos básicos a 35 EUR por barril de petróleo en 2030**

Combustible	2010	2020	2030
- EMAG	53 %	65 %	81 %
- etanol	51 %	67 %	87 %
- SRF	71 %	98 %	132 %
- etanol lignocelulósico	57 %	75 %	99 %
- biogás (doble cultivo)	111 %	147 %	194 %

**Note:** El 100% corresponde al precio del producto básico pagado. Los precios de los productos básicos son los precios globales (excluidas las subvenciones) obtenidos de la FAO.

El precio pagado por el uso energético de los cultivos está basado en hipótesis sobre la evolución de los precios del combustible y de los derechos de emisión de carbono (no se incluyen las primas por cultivo energético). Se asume que el precio del petróleo será de 35 EUR por barril en 2030 y se espera que el precio de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> suba a 65 EUR/tCO<sub>2</sub>.

**Tabla A3.2 "Valor" relativo de la energía y el CO<sub>2</sub> frente al precio de los productos básicos a 50 EUR por barril de petróleo en 2030**

Combustible	2010	2020	2030
- EMAG	79 %	107 %	129 %
- etanol	61 %	84 %	108 %
- SRF	100 %	138 %	168 %
- etanol lignocelulósico	74 %	107 %	136 %
- biogás (doble cultivo)	151 %	210 %	260 %

**Notes:** Se plantean las mismas hipótesis que en la tabla A.3, salvo para el precio del petróleo. Se asume que el precio del petróleo subirá a 50 EUR el barril en 2030, además del precio de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub>.

Para el sector forestal se llegó a una conclusión similar. En este caso se introdujeron los costes de recolección y astillado y se compararon con los precios del petróleo. Los precios asumidos en este estudio para los derechos de emisión de carbono y el precio asumido del petróleo de 35 EUR por barril en 2003 corresponderían a un "valor energético" de virutas de madera de aproximadamente 44 EUR, 64 EUR y 94 EUR por metro cúbico de virutas de madera seca para 2010, 2020 y 2030 respectivamente. Si se asumiera un precio más alto de 50 EUR por barril, los valores energéticos resultantes de las virutas de madera serían de 54 EUR, 78 EUR y 120 EUR por metro cúbico de madera seca en 2010, 2020 y 2030 respectivamente. Asimismo, la creciente cuota de madera es cada vez más competitiva en el mercado energético que en el mercado de "materiales" (por ejemplo, pulpa/papel o productos de madera).

# Anexo 4. Presiones ambientales por cultivo

**Tabla A.4 Presiones ambientales por cultivo**

	Pasto permanente		Pasto temporal		Maíz		Doble cultivo		Semilla de mostaza		Cáñamo		Lino (aceite)	
	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación
Erosión	A	Ofrece cobertura del suelo durante todo el año	A	Ofrece cobertura del suelo durante todo el año	C	Suelo sin cobertura durante tiempo prolongado, cultivo en hileras	A	Laboro mínimo, cobertura del suelo larga/permanente	A (B)	Ofrece cobertura durante el invierno, no es siempre un cultivo denso	A/B	Cultivo de verano, pero ofrece buena cobertura del suelo	A/B	Puede ofrecer cobertura en invierno, no es siempre un cultivo denso
Compactación del suelo	A	Uso de maquinaria poco frecuente (sólo para fertilización y corte)	A/B	No necesita maquinaria pesada	B	Sistema radicular poco desarrollado; uso medio de maquinaria	A	Laboro mínimo, cobertura del suelo larga/permanente	A	Raíces primarias largas, pueden paliar los efectos de la compactación del suelo	A	Sistema radicular denso y profundo	A	Cultivo de cobertura invernal, raíces primarias largas, pueden paliar los efectos de la compactación del suelo
Lixiviación de nutrientes a las aguas subterráneas y superficiales	A	Insumos nulos/ extensivos, buen uso de nutrientes, cobertura del suelo permanente	B	Posible pérdida de nutrientes tras el arado	C	Alta demanda y a menudo muy fertilizado	A	Demanda moderada, buena absorción de fertilizante	A/B	Demanda media, buena absorción de fertilizantes	A	Demanda moderada, buena absorción de fertilizantes	A	Demanda moderada, buena absorción de fertilizantes
Contaminación de suelos y agua por plaguicidas	A	Uso de plaguicidas generalmente nulo o bajo	A	Uso de plaguicidas generalmente nulo o bajo	C	Uso elevado de plaguicidas debido a poca capacidad competitiva, sujeto a muchas enfermedades	A	Uso generalmente nulo de plaguicidas	B	Generalmente pocos tratamientos de plaguicidas	A	Uso generalmente nulo de plaguicidas	B	Generalmente pocos tratamientos de plaguicidas
Captación de agua	A	Normalmente sin riego	A	Normalmente sin riego	A/B	Rendimiento hídrico alto (C4), pero riego frecuente	A/B	Depende de los cultivos	B	Alta demanda de agua	B	Requiere suelos profundos con buen suministro de agua	A	Baja demanda de agua
Riesgo de incendio	B	El riesgo depende de la gestión de la cubierta en las regiones áridas en verano	B	El riesgo depende de la gestión de la cubierta en las regiones áridas en verano	—	n/d	n/d	n/d	—	n/d	—	n/d	—	n/d
Vinculadas con la biodiversidad de las tierras de cultivo	A	Insumos químicos nulos o bajos, los pastos más antiguos a menudo muy ricos en especies	B/C	A menudo gestión muy intensiva, baja diversidad de especies con varios cortes al año	C	Uso alto de plaguicidas, baja diversidad de malas hierbas, algo de refugio en otoño	B	Bajo uso de insumos, puede ser rico en flores, pero puede ser cortado varias veces al año, lo que tiene un impacto directo sobre la vida silvestre	B	Uso de insumos entre medio y bajo, fuente de néctar, estructura no demasiado densa	B	Bajo uso de insumos, cultivo atractivo como refugio	A/B	Bajo uso de insumos, estructura de cultivo abierto con malas hierbas, puede proporcionar forraje en otoño
Diversidad de los tipos de cultivo	A	Aporta diversidad en regiones cultivables	A	Aporta diversidad en regiones cultivables	B/C	Es el cultivo dominante en algunas regiones, autotolerante	A	Un nuevo enfoque e incorpora varios cultivos	A	Alta, pues no es común actualmente	A	Alta, pues no es común actualmente	A	Alta, pues no es común actualmente

**Nota:** A quiere decir riesgo bajo, B quiere decir riesgo medio, C quiere decir riesgo alto, n/d quiere decir no aplicable; el criterio no es relevante porque el cultivo sólo crece bajo determinadas condiciones climáticas. El eucalipto no se considera parte de una combinación de cultivos compatible con el medio ambiente.

## Anexo 4. Presiones ambientales por cultivo

	Trébol/Alfalfa		Remolacha azucarera		Colza oleaginosa		Girasol		Patatas		Otros cereales		Trigo	
	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación
Erosión	A	Ofrece cobertura del suelo durante todo el año	C	Cultivo en hileras, siembra tardía, por tanto, suelo desnudo hacia el final de la primavera	B	Cultivo en hileras, deja el suelo desnudo hacia finales de primavera	B/C	Cultivo en hileras, deja el suelo desnudo hacia finales de primavera	C	Cultivo en hileras, deja el suelo desnudo hacia finales de primavera	A	Cereales en invierno que ofrecen buena cobertura del suelo	A	Trigo de invierno, ofrece buena cobertura del suelo
Compactación del suelo	A/B	No necesita maquinaria pesada, cobertura permanente del suelo	C	Maquinaria pesada y la cosecha originan compactación del suelo	A	Sistema radicular denso y profundo	A	Sistema radicular denso y profundo	C	Maquinaria pesada y masa cosechada originan compactación del suelo	A	Sistema radicular intensivo, cosecha con tiempo seco	A	Sistema radicular intensivo, cosecha en invierno seco
Lixiviación de nutrientes a las aguas subterráneas y superficiales	B	Posibles pérdidas tras el arado (cultivos leguminosos)	B/C	Alta demanda de fertilizantes y riesgos de erosión del suelo	B/C	Alta demanda, el riesgo de lixiviación depende del uso de los residuos de la cosecha	A/B	Demanda moderada, buena absorción de fertilizante	B/C	Demanda moderada, pero crecimiento tardío y riesgos de erosión del suelo	A	Demanda moderada, buena absorción de fertilizantes	A	Mayor demanda de fertilizantes, pero buena absorción
Contaminación de suelos y agua por plaguicidas	A	Uso generalmente nulo de plaguicidas	B	Varios tratamientos de plaguicidas para eliminar las malas hierbas	C	Varios tratamientos de plaguicidas para combatir las plagas	B	Puede soportar varios tratamientos de plaguicidas para combatir plagas	B	Uso de plaguicidas bastante intensivo	A	Número moderado de tratamientos de plaguicidas	B	Generalmente, alto número de tratamientos de plaguicidas
Captación de agua	A (B)	Requiere cierta humedad del suelo, la alfalfa se riega en el sur de Europa	A/C	En el sur de Europa se riega a menudo	n/d	n/d	B	Consumo eficiente de agua, pero con riego frecuente mayor crecimiento	C	Normalmente en suelos arenosos/ con alta demanda de agua riego frecuente	A	Demanda de agua moderada	B	El cereal con mayor demanda de agua
Riesgo de incendio	—	n/d	—	n/d	—	n/d	A	Riego generalmente bajo ya que se cosecha al inicio del verano	—	n/d	A	Riesgo generalmente bajo ya que se cosecha al inicio del verano	A	Riesgo generalmente bajo, ya que se cosecha al inicio del verano
Vinculada con la biodiversidad de las tierras de cultivo	A/B	Bajo uso de insumos, fuente de néctar, fuente de pienso y puede proporcionar refugio	B	A menudo uso alto de plaguicidas, pero puede servir como hábitat de nidificación y ofrecer refugio en otoño	B/C	Uso alto de plaguicidas, oferta de polen, pero cultivo muy denso	A/B	Bajo uso de insumos cuando no se riega, proporciona polen, diversidad de malas hierbas y posible rastreo en invierno	B/C	Uso de plaguicidas generalmente alto, gestionado de forma intensiva, pero puede ofrecer refugio en invierno	B	Uso medio de insumos, puede tener estructura abierta: hábitat de nidificación si se cultiva en primavera	B/C	Uso de insumos generalmente alto, cultivo denso
Diversidad de los tipos de cultivo	A	Aporta diversidad en regiones cultivables	B	Común en zonas intensivas, pero no autotolerante	A/B	Común en algunos Estados miembros	B	Muy común en Bulgaria y Rumania (España y Portugal)	B	Muy común en algunos Estados miembros	B	(Muy) común	C	El cereal más común

Anexo 4. Presiones ambientales por cultivo

	Sorgo		Caña común <i>Arundo donax</i>		Cardo <i>Cynara cardunculus</i>		Eucalipto (selvicultura de ciclo corto)		Chopo (selvicultura de ciclo corto), sauce		Phalaris <i>Phalaris arundinacea</i>		Pasto varilla <i>Panicum virgatum</i>	
	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación	Clasificación	Justificación
Erosión	A	Buena cobertura del suelo si hay suficiente disponibilidad de agua	A	Cultivo permanente, por tanto, buena cobertura del suelo	A	Cultivo permanente, por tanto, buena cobertura del suelo	A(B)	Cultivo permanente, pero deja desnudo el suelo bastante	A	Cultivo permanente, por tanto, buena cobertura del suelo	A	Cultivo permanente, por tanto, buena cobertura del suelo	A	Cultivo permanente, por tanto, buena cobertura del suelo
Compactación del suelo	A	Sistema radicular profundo	A	Raíces profundas, cultivo permanente	A	Raíces profundas, cultivo permanente	A	Raíces profundas, cultivo permanente	A	Raíces profundas, cultivo permanente	A	Raíces profundas, cultivo permanente	A	Raíces profundas, cultivo permanente
Lixiviación de nutrientes a las aguas subterráneas y superficiales	A	Sólo requiere fertilización básica	A/B	Demanda de nutrientes de media a moderada; cobertura del suelo permanente	A	Datos insuficientes	A	Absorbe muchos nutrientes	A	Importante demanda de nutrientes, pero también buena absorción; cobertura del suelo permanente	A/B	Alta demanda de nutrientes; cobertura del suelo permanente	—	Datos insuficientes
Contaminación de suelos y agua por plaguicidas	B/C	Numerosas enfermedades, no muy competitivo al principio	A	Muy competitivo, por tanto, necesidad de plaguicidas nula o baja	A	Muy competitivo, por tanto, necesidad de plaguicidas nula o baja	A	Muy competitivo	A	Muy competitivo, por tanto, necesidad de plaguicidas nula o baja	A	Insumos necesarios muy bajos	—	Datos insuficientes
Captación de agua	A/C	La demanda de agua depende de la variedad usada	B/C	Requiere cierta humedad del suelo; sospechoso de alterar los regímenes hidrológicos y de reducir la disponibilidad al transpirar grandes cantidades de agua en condiciones semiáridas	A	Bien adaptado al clima mediterráneo	B	Requiere cierta humedad del suelo; sospechoso de alterar los regímenes hidrológicos y de reducir la disponibilidad al transpirar grandes cantidades de agua en condiciones semiáridas	B	Demanda de agua elevada, pero no se espera necesidad de riego	A/B	Necesita hábitats húmedos y fértiles; alta demanda de agua	A	Resistente a la sequía y uso eficiente (C4), pero debido a sus raíces profundas, posible extracción de aguas subterráneas
Riesgo de incendio	A	Ningún riesgo de incendio ya que se utiliza completamente	C	La caña común es muy inflamable durante casi todo el año y parece muy adaptada a situaciones de incendio "extremas"	—	Datos insuficientes	C	Debido a su alto contenido en aceite	—	n/d	—	Datos insuficientes	—	Datos insuficientes
Vinculada con la biodiversidad de las tierras de cultivo	B	Uso bajo de insumos, puede ser de cultivo abierto y fuente de alimentos (semillas)	B	Uso de plaguicidas nulo/bajo; puede ser hábitat de nidificación y ofrece refugio en invierno	B	Uso de pesticida nulo/bajo; puede ofrecer refugio en invierno, probable fuente de polen	C	Suprime casi todas las demás plantas	A/B	Uso de plaguicidas bajo/nulo; hábitat de nidificación y ofrece refugio para el invierno; puede tener impactos negativos sobre las estructuras de paisaje abierto	B	Uso de plaguicidas nulo/bajo; puede ofrecer refugio en invierno	B	Uso de plaguicidas nulo/bajo; puede ofrecer refugio en invierno
Diversidad de los tipos de cultivo	B	Relativamente común en regiones secas	A	Actualmente no muy común	A	Actualmente no muy común	C	Actualmente común en el sur	A	Actualmente no muy común	A	Actualmente no muy común	A	Actualmente no muy común

## Anexo 5. Poderes caloríficos netos

**Tabla A5.1 Poder calorífico inferior, rendimiento de materia seca y rendimiento energético por hectárea, por cultivo agrícola**

	PCI GJ/tMS	Rendimiento en tMS/ha	GJ/ha
Doble cultivo, óptimo	15,2	17,5	266,0
Planta entera de maíz	16,5	13,0	214,5
Maíz grano	21,4	9,5	203,3
Planta entera de triticale	16,4	12,0	196,8
Doble cultivo, rendimiento reducido	15,2	12,5	189,4
Planta entera de trigo	17,1	10,0	171,0
Chopo (cultivo de ciclo corto)	18,5	7,5	138,8
Sauce (cultivo de ciclo corto)	18,4	7,5	138,0
Trigo grano	17,0	6,0	102,0
Cebada/triticale grano	17,0	5,5	93,5
Semillas de colza	26,5	2,5	66,3
Semillas de girasol	26,5	2,5	66,3
Remolacha azucarera	1,9	14,0	26,6

**Nota:** Se espera que los sistemas de doble cultivo tengan un rendimiento energético relativamente alto por hectárea porque implican el aprovechamiento de todo el cultivo. Sin embargo, conviene destacar que estos sistemas de doble cultivo se pueden aplicar probablemente en un reducido número de Estados miembros concentrados en las zonas atlántica, continental y alpina. Estas zonas tienen índices de precipitación suficientes para este tipo de cultivo.

### Factores de conversión utilizados para la biomasa de la silvicultura:

1 Gg de biomasa (seco en estufa) = 18,6 TJ  
 1 m<sup>3</sup> de madera (seco en estufa) = 8,714 GJ

**Tabla A5.2 Poderes caloríficos netos utilizados para diferentes flujos de residuos**

Flujo de residuos	PCN (GJ/t en la cosecha/estado de entrega)	Notas
Residuos sólidos agrícolas (cereales)	14,6	Asumiendo 15% de humedad en la cosecha
Residuos sólidos agrícolas (sarmientos)	8,2	Asumiendo 50% de humedad en la cosecha
Gallinaza	9,3	
Escombros de madera	13,5	Basado en madera blanda (33% de humedad)
Residuos de madera de embalaje	13,4	Asumiendo una proporción de 50:50 entre madera dura y madera blanda (33% de humedad)
Residuos de madera doméstica	13,0	
Residuos de transformación de la madera	13,0	

# Anexo 6. Posibles medidas políticas de influencia sobre el impacto ambiental de los cultivos bioenergéticos

En la tabla A6 se indican una serie de posibles medidas para minimizar o mejorar el impacto ambiental de los cultivos bioenergéticos sobre el suelo agrícola. Se presta especial atención a los instrumentos de política agrícola, si bien sería posible desarrollar un enfoque similar para el sector de la silvicultura. El análisis que se presenta a continuación es un primer intento para estructurar y evaluar una serie de posibles medidas políticas relevantes para la producción de cultivos bioenergéticos. Además, es necesario realizar un estudio más detallado para evaluar la idoneidad de los diferentes instrumentos políticos a nivel nacional.

Las cuatro primeras medidas posibles son especialmente adecuadas como refuerzo o apoyo de las normas generales de gestión ambiental. Las medidas 5, 6 y 7 son las que tienen el mayor potencial para facilitar sistemas de cultivo específicos o tecnologías de conversión, por ejemplo, el uso de pastizales para la producción de energía. Las medidas 8 y 9 son herramientas importantes para la planificación y mejora de las políticas desde la escala regional a la europea. La evaluación de las distintas opciones políticas podría ser más extensa, pero era inviable en esta fase

**Tabla A6 Posibles medidas políticas para influir en el impacto ambiental del cultivo bioenergético**

Medida	Ventajas	Desventajas	Preguntas sobre la aplicación
1) Certificación medioambiental de la producción bioenergética	Crea incentivos para el cambio del comportamiento; fomenta un uso óptimo de los recursos.	Puede que no sea fácil de establecer; dificultades a la hora de definir los criterios.	¿Voluntaria u obligatoria? ¿Cuáles son las normas y las bases de referencia ambientales precisas? ¿Son sólo medidas de ahorro de recursos y aportaciones? ¿Podrían limitar también la productividad por ha? ¿Quién organiza y paga los controles?
2) Ecocondicionalidad	Usa los instrumentos existentes; podría aplicarse ampliamente a los agricultores; ya tiene un alcance ambiental.	Sólo impone unas normas mínimas; se tiene que comprobar su eficacia.	Es necesario adaptar la legislación existente. ¿Sólo para cubrir el uso de insumos, etc. o podría fijar también una cuota máxima para ciertos cultivos?
3) Normas específicas para cada zona; por ejemplo, limitar el uso de determinados cultivos en determinadas zonas	Posiblemente un instrumento muy directo y muy robusto; protege las zonas de alto interés ambiental.	Es probable que sea difícil sacarla adelante sin una compensación; es de esperar resistencia política; no es muy flexible y es "injusta" para algunos agricultores de las zonas afectadas.	¿Es apropiada una prohibición global de ciertos cultivos (en zonas específicas)? ¿Cómo identificar los cultivos y delimitar las zonas? ¿Uso de Natura 2000 y/o zonas agrícolas de AVN?
4) Asesoramiento agrícola ambiental	Aumenta la concienciación general y la colaboración de los agricultores; debería mejorar la eficiencia de la gestión de aportaciones.	Su efecto depende enormemente de la reacción de los agricultores; la puesta en práctica del asesoramiento no está garantizada.	¿Sabemos suficiente sobre cómo gestionar los cultivos energéticos desde un punto de vista ambiental? ¿Cómo podemos garantizar una capacidad de asesoramiento y una difusión suficientes?
5) Favorecer determinadas combinaciones de cultivos a través de primas	Deja cierta flexibilidad a los agricultores, podría tener un efecto de gran alcance.	Es difícil prever cómo favorecer determinadas combinaciones de cultivos; parece bastante complejo; los efectos pueden ser sólo indirectos.	¿Qué sucede si los cultivos objetivo pasan a ser los dominantes? ¿Usar un tope para el pago de altos niveles de diversidad de cultivos?
6) Apoyo a las inversión para sistemas de conversión específicos	Fomenta los enfoques innovadores; puede ser rentable si se limita a la fase inicial.	Beneficios ambientales no garantizados si no se hace un seguimiento estricto; la mayor aplicación en el ámbito de las explotaciones agrarias no es automática.	¿Podría favorecer a los pastizales seminaturales a través de tecnologías novedosas?
7) Medidas de desarrollo rural para redes locales de "cultivos para la energía"; inclusión de los enfoques LEADER	Se garantizaría el desarrollo local; conduciría a sistemas ambientalmente adaptados; mayor comprensión por parte de una amplia gama de actores en el ámbito local.	Ya existen muchas demandas de política sobre desarrollo rural; puede ser un instrumento difícil de usar; su impacto depende de las aplicaciones que hagan los receptores potenciales.	¿Cuáles serían las medidas adecuadas? ¿Tenemos que introducir medidas adicionales en los menús del programa de Desarrollo Rural? ¿Cómo se puede abordar el aspecto integrado de unos sistemas tan locales?
8) Planificación regional/Análisis DAFO	Debería conducir a un enfoque integral; obtiene el compromiso de las partes (locales) interesadas; ayuda a evaluar los efectos colaterales no intencionados, por ejemplo, sobre el valor turístico de ciertos paisajes.	Enfoque de medio a largo plazo; Aplicación incierta; depende de otros instrumentos para su aplicación.	¿Qué procesos estratégicos existentes deberían abordar la planificación estratégica de los cultivos energéticos? ¿Existe un interés/conocimiento suficiente en el ámbito local? ¿Cómo se puede combinar con medidas de ayuda complementarias?
9) Seguimiento y evaluación	Aumenta el conocimiento sobre los efectos ambientales de los cultivos bioenergéticos; clave para una política (planificación) mejor.	Impacto potencial sólo a largo plazo; "conocer" no equivale a "actuar"; reticencia a la hora de invertir dinero en esta área.	¿Cómo diseñarlas de forma adecuada? ¿Cómo financiarlas? ¿Cómo integrarlas en las decisiones políticas?

## Anexo 7. Abreviaturas

---

AEMA	Agencia Europea de Medio Ambiente
AOMA	Agricultura orientada al medio ambiente
AVN	Agricultura de alto valor natural
BFH	Instituto Federal de investigación forestal y maderera, Hamburgo ( <i>Bundesanstalt für Forst- und Holzforschung, Hamburg</i> )
BtL	Biomasa líquido (biocarburantes de la síntesis Fischer-Tropsch)
CTE	Centro Temático Europeo (de la Agencia Europea de Medio Ambiente)
EFISCEN	Escenario Europeo de Información Forestal ( <i>European Forest Information Scenario</i> )
EM	Estados miembros de la Unión Europea
EMAG	Éter metílico de ácidos grasos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma
FSC	Consejo de Administración Forestal ( <i>Forest Stewardship Council</i> )
GEI	Gas de efecto invernadero
GJ	GigaJulios
GWh	GigaWatio-hora
ha	Hectárea
HEKTOR	HektarKalkulator
IE	Instituto de Energética y Medio Ambiente, Leipzig ( <i>Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig</i> )
LCEP	Modelo de baja generación de carbono
MCPFE	Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques en Europa
MJ	MegaJulios
Mtep	Millones de toneladas equivalentes de petróleo
ONG	Organización no gubernamental
PAC	Política Agrícola Común
PCI	Poder calorífico inferior (también potencia calorífica neta)
PCN	Poder calorífico neto (también poder calorífico inferior)
PRIMES.	Modelo energético liderado por la Universidad de Atenas; utilizado por la AEMA y la DG Energía y Transportes
RSU	Residuos sólidos urbanos
SAU	Superficie Agraria Útil
SCC	Selvicultura de ciclo corto
UE	Unión Europea
ZmA	Zona ambiental



