



PUY, N. et al (2009): "El uso de la biomasa y la gestión de los bosques", por N. Puy, S. Alíer y J. Bartrolí, en *Medi Ambient, Tecnologia i Cultura*, nº 44, pp. 96-102.

Por lo tanto, la composición de la biomasa útil como fuente energética y de producto químico está determinada por el conjunto de lignina, celulosa y hemicelulosa que tenga o pueda aportar. Ello tendrá unas implicaciones y unos efectos muy distintos según el tipo de biomasa que se utilice, si esta biomasa compete o no con la industria de la alimentación, y según el proceso de transformación.

El gas natural y el petróleo necesitan miles de años para transformarse a partir de biomasa vegetal, y, por lo tanto, si se queman o se aprovechan químicamente, la velocidad de eliminación del recurso de su sumidero supera la velocidad de formación, y se agota la materia del sistema. En cambio, la biomasa vegetal se renueva continuamente, y cierra un ciclo con cierta «rapidez».

El porcentaje en peso de la biomasa vegetal seca consiste aproximadamente en un 40-60 % de celulosa, un 20-40 % de hemicelulosa y un 10-25 % de lignina. De estos tres productos sólo los dos primeros son valorizables, lo que significa que cuando se aprovecha la biomasa como fuente energética se genera un residuo final. Es preciso mencionar también que no todos los tipos de biomasa contienen las mismas cantidades de celulosa, hemicelulosa y lignina. En la tabla 1 se muestran algunas fuentes de biomasa vegetal y forestal que

La biomasa natural puede llegar a tener un considerable interés en los países en desarrollo, porque la madera es el principal biocombustible en estos países. La mitad de la producción anual de la madera en rollo se utiliza para generar energía. Más de 2.000 millones de personas en el mundo dependen de la madera para sus necesidades energéticas diarias, sobre todo para cocinar, calentar los hogares y para la pequeña industria (Rosillo-Calle, Groot, [et al.], 2007).

Las necesidades actuales han suscitado el interés por la biomasa en esta parte del mundo, hecho que podrá afectar a los bosques, puesto que las superficies forestales ocupan tierras que podrían destinarse a la producción agrícola para obtener biocombustibles líquidos. Por lo tanto, la biomasa natural se abre a dos caminos totalmente diferentes, con un equilibrio que puede ser extremadamente frágil: su uso racional puede dar lugar a una clara reducción de la pobreza con una fuente energética rentable y disponible localmente pero que debería ser respetuosa con el medio ambiente; aun así, también podría implicar la deforestación y la degradación de los bosques y de las tierras fértiles donde hasta ahora estaban implantados.

Por el contrario, la biomasa residual se obtiene como

Tabla 1. Porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina para varios tipos de biomasa (adaptado de Mohan, Pittman et al., 2006; Ragauskas, Williams et al., 2006).

| Fuente | Celulosa % | Hemicelulosa % | Lignina % |
|---------------------------|------------|----------------|-----------|
| Paja de avena | 40-44 | 28-30 | 20-22 |
| Madera | 44-50 | 26-30 | 17-30 |
| Residuo de caña de azúcar | 50 | 20 | 30 |
| Residuo de maíz | 36 | 23 | 17 |
| Paja de maíz | 33 | 25 | 23 |
| Paja de arroz | 34 | 25 | 23 |

Biomasa como materia prima

Con el nombre de biomasa, que es un término genérico, se indica la cantidad de materia viva producida por plantas, animales, hongos y bacterias en una zona determinada, o también la cantidad de energía que se puede obtener directa o indirectamente a partir de estos recursos biológicos.

En general, se puede decir que la biomasa representa una forma de almacenar una determinada cantidad de energía. Como ejemplo, se dice que por cada tres kilogramos de biomasa se puede conseguir la misma energía que con un litro de gasolina, puesto que el poder calorífico medio de la biomasa es de 15 MJ/kg, mientras que el de la gasolina es de 44 MJ/kg y el del gasoil, 42 MJ/kg.

La fuente inicial de la energía presente en la biomasa es el sol. Esta energía solar queda almacenada en forma de energía química dentro de las plantas. Una biomasa tiene en común con el resto de biomasa el hecho de provenir en última instancia de la fotosíntesis vegetal. En el proceso de la fotosíntesis, las plantas convierten la energía solar, el agua y el dióxido de carbono en azúcares sencillos (solubles) y en tejido.

ilustran la diferente composición.

Existen dos tipos básicos de biomasa: la biomasa natural que procede o se genera en la misma naturaleza y la biomasa residual, que es producida por las actividades humanas, y en este sentido engloba los residuos sólidos urbanos, los fangos de depuradora, los cultivos energéticos, las actividades procedentes de la ganadería, la agricultura y la explotación forestal, la industria de la madera, la industria de la alimentación y otras industrias. Una tercera forma de biomasa que no se incluye en este estudio es la denominada «biomasa fósil», puesto que los combustibles fósiles son también una forma de biomasa con un valor energético interno normalmente más alto, y éste es el motivo de su elevado uso actual tanto en combustibles como en calidad de precursores de otros productos destacables muy utilizados.

consecuencia del continuo avance de nuestra civilización, que da lugar en algunos casos a un problema importante en los países ricos tanto por su magnitud como por sus consecuencias. Esta biomasa es de origen orgánico y, por lo tanto, valorizable, de forma que se puede equilibrar el elevado coste de su tratamiento con el coste ambiental y social cuando se utiliza como fuente energética. Dentro de la biomasa residual se incluyen los residuos agrarios, ganaderos y forestales, los residuos industriales y los residuos urbanos.

Dentro de los residuos agrarios, ganaderos y forestales se pueden citar las fracciones de las plantas cultivadas que se producen al separar los frutos recogidos, las fracciones orgánicas que se obtienen para



facilitar el cultivo de las plantas o los residuos procedentes de ramas, cortezas, virutas, aserraduras, hojas, podas de árboles, tanto de bosques como de jardinería, árboles frutales y similares, o de deyecciones de animales u otros residuos procedentes de las granjas como resultado de la propia estabulación de los animales. Toda esta fuente de biomasa agrícola y forestal depende, no obstante, de factores climatológicos y, por lo tanto, no controlables, como la radiación solar o la cantidad de lluvia y nutrientes, y por este motivo no se consiguen condiciones homogéneas de producción.

Otra fuente importante relacionada con los residuos agrarios son los cultivos energéticos, es decir, la utilización de plantas y árboles que presentan un crecimiento muy rápido y un elevado índice para almacenar energía. Son plantaciones que tradicionalmente se han realizado en determinadas zonas para cumplir con demandas de mercado, sobre todo para la industria de la fabricación de pastas de papel. Sin embargo, la situación actual es diferente, dado que se trata de convertir la biomasa en energía, y en este sentido engloba cultivos tradicionales (como, por ejemplo, la caña de azúcar o la remolacha y plantaciones forestales como chopos, sauces y otros), cultivos poco frecuentes en lugares de poca utilización como resultado de condiciones climatológicas especiales (como los cardos, las higueras chumbas o los helechos), cultivos acuáticos de algas, tanto marinas (los mares y océanos tienen una superficie considerablemente superior a las zonas de cultivo terrestre) como de agua dulce, o de plantas productoras de combustibles líquidos similares a los combustibles que se están utilizando actualmente para la automoción (palmeras, ricino, etc.).

Ahora bien, no todos estos cultivos tienen el mismo impacto económico ni suscitan el mismo interés ni la misma sensibilidad social porque pueden presentar efectos negativos en las zonas cultivables o en los climas, o entrar en conflicto con las necesidades humanas de alimentación, y otras, aun cuando su uso permite regular la homogeneidad de producción, que es uno de los problemas que hay que resolver. Por todo esto y para equilibrar la homogeneidad con los problemas que se pueden generar, parece conveniente que se armonice la biomasa teniendo en cuenta el principio de la sostenibilidad, es decir, consumir como mucho lo que se produce, evitando, al mismo tiempo, prácticas negativas como la extracción excesiva de leña o el establecimiento de monocultivos a gran escala.

Los residuos industriales procedentes de numerosos sectores y procesos dan lugar a la formación de biomasa: las conservas vegetales, las serrerías, la producción de aceites, vino y frutos secos son ejemplos típicos de sectores industriales que producen biomasa. Por otro lado, entre los residuos urbanos hay dos de amplia proyección que se enfrentan al rechazo social por los problemas derivados de su producción: son los residuos sólidos urbanos y los residuos procedentes de las plantas de depuración de aguas urbanas, que provocan molestias si no se tratan convenientemente.

Una vez descritos los tipos de biomasa, a continuación se describen los procesos de transformación de esta biomasa utilizados actualmente en los diferentes países.

Procesos de transformación de la biomasa

Para utilizar la biomasa con fines energéticos, es evidente que ésta debe ser tratada para que permita transformar la energía química en un combustible con densidad energética y física más elevada. Esta transformación se ha llevado a término utilizando varios procesos según la calidad de la biomasa tratada. Es preciso mencionar que si se cambian las condiciones y prestaciones del proceso se pueden mejorar las características del producto final. En la tabla 2 se detallan los procesos y productos finales que se pueden obtener en cada proceso.

Tabla 2. Tipo de biomasa, procesos y productos finales obtenidos.

| Biomasa | Proceso | Forma | Producto final | | |
|-------------|------------|---------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| Oleaginosas | Extracción | Transesterificación | Ésteres metílicos | | |
| | | Seca | Termoquímica | Combustión | Calor / Electricidad |
| | | | | Gasificación | Gas pobre / Gas síntesis |
| | | Pirólisis | Bioaceite (combustibles) | | |
| Húmeda | Bioquímica | Fermentación | Etanol / bioalcohol | | |
| | | Digestión aeróbica | Metano / biogás | | |

A continuación se explicarán brevemente las principales características de los procesos de transformación de la biomasa en energía. En general, en un proceso de extracción, una vez que la biomasa entra en la planta es preciso un pretratamiento de secado y trituración, hasta obtener pequeñas partículas que se pueden someter a la extracción con acetona o algún disolvente similar, que se deberá recuperar (porque es contaminante y valorizable). Extracciones posteriores con hexano o benceno pueden permitir la obtención de un aceite negro con propiedades similares a los crudos, porque está constituido por hidrocarburos y un residuo rico en proteínas e hidratos de carbono que puede ser utilizado como materia prima para producir etanol por fermentación. Dependiendo del tipo de biomasa agrícola que entra en la planta de extracción se utiliza un determinado disolvente y, por lo tanto, las fracciones que se obtienen serán diferentes, lo que afecta al rendimiento del proceso de extracción.

En cambio, los tratamientos térmicos son más complejos. La combustión (que ha sido la forma más tradicional y antigua de utilizar la biomasa por parte de la humanidad), consiste en utilizar un exceso de oxígeno o de aire y obtener dióxido de carbono, agua, cenizas y calor. La temperatura de la combustión oscila entre 600 y 1.300 °C. La combustión se realiza de varias maneras (con fogones a cielo abierto,

con calderas de alto rendimiento, etc.), pero en todos los casos se puede obtener calor, vapor o energía mecánica a partir del vapor. Dentro de la combustión se puede incluir la incineración, que no está bien vista cuando se utiliza para quemar residuos sólidos urbanos por las emisiones de productos nocivos (a pesar de su regulación) y porque no tiene en cuenta el principio de reutilización de los productos. Los elementos clave para realizar una buena combustión desde un punto de vista únicamente energético incluyen el horno (reactor), el equipo de recuperación del calor (caldera) y el sistema de utilización de la energía (conducción del vapor y los turbogeneradores).

Otra manera de realizar un tratamiento termoquímico es la gasificación, que se realiza en presencia de oxígeno o de aire, con una cantidad de oxidante entre un 10 y un 50 % inferior a la que teóricamen-

te es necesaria para conseguir una combustión completa. Las temperaturas que se alcanzan en el gasificador alcanzan entre los 700 y los 1.500 °C. En caso de que la gasificación utilice aire, se obtiene un gas pobre que sirve para producir calor y electricidad; cuando la gasificación se realiza en presencia de oxígeno se obtiene gas de síntesis, que se utiliza para la producción de líquidos combustibles (como el metanol).

La pirólisis también es un proceso termoquímico que consiste en la descomposición de la biomasa a una temperatura más baja, entre los 400 y los 600 °C. El proceso se realiza en ausencia de oxígeno y la biomasa permanece en el reactor durante muy poco tiempo, unos pocos segundos. Con la pirólisis se obtienen tres productos diferentes: (a) líquido, conocido como bioaceite; (b) gases, y (c) sólido, conocido como carbón. Otra de las ventajas asociadas a esta tecnología son las nuevas estrategias que están surgiendo actualmente, como la denominada biochar bioenergy, la cual no sólo considera que el balance de dióxido de carbono proveniente de la combustión de la biomasa es neutro, sino que además puede actuar como un sumidero de carbono, aplicando el producto sólido (biochar) al bosque para aportar recursos minerales que se habían extraído previamente (Lehmann, 2007). Por lo tanto, estos productos sólidos son valorizables, ya sea aplicándo-

los como fertilizante o para usos industriales, como la fabricación de carbón activo,

A modo de ejemplo, se sabe que el bioaceite líquido producido en una pirólisis contiene hasta 154 productos diferentes, entre los que cabe mencionar 12 ácidos, 8 azúcares, 5 aldehídos, 4 alcoholes, 32 cetonas, 56 productos fenólicos, 16 compuestos oxigenados, 15 esteroides y 6 hidrocarburos. Pero, además, las empresas que han desarrollado una planta piloto experimental de pirólisis y han podido continuar con una de demostración, han conseguido tener actualmente plantas productivas con una capacidad de tratamiento de más de 200 toneladas por día y han llegado a desarrollar el concepto de biorrefinería, integrando la planta de pirólisis con una fermentación o con una gasificación; concepto que se ampliará en el próximo apartado.

Por otro lado, la tabla 3 muestra algunos de los rendimientos máximos que se han llegado a publicar de algunos de los productos derivados y existentes dentro del bioaceite procedente de una pirólisis. Además de los productos indicados es preciso recordar, como ya se ha mencionado previamente, que en la pirólisis se producen también fracciones sólidas y gaseosas, que pueden dar lugar a carbón activo, aromas y otros, además de mejorar el contenido energético del bioaceite desde los 17-19 MJ/kg hasta los 45 MJ/kg, lo que forma parte de uno de los objetivos de la biorrefinería.

Tabla 3. Rendimiento máximo para varios subproductos obtenidos a partir del bioaceite de una pirólisis (Bridgwater, 2005).

| Producto | % (EN PESO) |
|---------------------|-------------|
| Levoglucosa | 30,4 |
| Hidroxiacetaldehído | 15,4 |
| Ácido acético | 10,1 |
| Ácid fórmico | 9,1 |
| Acetaldehído | 8,5 |
| Alcohol furfurílico | 5,2 |
| Metilgloxal | 4,0 |
| Etanol | 3,6 |
| Formaldehído | 2,4 |
| Fenol | 2,1 |
| Acetona | 2,0 |

Es preciso señalar, además, que todos los procesos termoquímicos requieren un pretratamiento de la biomasa, que consiste generalmente en una trituración y, en ocasiones, en un secado de la biomasa. Por otro lado, cabe recordar que antiguamente estos tipos de procesos se utilizaban en forma de carboneras: se tomaba, por ejemplo, madera de encina y se encendía la leña en un entorno donde quedaba tapada (es decir, donde se consumía todo el oxígeno

no inicial y posteriormente pasaba a ser una pirólisis o una gasificación). De este modo, la madera de la encina se transformaba en un carbón muy apreciado por su valor energético, aun cuando los gases formados se emitían directamente a la atmósfera. Actualmente, sin embargo, se conducen los gases porque tienen valor energético.

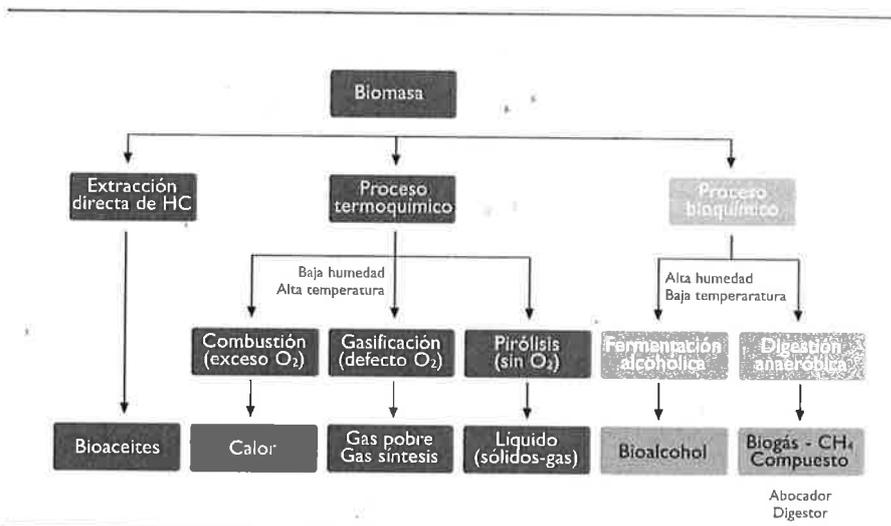
La fermentación de los hidratos de carbono sencillos (los azúcares) o más complejos (almidón o celulosa) procedentes de la biomasa vegetal permite obtener bioalcoholes. En este caso, es necesario también un pretratamiento de la biomasa (principalmente una trituración), seguido de una hidrólisis en presencia de enzimas o reactivos químicos. Actualmente, la fermentación también se está aplicando a la biomasa forestal porque se han podido desarrollar las enzimas correspondientes.

En la figura 1 se muestran los principales tratamientos de la biomasa y los productos derivados en cada proceso.

• *Biorrefinerías de fase I: un tipo de biomasa, un proceso y un producto principal.* Las biorrefinerías de fase I utilizan sólo un tipo de biomasa, están actualmente en funcionamiento y son económicamente viables. En este punto estarían las biorrefinerías que producen biodiésel y glicerina a través de la transesterificación. Otro ejemplo de este tipo de biorrefinerías incluiría las industrias papeleras, que producen etanol a partir de subproductos y productos de etanol a partir de grano (Clark y Deswarthe, 2008).

• *Biorrefinerías de fase II: un tipo de biomasa, múltiples procesos y múltiples productos.* Las biorrefinerías de fase II se diferencian de las de fase I por el hecho de que pueden producir varios productos (energía, productos químicos y materiales) y, por lo tanto, responden a la demanda del mercado, los precios y los límites de operación de la planta. Un ejemplo de esta planta es la de Novamont (Italia), que utiliza el almidón procedente del

Figura 1. Procesos de tratamiento de la biomasa y productos que se obtienen.



Todo lo que se ha expuesto aquí parece indicar que de la biomasa sólo se puede extraer electricidad, calor y combustibles como los bioalcoholes. Sin embargo, gracias a estudios de los diversos productos que se han ido encontrando con la ayuda de las tecnologías mencionadas, se ha descubierto que los productos obtenidos contienen otros subproductos que pueden tener más valor añadido. De este modo, ha nacido el concepto de biorrefinería.

Las biorrefinerías

Como ya se ha introducido antes, las biorrefinerías son sistemas integrados de aprovechamiento de biomasa donde se maximiza su valor. Existen varios tipos y básicamente se diferencian en tres grandes grupos según han ido evolucionando:

trigo para producir productos químicos, incluyendo políesteres biodegradables y termoplástico (Orig-Bi; Mater-Bi, www.materbi.com).

• *Biorrefinerías de fase III: varios tipos de biomasa, múltiples procesos y múltiples productos.* Las biorrefinerías de fase III corresponden al tipo de biorrefinería más adelantada y desarrollada que existe actualmente. No sólo son capaces de producir una gran variedad de productos químicos y energía, sino que pueden utilizar varios tipos de materias primas mediante varios procesos. Existen varios tipos de biorrefinería de fase III y se resumen en la tabla 4. La mayoría de estas biorrefinerías están en fase de desarrollo, aunque algunas ya se encuentran en fase de producción, tal y como se explica más adelante.



Independientemente de la clasificación según los tipos de biorrefinerías, de manera general se puede explicar qué se entiende por biorrefinería partiendo del proceso de transformación de biomasa y de los productos que se obtienen. Es decir, si se aplica un proceso de pirólisis y se obtienen varios productos químicos además de energía, como ya se ha citado anteriormente, se está hablando de biorrefinería.

En caso de utilizar un proceso de gasificación dentro del concepto de la biorrefinería, se puede continuar la pirólisis con una reacción de Fischer-Tropsch (como es el caso de Choren, Alemania) o con un hidrotratamiento (como es el caso de Ensyn y de Dinamotive, Canadá) para producir gasolinas. Estos procesos han dejado de ser proyectos, puesto que se encuentran en fase de explotación, y han necesitado una elevada suma de capital (algunos han sido financiados por la Comunidad Europea), lo que se traduce en elevadas producciones de energía (hasta 100 MWt) y de productos finales (de varias decenas de millones de litros de gasolina). Además, se está observando una clara competencia entre las empresas por demostrar mejores eficiencias de producción. Por lo tanto, no es nada extraño ir observando mejoras de manera continua en los productos obtenidos.

Así pues, el objetivo es, a partir de productos de bajo valor, como, por ejemplo, plantaciones agrícolas, zonas silvícolas u otras, encontrar productos de alto valor añadido. Este hecho puede dinamizar importantes zonas que actualmente tienen una pobre percepción desde el punto de vista económico, porque, en general, la gente considera más rentable, económicamente hablando, una finca cerca del mar que una finca forestal o agrícola. Y es precisamente en este punto donde el concepto de biorrefinería entra y donde, por lo tanto, puede ayudar a cambiar esta perspectiva.

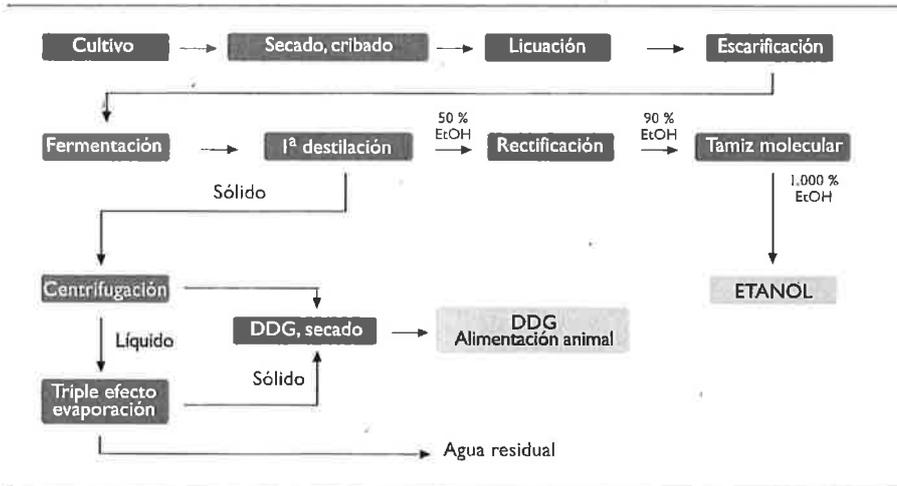
Por otro lado, el pobre rendimiento que se puede obtener de estas zonas (muy agravado en muchas ocasiones por los bajos precios de los productos que se obtienen, bien como resultado de otros intereses generales o incluso industriales) provoca que en éstas no exista toda la dedicación que convendría. El resultado es que se produce una cantidad de biomasa adicional por año que hace que el futuro de estas zonas sea muy incierto, puesto que la mayoría de la biomasa producida sólo puede llegar a ser un biocombustible importante en caso de incendio, por lo que malogrados una fuente energética y de productos químicos que tenemos ante nosotros y a nuestro alcance.

Esto no quiere decir que el uso de la biomasa (forestal o agrícola) sea el revulsivo actual de estas zonas, pero seguro que podrá ayudar a reducir y minimizar los costes, y en función de la evolución del precio de la energía, la biomasa forestal y agrícola podrá dinamizar la situación. En este sentido, y según un estudio presentado por el ICAEN al Colegio de Ingenieros Industriales, se prevé que en una situación normal y nada extraordinaria la energía pueda duplicar los valores actuales. Si estas predicciones se cumplen, y siguiendo las pautas del mismo estudio, la biomasa forestal y agrícola puede llegar a alcanzar pre-

Tabla 4. Principales características de biorrefinerías de fase III (R. Van Ree, B. Annevelink, 2007).

| Tipus de biorrefinería | Biomasa utilizada | Tecnologías principales | Fase de desarrollo |
|----------------------------------|---|--|--|
| Biorrefinería verde | Biomasa húmeda, gespa, alfafa, etc. | Pretratamiento, presurización, fraccionamiento, separación, digestión | Planta piloto |
| Biorrefinería de cultivos | Cultivos (incluye paja), cereales (trigo, maíz etc.) | Factoría seca o húmeda, conversión bioquímica | Planta piloto |
| Biorrefinería de lignocelulosa | Biomasa rica en lignocelulosa: madera, paja, caña, <i>miscanthus</i> , etc. | Pretratamiento, hidrólisis enzimática, hidrólisis química, fermentación, separación | Planta piloto (CEE) Planta demostración (EE. UU.) |
| Biorrefinería de fraccionamiento | Todo tipo de biomasa | Combinación de la plataforma de azúcar (conversión bioquímica) y la plataforma de formación de gas pobre (conversión termoquímica) | Planta piloto |
| Biorrefinería termoquímica | Todo tipo de biomasa | Conversión termoquímica mediante pirólisis, gasificación, posterior depuración, separación de productos, síntesis catalítica | Planta piloto |
| Biorrefinería marina | Biomasa acuática: microalgas macroalgas | Rotura celular, extracción de productos y separación | Investigación y desarrollo |

Figura 2. Producción de etanol a partir de la fermentación de la biomasa agrícola.



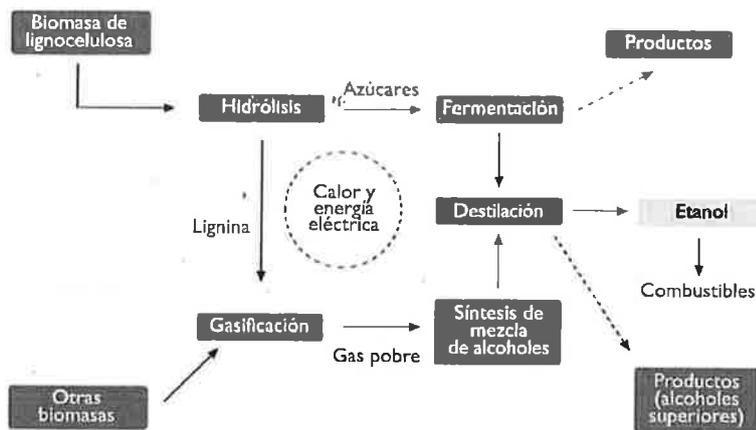
cios de 120 euros por tonelada. Es necesario considerar que éste es un precio excepcionalmente elevado y polémico, dado que los precios de la biomasa forestal y agrícola están hoy en día muy por debajo de la mitad de lo indicado, lo que provoca que no exista una especial predisposición forestal, pues los costes de recogida pueden llegar a ser más altos que los precios de venta.

Hasta aquí se ha explicado la producción de etanol a partir de biomasa agrícola mediante un proceso

de fermentación en biorrefinerías existentes en Brasil y en los Estados Unidos, cuyo proceso se resume en la figura 2.

Si en lugar de utilizar biomasa de cultivos agrícolas, que compiten con la alimentación animal y humana, se utilizan residuos de biomasa agrícola y forestal, se pueden producir y obtener los biocombustibles de segunda generación. El motivo de utilizar los residuos, sobre todo forestales, es que la lignina, que es la parte de la vegetación que todavía no es fermen-

Figura 3. Concepto americano de biorrefinería para la producción de bioalcoholes.



rollar técnicamente las mejores condiciones de trabajo y obtener los mínimos costes de explotación dentro de una biorrefinería, y por lo tanto, es necesario que en estos proyectos intervengan empresas que dispongan de los medios oportunos, puesto que la suma de experiencias sensibles normalmente es sinónimo de obtención de resultados óptimos. Cabe mencionar, por otro lado, que muchos de los proyectos actuales están orientados sólo a la obtención de biocombustibles o biogasolinas, porque es clara la demanda de este producto y de los costes globales. Aun así, no se debe olvidar que se pueden obtener otros productos de alto valor añadido como, por ejemplo, formaldehídos u otros.

En teoría, se pueden obtener muchos productos diferentes a partir de los principales precursores de la biomasa: carbohidratos, almidón, hemicelulosa, celulosa, lignina, lípidos, aceites y proteínas. Sin embargo, sólo los que sean realmente viables a partir de formas de producción tradicionales o tras la investigación en una planta piloto serán los que se irán produciendo a escala industrial en un futuro.

Es evidente que para averiguar si una biorrefinería puede ser rentable hay que saber si la biomasa que se va a tratar es la más adecuada.

No hay que olvidar que muchas industrias actuales son, de hecho, una forma convencional de biorrefinería. Por ejemplo, la industria del azúcar, el almidón, los aceites vegetales, la alimentación, la madera, la pasta de papel (de la madera), la petroquímica y la industria que produce biocombustibles se pueden incluir en el grupo de las biorrefinerías tradicionales. Esto significa que estas industrias utilizan tecnologías de conversión y de depuración para separar la biomasa en otros productos y residuos, aun cuando estas industrias sólo quieren producir uno o dos productos del espectro global de productos químicos que se derivan de la biomasa.

Figura 4. Diagrama de la planta piloto de las biorrefinerías de VTT, Ensyn, Shell y otras.

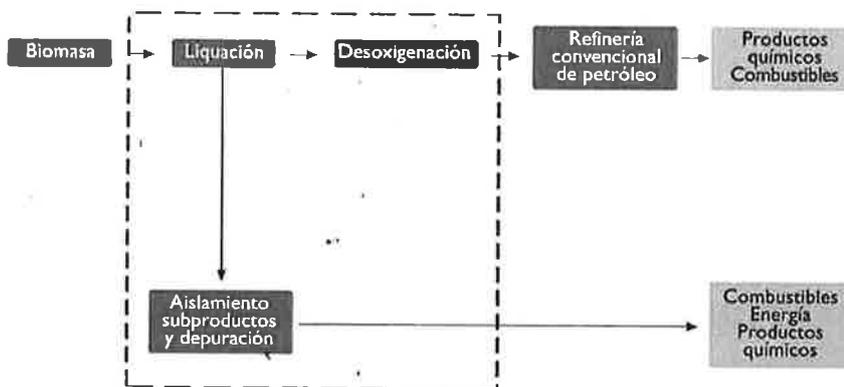


table actualmente y que se presenta en una proporción de entre el 20-30 %, suministra el 40-50 % del contenido energético útil de la biomasa. En la figura 3 se muestra la visión americana para una biorrefinería utilizando residuos forestales.

Los primeros estudios realizados han indicado que la producción de biocombustibles a partir de residuos lignocelulósicos implica unos costes que están por debajo de los 0,37 €/litro (Jones, 2009), y este coste empieza a ser interesante. No está tan claro cuál es la mejor tecnología, porque el tratamiento de la lignocelulosa es actualmente incierto, puesto que algunos optan por la fermentación (vía enzimas, bacterias u hongos) y otros, por tratamientos térmicos. Por lo tanto, con los diferentes proyectos de

investigación que se están llevando a cabo no es extraño que en los próximos años se vean adelantos considerables, que reducirán los costes de producción y de explotación de las biorrefinerías.

El proyecto que está liderando VTT (Finlandia), entre otras empresas, para realizar una planta piloto de biorrefinería ha implicado un presupuesto de 13,3 millones de euros (que la Comunidad Europea ha financiado con 7,6 millones), tiene una duración de 5 años y se inició en 2006. Es preciso tener presente la cuantía de la inversión como referencia si se desea crear una planta piloto. En la figura 4 se muestra el correspondiente diagrama de bloques. Resulta evidente que es preciso contar con responsables con los conocimientos suficientes para desa-