

## La biomasa como fuente de energía renovable

Dr. Francisco Jarabo

Dpto. de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica

Universidad de La Laguna

### La formación de la biomasa

El modelo básico de captación y acumulación de energía solar por las especies vegetales verdes es la única fuente renovable que conlleva asimismo un almacenamiento, por lo que por la materia orgánica constituye energía solar almacenada y es la denominada **energía de la biomasa**.

La formación de materia viva o biomasa a partir de la luz solar se lleva a cabo por el proceso denominado **fotosíntesis**, gracias al cual se producen grandes moléculas de alto contenido energético. Los productos que fabrican para sí las plantas (azúcares, proteínas, grasas, etc.) y el oxígeno que simultáneamente eliminan, sirven, a su vez, directa e indirectamente, de alimentos constituyentes o energéticos a todos los demás seres que habitan el planeta.

Aunque el rendimiento del proceso de conversión biológica de la energía solar es bajo, se ha de considerar que los sistemas vivos que captan y convierten la energía solar se encuentran ampliamente distribuidos sobre tierras y aguas del planeta, cubriendo una enorme superficie, lo que determina que la cantidad de energía almacenada por fotosíntesis sea inmensa. Sin embargo, ello no debe conducir a un exagerado optimismo, puesto que para el uso de esta cantidad ingente de biomasa como fuente energética existen varias limitaciones:

- Cerca de la mitad de la biomasa es de tipo acuático, de difícil recolección.
- Gran parte de la biomasa terrestre se encuentra muy dispersa, lo que restringe el posible aprovechamiento de la biomasa producida.
- La extensión limitada de las zonas cultivables y el tipo de materias primas energéticas necesarias impone ciertos condicionantes a la producción de biomasa aprovechable.

## Fuentes de biomasa para fines energéticos

Como ya se ha indicado, la actividad fotosintética de los vegetales produce una masa viviente que se ha denominado *biomasa*. Sin embargo, ésta es transformada posteriormente en los distintos niveles de seres vivos que se conocen. Se puede hablar de **biomasa vegetal** cuando ésta se produce directamente como consecuencia de la fotosíntesis, mientras que aquella biomasa que producen los seres que utilizan en su alimentación la biomasa vegetal, se puede denominar **biomasa animal**.

Ahora bien, los seres humanos y los animales utilizan sólo una parte de la biomasa a su disposición, constituyendo el resto un residuo en gran medida no utilizado. Incluso un gran porcentaje de la parte utilizada es devuelto a la Naturaleza como residuo. Tanto el primer caso, residuos de producción, como en el segundo, residuos de consumo o de transformación, son fundamentalmente orgánicos, lo que permite definir el término **biomasa residual** como la originada de la forma expuesta.

Finalmente, es evidente que lo que hoy se conoce como combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) no es otra cosa que biomasa (**biomasa fósil**), que se produjo en determinados períodos geológicos y, una vez enterrada, bien a través de mecanismos bioquímicos o bien por condiciones físico-químicas o por la conjunción de ambos tipos de acciones, generaron aquéllos. Evidentemente, aquí no se estudiará la biomasa fósil, por tratarse de una fuente de energía no renovable.

La obtención de energía a partir de la biomasa puede conseguirse indirectamente mediante su transformación en productos industriales que sustituyan a otros, costosos en energía fósil, o directamente, utilizándola como combustible. En este último caso se presentan dos soluciones posibles:

- Utilizar como fuente de biomasa los **residuos**, lo que ofrece unas perspectivas universales e inmediatas de aprovechamiento.
- Utilizar como fuente de biomasa los llamados **cultivos energéticos**, es decir, plantaciones destinadas exclusivamente a producir energía, solución que, por diversos motivos, sólo podrá alcanzar una importancia significativa a medio o largo plazo.

## Los residuos como fuente de biomasa

A medida que la sociedad obtiene mayores niveles de renta, los residuos constituyen un problema creciente por su magnitud y consecuencias. Teniendo en cuenta que la mayor parte de estos residuos son de carácter orgánico, es decir, constituyen la **biomasa residual**, se comprende su potencial para la producción de energía, ya que se producen de forma continua y su eliminación constituye un importante problema.

Se siguen varios criterios para clasificar los distintos tipos de residuos, entre los que cabe destacar la naturaleza de su origen o los tipos de materiales que los constituyen. Si se centra el estudio en los residuos orgánicos, se pueden considerar tres grandes sectores de actividad de los producen:

- **Residuos agrarios**, producidos como consecuencia de actividades agrarias de tres tipos: agrícolas, forestales y ganaderas.
- **Residuos industriales** de conservas vegetales, producción de aceites y vinos y comercialización de frutos secos.
- **Residuos urbanos**, generados diariamente en grandes cantidades en los núcleos de población y que son de dos tipos: residuos sólidos urbanos y aguas residuales.

La gestión de los residuos es, en general, una actividad costosa. Hasta hace muy poco tiempo prevalecía el concepto de eliminación o vertido al entorno, intentándose aprovechar los fenómenos naturales para degradar la biomasa. No obstante, al aumentar de forma continua la producción de residuos, se ha ido produciendo una sobrecarga para el medio ambiente que puede llegar a hacerse irreversible en sus consecuencias.

Por ello se plantean cada vez con más insistencia los métodos de aprovechamiento, el más importante de los cuáles es el **aprovechamiento energético** de la biomasa residual, intentando convertirla no sólo en una actividad de interés económico, sino también de interés social, debido a los beneficios que reportaría.

## Los cultivos energéticos como fuente de biomasa

El cultivo de cosechas atendiendo al valor que poseen como combustible, es decir, con la directriz de su potencial energético, es lo que se conoce como **cultivos**

**energéticos.** Como consecuencia de la crisis energética, se ha empezado a considerar seriamente la posibilidad de producir biomasa vegetal transformable en energía, conociéndose esta nueva faceta agrícola como *Agroenergética* sobre la cual, por falta de datos experimentales, existen todavía interrogantes acerca de su rentabilidad e impacto social y ecológico.

Los cultivos susceptibles de ser utilizados como productores de energía deben ser seleccionados de acuerdo a la premisa general de obtener la máxima cantidad posible de energía neta compatible con las condiciones climáticas y del suelo de cada zona.

A continuación se citará una serie de cultivos que se pueden aprovechar con fines energéticos, aunque no son las plantas que se van a citar los únicos candidatos como productores de energía.

- **Cultivos tradicionales:** Son aquéllos que el ser humano ha venido utilizando desde hace mucho tiempo, no sólo para la producción de alimentos indispensables para su subsistencia, sino también para la obtención de productos de interés industrial. Es necesario distinguir aquéllos que puedan destinarse exclusivamente a la producción de energía de los que puedan ser competitivos con la producción de alimentos. La viabilidad de estos últimos podría ser discutible, salvo que se usasen como fuente energética los excedentes de cosechas. Dentro de estos cultivos cabe destacar:
  - Cereales.
  - Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).
  - Sorgo dulce (*Sorghum bicolor*).
  - Maíz de tallo azucarado (*Zea mays*).
  - Remolacha (*Beta vulgaris*).
  - Mandioca (*Manihot esculenta*).
  - Girasol (*Heliantus annuus*).
  - Plantaciones forestales.
- **Cultivos poco frecuentes:** Se trata de especies silvestres cuya principal ventaja sería su posible adaptación a zonas marginales o áreas no aprovechables para fines alimentarios o industriales, con lo que se evitaría la competencia energía-alimentación. Dentro de este tipo de cultivos se encuentran, entre otros:

- Cardos (*Onopordum* sp.).
- Pataca (*Heliantus tuberosus*).
- Chumberas (*Opuntia ficus-índica*).
- Agaves (*Agave americana*).
- Caña de Provenza (*Arundo donax*).
- Pasto elefante (*Pennisetum purpureum*).
- Helechos (*Pteridium aquilinum*).
- Cultivos acuáticos: Hasta el momento no se ha abordado con suficiente extensión y profundidad la creación de cultivos en explotaciones marinas; sin embargo, el incremento de la población y la demanda creciente de alimentos y productos energéticos, han vuelto en gran medida la atención científica hacia esta posible forma de producción de biomasa.  
Dentro de los cultivos energéticos marinos cabe destacar:
  - Algas (*Macrocystis*, *Nerocystis*, *Alaria*).
  - Algas unicelulares (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Spirulina*).
 Mientras que la planta acuática de agua dulce que quizás haya recibido más atención es:
  - Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*).
- **Plantas productoras de combustibles líquidos:** Existen especies vegetales que producen sustancias que, con un tratamiento sencillo, pueden ser usadas como combustibles, por sus propiedades parecidas a los derivados del petróleo.  
A continuación se relacionan algunas de ellas:
  - Tabaiba (*Euphorbia lathyris*).
  - Jojoba (*Simmondsia chinensis*).
  - Membrillo negro (*Croton sonderianus*).
  - Tártago (*Ricinus communis*).
  - Copaiba (*Copaiba* sp.).
  - Tocuyo (*Cucurbita foetidissima*)

## Procesos de aprovechamiento energético: Clasificación

Generalmente la biomasa no es adecuada como tal para reemplazar a los combustibles convencionales, lo que hace necesaria su transformación previa en combustibles de mayor densidad energética y física, para lo que existen varios procedimientos que generan una gran variedad de productos. Así, la biomasa es transformada en vectores de energía (calor, combustibles, electricidad) que conducen a la forma de energía útil requerida por un proceso determinado (energía mecánica, electricidad específica).

Algunos combustibles pueden obtenerse de la biomasa por **extracción directa** (plantas productoras de hidrocarburos). Aunque los productos así obtenidos pueden ser utilizados directamente como combustibles, generalmente se modifican los aceites extraídos mediante **procesos químicos**, también aplicables a aceites residuales, siempre que su origen sea la biomasa.

Los **procesos termoquímicos** de conversión se basan en someter la biomasa a la acción de altas temperaturas y pueden clasificarse en tres amplias categorías, dependiendo de que el calentamiento se lleve a cabo con exceso de aire (**combustión**), con cantidades de aire limitadas (**gasificación**) o en ausencia completa del mismo (**pirólisis**). Los residuos idóneos para ser sometidos a estos procesos son los de bajo contenido en humedad y alto en lignocelulosa (astillas, pajas, cáscaras, etc.).

Los **procesos bioquímicos** de conversión se aplican a la biomasa con alto contenido en humedad, y están basados en la acción de microorganismos. La **fermentación alcohólica** de hidratos de carbono mediante levaduras para la producción de etanol y la **digestión anaerobia** de biomasa celulósica mediante bacterias para la producción de metano, son las dos categorías en las que se clasifican estos procesos.

### Extracción directa y procesos químicos

Actualmente, los procesos de extracción directa más desarrollados son aquellos que extraen aceites a partir de semillas de plantas oleaginosas (oliva, girasol, maíz, soja, colza). Los **aceites** son las reservas energéticas que las plantas acumulan en sus semillas para proporcionarles alimento suficiente durante la germinación, hasta que lo puedan obtener del entorno. Por su parte, los animales también poseen reservas

energéticas de características similares, que reciben en nombre de **grasas** (sebos, mantecas). Aceites y grasas son **lípidos**, denominación genérica que se aplica a los ésteres de glicerina (trialcohol) y de ácidos grasos (ácidos orgánicos alifáticos, monobásicos,  $C_{12}$  -  $C_{22}$ ), por lo que también reciben el nombre de **triglicéridos**. La glicerina puede ser separada de los lípidos mediante tres procesos químicos:

- **Hidrólisis:** Reacción con agua que libera la glicerina junto con los ácidos grasos de partida.
- **Saponificación:** Reacción con un hidróxido alcalino que libera la glicerina junto con las sales alcalinas de los ácidos grasos de partida (jabones).
- **Alcoholólisis:** Reacción con un alcohol simple que libera la glicerina junto con los ésteres del alcohol simple y los ácidos grasos de partida.

La alcoholólisis o **transesterificación** trata de sustituir en un éster (el lípido) un alcohol (glicerina) por otro más simple (generalmente, metanol), produciendo ésteres metílicos derivados, cuyas características son similares a las del gasóleo. De ahí que estos ésteres sintéticos obtenidos a partir de ésteres naturales contenidos en la biomasa reciban el nombre genérico de “**biogasóleos**”. Este proceso se lleva a cabo con un catalizador homogéneo (hidróxido sódico o potásico) para favorecer las condiciones de reacción, se separa la glicerina y se purifica la mezcla de ésteres metílicos, que se destina al uso como combustible.

### Procesos termoquímicos

El método de aprovechamiento de residuos sólidos de bajo contenido en humedad más sencillo es la **combustión**. La reacción de oxidación completa no sólo produce gases y cenizas (**incineración**), sino que libera considerables cantidades de energía utilizable. Es por lo que generalmente se complementan los sistemas de incineración con un equipo de recuperación de calor (caldera) y un sistema de utilización del mismo (conducciones de vapor, turbina y generador).

La energía obtenida puede destinarse a la producción de calor (en forma de agua caliente) para el uso doméstico o industrial, y a la producción de electricidad. La eficacia térmica de la combustión es elevada: si los residuos contienen menos del 20% de humedad, pueden obtenerse rendimientos globales del orden del 30%, del mismo orden de magnitud que el de los procesos energéticos a partir de combustibles fósiles.

Bajo la denominación de **gasificación** se engloban los procesos de combustión en condiciones de defecto de oxígeno, con producción de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno y metano, en proporciones diversas, según la composición de los residuos y las condiciones de operación. La temperatura de gasificación oscila entre 700 y 1.100 °C y el oxígeno se limita entre un 10 y un 50% del teóricamente necesario para la combustión completa.

Según se utilice aire u oxígeno puro, se contemplan dos procesos de gasificación sustancialmente diferentes en cuanto a los productos obtenidos. Así, por gasificación de material biológico con aire, se obtiene “gas de gasógeno” o “gas pobre”, que se utiliza en unidades de combustión para obtener vapor y electricidad. Por otro lado, cuando se opera con oxígeno y vapor de agua, se obtiene “gas de síntesis”, cuya importancia radica en que se puede transformar en combustibles líquidos (metanol y gasolinas).

La **pirólisis** consiste en la descomposición del material biológico por la acción del calor (entre 275 y 450 °C) en ausencia de oxígeno. La naturaleza y composición de los productos finales (gases conteniendo hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos, líquidos hidrocarbonados y sólidos carbonosos) dependen de las propiedades del residuo tratado, de la presión y temperatura de operación y de los tiempos de permanencia de los residuos en el horno.

Una variante de la pirólisis consiste en añadir al proceso un gas reductor (monóxido de carbono, hidrógeno o gas de síntesis) a temperaturas entre 300 y 500 °C y a alta presión. A este proceso se le llama “licuefacción” y permite mejorar los rendimientos en combustibles líquidos. Otra variante de la pirólisis es la denominada “gasificación por plasma”, en la que se utiliza un arco de plasma generado por una descarga eléctrica de muy alta tensión. Las temperaturas que se consiguen de esta manera (unos 4.000°C) producen un alto grado de descomposición en el residuo tratado, de tal forma que las sustancias volátiles se convierten en un gas combustible compuesto principalmente de hidrógeno y monóxido de carbono (gas de síntesis), mientras que las sustancias no volátiles quedan reducidas a una escoria inerte.

## Procesos bioquímicos

El proceso de aprovechamiento bioquímico menos utilizado por ser específico para los residuos de alto contenido en hidratos de carbono simples (azúcares) o complejos (almidón) es la **fermentación alcohólica**. La fuente de residuos principal de este proceso son los excedentes de cosechas de plantas azucaradas (remolacha, mandioca) o amiláceas (cereales o tubérculos).

Inicialmente el residuo es sometido a un proceso de hidrólisis química o enzimática de los hidratos de carbono para producir azúcares simples (glucosa). Éstos se convierten en etanol por la acción de levaduras bajo ciertas condiciones. El etanol producido se separa por destilación y puede utilizarse como combustible en motores de explosión.

Cuando los residuos sólidos contienen cantidades elevadas de humedad (residuos ganaderos o lodos de depuradora), el método de aprovechamiento más sencillo es la **digestión anaerobia**, una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como “biogás” y a una suspensión acuosa o “lodo”, que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en el residuo.

La digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, pudiéndose afirmar que se desarrolla en varias etapas durante las cuáles el material biológico se descompone en moléculas más pequeñas por la acción de diferentes tipos de bacterias. El proceso se lleva a cabo en recipientes estancos llamados “digestores”, que deben poseer un dispositivo adicional para recoger el gas producido. La cantidad de gas que se puede producir es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%. Se puede utilizar como fuente directa de calor (cocina, alumbrado), en calderas de vapor para calefacción o como combustible de motores acoplados a generadores eléctricos.

## **Bibliografía**

- **Jarabo, F., Elortegui y Jarabo, J.;** *Fundamentos de tecnología ambiental*, S.A.P.T Publicaciones Técnicas, Madrid (2000).
- **Jarabo, F. y otros;** *Energías renovables*, 2ª ed., S.A.P.T Publicaciones Técnicas, Madrid (2000).
- **Jarabo, F. y otros;** *La energía de la biomasa*, 2ª ed., S.A.P.T Publicaciones Técnicas, Madrid (1999).