



## CAPITULO 3

### 3.- BIOENERGÍA

#### 3.1.- ANTECEDENTES

Los problemas ambientales que afectan a nuestro planeta, se han incrementado en los últimos años debido, fundamentalmente, a la actividad humana: la quema de combustibles fósiles, la tala indiscriminada de los árboles, la contaminación del campo, de la atmósfera, de los ríos y de los mares, han traído, como consecuencia, la degradación del medio y la sobre explotación de los recursos naturales; por lo que la humanidad se enfrenta al reto de encontrar la solución a estos problemas y de recurrir a medios alternos para satisfacer sus necesidades energéticas.

Uno de los grandes problemas de la humanidad es su dependencia de los combustibles fósiles que, además de ser limitados y provocar un fuerte impacto ambiental, provocan diversos conflictos sociales y económicos.

En la tabla 3.1 se listan las fuentes primarias de energía.

Renovables	No renovables
Hidráulica	Carbón
Solar	Petróleo
Eólica	Gas Natural
Geotérmica	Nuclear
Biomasa	
Mareomotriz	

Tabla 3.1 Fuentes primarias de energía.



El hecho de que las fuentes no renovables se están agotando, por un lado, y por el otro el impacto negativo que tienen sobre el medio, hace necesario que se investiguen y utilicen formas alternas para la producción de energía recurriendo, principalmente, a las fuentes de energía renovable. El reto está en conseguir que éstas vayan sustituyendo paulatinamente a las fuentes no renovables.

La bioenergía es el tipo de energía renovable obtenida de los materiales derivados de fuentes biológicas, es decir, de la biomasa o biocombustible

La Biomasa es un recurso energético atractivo por varias razones:

- Es un recurso renovable que podría ser desarrollado sosteniblemente en el futuro.
- Posee formidables características desde el punto de vista medioambiental, ya que reduce la cantidad de contaminantes lanzados a la atmósfera.
- Puede tener un potencial económico significativo frente al incremento del precio de los combustibles fósiles.
- Es fácil de almacenar, al contrario de lo que ocurre con las energías eólica y solar.
- Al utilizar los residuos orgánicos separados de la basura para formar la biomasa, se reduce el problema del manejo y disposición de aquella.

Estas y otras bondades son las que nos permiten encontrar en la biomasa un recurso atractivo en la búsqueda de las fuentes alternas de energía.



### 3.2.- CONCEPTO DE BIOMASA

Biomasa por definición, según el Diccionario de la Real Academia Española, tiene dos acepciones.

1. f. Biol. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o volumen. (Utilizada habitualmente en Ecología)
2. f. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.(Se refiere a biomasa ‘útil’ en términos energéticos: las plantas transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible)

En términos energéticos, se puede utilizar directamente, como es el caso de la leña o indirectamente en forma de combustibles (biodiésel, bioalcohol, biogás, bloque sólido combustible). La ‘biomasa’ denomina la materia prima empleada en la fabricación de biocombustibles.

La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que se haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético o bioquímico tal como: madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales y de residuos orgánicos humanos o animales.

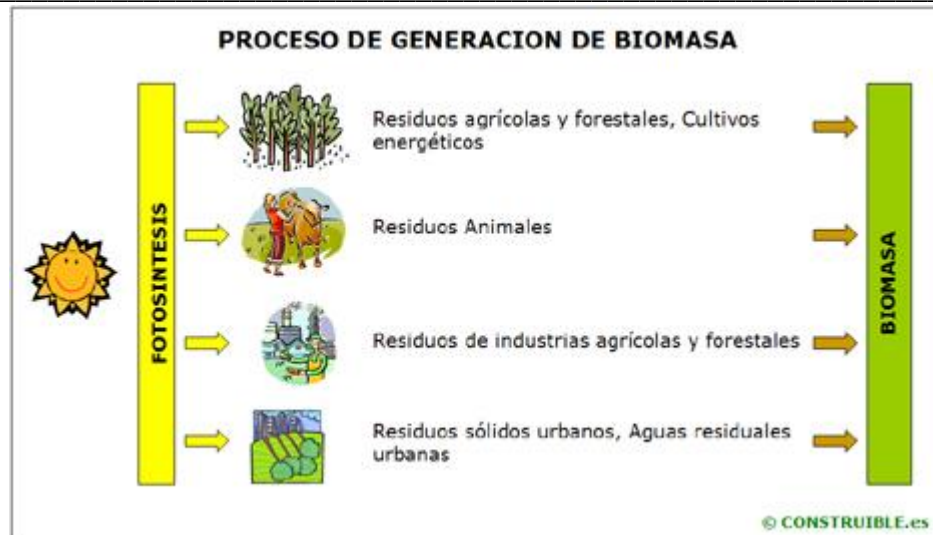


Figura 3.1 Proceso de generación de biomasa

La biomasa también puede considerarse como la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica, esta energía es recuperable por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles. Se considera una fuente renovable de energía porque su valor proviene del sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía y convierte el dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar materia orgánica. Este proceso químico se representa por medio de la ecuación (1).



Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua liberando la energía que contienen. De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena energía solar.



Estos carbohidratos, entre los que se encuentra la celulosa, constituyen los productos químicos primarios en el proceso de bioconversión de la energía solar, el principal producto de la fotosíntesis, obteniendo como producto final azúcares, almidones o celulosa.

Los cultivos dedicados exclusivamente a la producción de biomasa, a diferencia de los agrícolas tradicionales, tienen como características principales su gran productividad y su elevada rusticidad, expresada en características tales como resistencia a la sequía, a las enfermedades, vigor, precocidad de crecimiento, capacidad de rebrote y adaptación a terrenos marginales.

Los tipos de cultivos energéticos para la producción de biomasa son:

- Cultivos herbáceos: La amplia mayoría de cultivos tradicionales pueden ser utilizados para producción de biomasa, tanto cereales (cebada, avena, centeno, triticale, maíz) como oleaginosas (colza, girasol). Además, en la actualidad se barajan una serie de cultivos que no se han venido utilizando y que podrían ser interesantes para la producción de biomasa. Podemos citar como ejemplos al sorgo (*Sorghum spp*), la colza etíope (*Brassica carinata*), el cardo (*Cynara cardunculus*), el cáñamo (*Cannabis sativa*), el kenaf (*Hibiscus spp*), el miscanthus, el pasto del Sudán...Algunos de ellos son cultivos de secano (triticale, centeno, brassica carinata, cardo, etc.) y otros necesitan más o menos riego (sorgo, cáñamo, etc.).
- Cultivos leñosos: Los cultivos leñosos o arbóreos deben cumplir una serie de características para su desarrollo como cultivo energético:
  1. Facilidad de enraizar estaquillas.



2. Rápido crecimiento inicial.
3. Alta capacidad de rebrote y larga duración de las cepas.
4. Máxima adecuación a las características del terreno (suelo, riego, tratamiento).
5. Resistencia a enfermedades y plagas.
6. Alta capacidad de producir biomasa.

Son cultivos plurianuales. Normalmente suelen tener un rápido crecimiento y se suelen realizar aprovechamientos de biomasa cada 2 o 3 años. La implantación del cultivo es una fase con la mayor exigencia económica. Son cultivos que necesitan riego, al menos de apoyo. Su manejo se asemeja mucho a la biomasa forestal. Otras especies utilizadas son: eucaliptos, sauces, robinias, acacias, coníferas.

La celulosa es el material estructural de las plantas. La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre. A la celulosa corresponde más una tercera parte del peso de todos los árboles, pastos y pajas. Por ejemplo la celulosa representa hasta del 50% del peso seco de la madera (una vez extraída el agua).

La energía recuperable depende, desde el punto de vista bioquímico, tanto del contenido de carbohidratos como de la forma de estos en la biomasa. Por poner un ejemplo, la celulosa junto con la lignina y la hemicelulosa forman parte esencial de las paredes celulares de la madera, juntas constituyen el 95% de la madera, el 5% restante está compuesto de aceites, azúcares, resinas, grasas, ceras, alcaloides, etc. Estas tres sustancias, de acuerdo con su contenido porcentual, son las que determinan la estructura y propiedades físicas de la madera, por ende la energía recuperable.



### 3.3.- TIPOS DE BIOMASA

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para la producción de energía, una de las clasificaciones más aceptada es la siguiente:

- **Biomasa natural:** es la que se produce espontáneamente en la naturaleza, sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque, constituyen un ejemplo de éste tipo.
- **Biomasa residual seca:** se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales, en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera que son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés, desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa, son la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el aserrín, etc.
- **Biomasa residual húmeda:** son los residuos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).

**BIOMASA ENERGÉTICA O BIOCARBURANTE:** aunque su origen se encuentra en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites), como de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.), estos cultivos son realizados, con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Existen dos tipos de biocombustibles líquidos:



1.- El alcohol etílico obtenido por fermentación de materias primas ricas en azúcar (en adelante denominado BIOETANOL) y su derivado el etil-ter-butyl-eter (ETBE), el cual puede sustituir al aditivo metil-ter-butyl-eter (MTBE) que actualmente se está utilizando como producto oxigenado substitutivo del tetraetilo de plomo para mejorar el índice de octano de la gasolina.

2.- Los aceites vegetales (BIOACEITES), obtenidos de plantas oleaginosas, y los esterres metílicos o etílicos derivados de estos aceites, o de otras materias primas que contengan ácidos grasos, también denominados BIODIÉSEL.

Cabe mencionar que toda la biomasa se puede aprovechar para la generación de los bioenergéticos, pero la biomasa energética se presume como la más indicada para la producción de los bioenergéticos.

### 3.4.- TECNOLOGIAS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA

Las tecnologías más adecuadas para convertir la biomasa en energía y los productos que se obtienen en ese proceso dependen, entre otros factores de:

- La clase de biomasa.
- Su contenido de humedad.
- De el proceso de conversión
- De el uso final del producto energético.

Algunos combustibles pueden obtenerse de la biomasa directamente por extracción (plantas productoras de hidrocarburos), pero es más normal



someter a la biomasa a distintas manipulaciones, según su naturaleza y contenido de humedad, para su transformación en combustible. Estas transformaciones pueden dividirse en tres grupos, de acuerdo con la naturaleza de los procesos implicados.

Los procesos de conversión de biomasa más relevantes son:

- Proceso de combustión directa
- Procesos bioquímicos
- Procesos termoquímicos

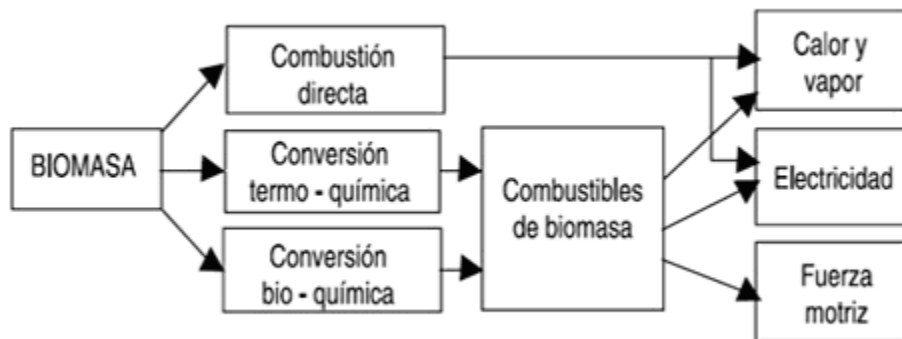


Figura 3.2 Procesos de conversión de biomasa.

- 3.4.1 PROCESO DE COMBUSTIÓN DIRECTA

Esta es la forma más antigua y más común, hasta hoy, para extraer la energía de la biomasa. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, como por ejemplo para la cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas. Además, este se puede aprovechar en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad.

Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros más avanzados como combustión de lecho fluidizado, este proceso permite quemar combustible de diversas características (bajo poder calorífico, alto contenido en cenizas) de forma eficiente y limpia. La combustión se lleva a cabo alimentando el combustible de forma continua a un lecho, compuesto generalmente por un material inerte que es fluidizado por una corriente ascendente de aire. La temperatura del lecho se mantiene entre  $750^{\circ}$  y  $900^{\circ}$  y es controlada eliminando el calor de combustión mediante cambiadores de calor que utilizan agua, vapor o aire como fluido de refrigeración.



Figura 3.3 Planta de gasificación de biomasa en lecho fluidizado

Los procesos tradicionales de este tipo, generalmente, son muy poco eficientes porque mucha de la energía liberada se desperdicia y pueden causar contaminación cuando no se realizan bajo condiciones controladas. Estos

resultados se podrían disminuir considerablemente con prácticas mejoradas de operación y un diseño adecuado del equipo. Asimismo, equipos como los hornos se pueden mejorar con la regulación de la entrada del aire para lograr una combustión mas completa y con asilamiento para minimizar las perdidas de calor.

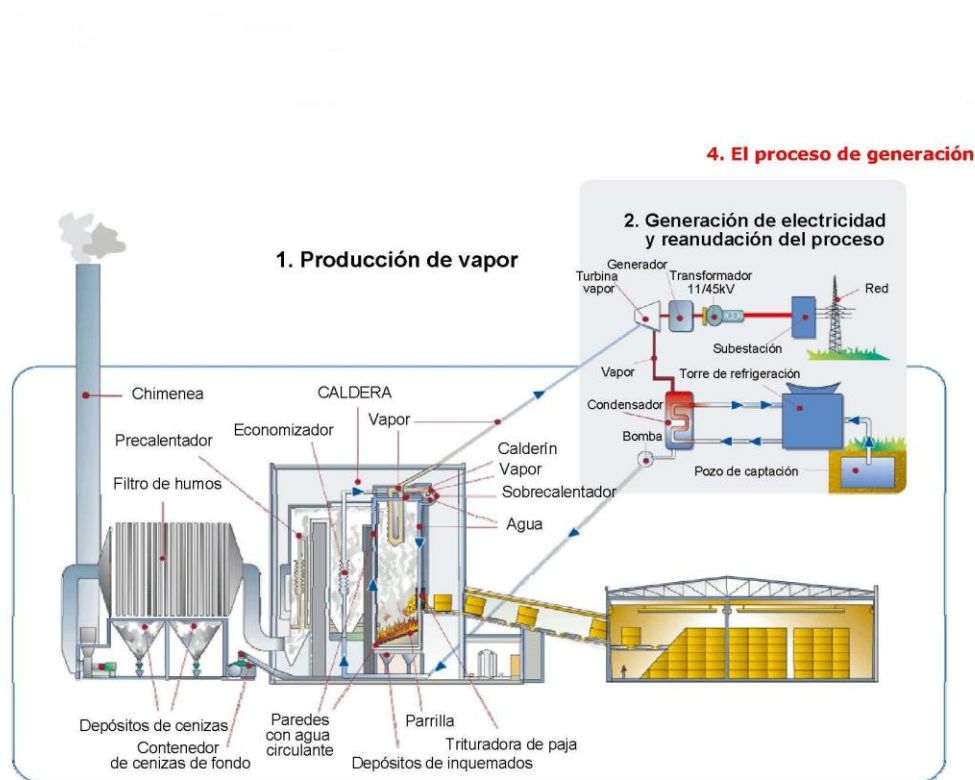


Figura 3.4 Producción de vapor.

- 3.4.2 PROCESOS BIOQUÍMICOS

Estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termoquímicos.

Los más importantes son:

- digestión: la digestión de biomasa sin oxígeno (anaeróbico) produce un gas combustible llamado biogás. En el proceso se introduce la biomasa (generalmente residuos agrícolas y ganaderos) en un contenedor cerrado (el digestor) y ahí se deja fermentar, produciéndose un gas, que es mezcla de metano y dióxido de carbono (biogás). La materia remanente dentro del digestor es un buen fertilizante orgánico. En la figura 3.5 se muestra un digestor .

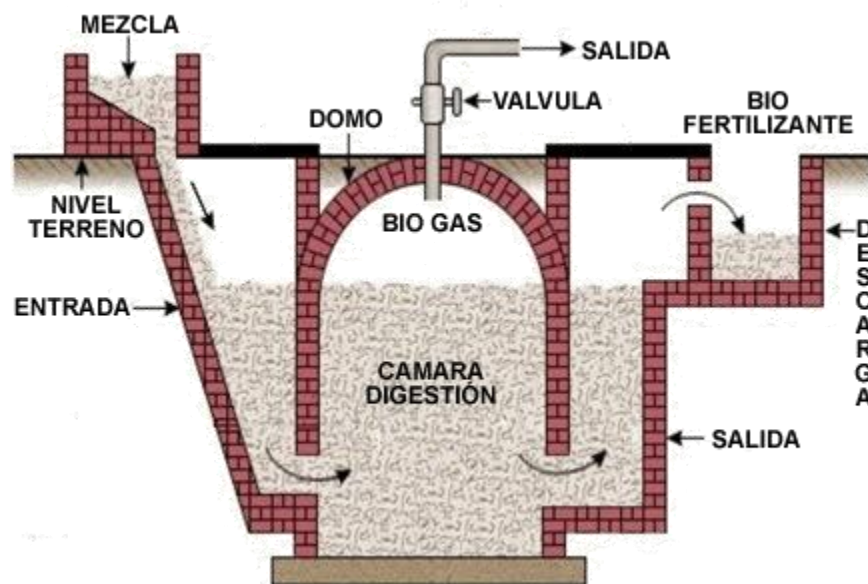


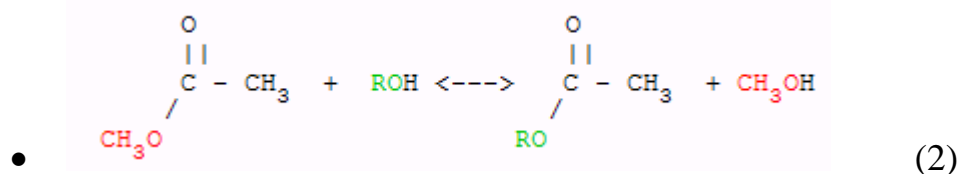
Figura 3.5 Digestor

- Combustibles alcohólicos: de la biomasa se pueden producir combustibles líquidos como el etanol y metanol. El primero se produce por medio de la fermentación de azúcares y el segundo por la destilación destructiva de madera. Esta tecnología se ha utilizado durante siglos para la producción de licores y más recientemente para



generar sustitutos de combustibles fósiles para transporte. Estos combustibles se pueden utilizar en forma pura o mezclados con otros para transporte o para propulsión de maquinas.

- Biodiésel: a diferencia del etanol, que es un alcohol, el biodiésel se compone de ácidos grasos y ésteres alcalinos, obtenidos de aceites vegetales, grasa animal y grasas recicladas. A partir de un proceso llamado “transesterificación”, que es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol, los aceites derivados orgánicamente se combinan con alcohol (etanol o metanol) y se alteran químicamente para formar ésteres grasos como el etil o metilo éster. Como se ve en la ecuación (2).



(éster + alcohol <---> éster diferente + alcohol diferente)

- Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base. Estos pueden ser mezclados con diesel o usados directamente como combustibles en motores comunes. El biodiesel es utilizado típicamente, como aditivo del diesel en proporción del 20% aunque otras cantidades también sirven, dependiendo del costo del combustible base y de los beneficios esperados. Su gran ventaja es reducir considerablemente las emisiones, el humo negro y el olor.



- Aprovechamiento de biogás de vertedero: la fermentación de los residuos y la producción de biogás es un proceso natural y común en los vertederos. El biogás extraído puede ser valorizado de forma similar al producido por las plantas de biogás.

- 3.4.3 PROCESOS TERMOQUÍMICOS

Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, sin hacerlo completamente, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos que pueden ser usados como combustible para generar calor y electricidad. Dependiendo de la tecnología, el producto final es un combustible sólido, gaseoso, o combustible líquido. El proceso básico se llama pirólisis o carbonización e incluye:

- Producción de carbón vegetal: este proceso es la forma más común de la conversión termo-química de temperatura mediana. La biomasa se quema con una disponibilidad restringida de aire, lo cual impide que la combustión sea completa. El residuo sólido se usa como carbón vegetal, el cual tiene mayor densidad energética que la biomasa original, es, todavía, de amplio uso doméstico. Usualmente, este carbón es producido a partir de la madera, pero también se usan otras fuentes, como cáscara de coco y algunos residuos agrícolas. La forma más antigua y, probablemente, aún la más empleada para producirlo, es con los hornos de tierra y los de mampostería. El primero es una excavación en el terreno en la que se coloca la biomasa, la cual es luego cubierta con tierra y vegetación para prevenir la combustión completa. Los segundos son construidos de tierra, arcilla y

ladrillo. Los hornos modernos son conocidos como retortas y fabricados en acero; conllevan cierta complejidad por su diseño y operación, lo que incrementa considerablemente los costos de inversión, en comparación con los tradicionales, pero son más eficientes y con mayor capacidad y calidad de producción.

- Gasificación: tipo de pirólisis en la que se utiliza una mayor proporción de oxígeno a mayores temperaturas, con el objetivo de optimizar la producción del llamado “gas pobre”, constituido por una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y metano, con proporciones menores de dióxido de carbono y nitrógeno. Este se puede utilizar para generar calor y electricidad, y se puede aplicar en equipos convencionales, como en motores de combustión interna. La composición y el valor calorífico del gas dependen de la biomasa utilizada, como por ejemplo: madera, cascarilla de arroz, o cáscara de coco. Existen diferentes tecnologías de gasificación y su aplicación depende de la materia prima y de la escala del sistema.

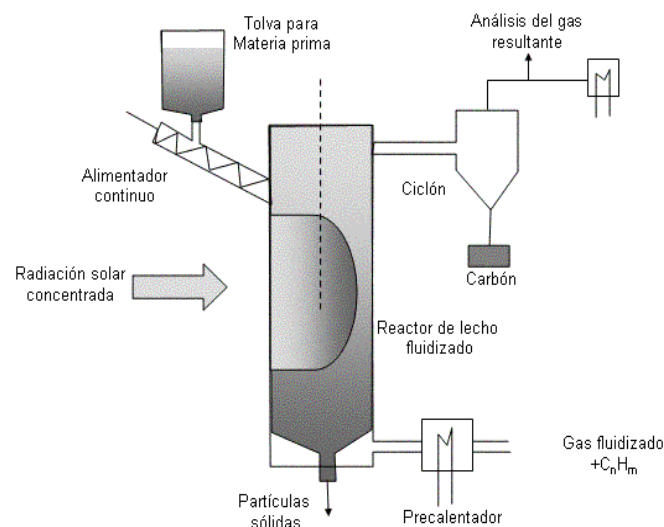


Figura 3.6 Proceso de gasificación solar de partículas sólidas de carbón y/o biomasa.

La gasificación tiene ciertas ventajas con respecto a la biomasa original, ya que el gas producido es más versátil y se puede usar para los mismos propósitos que el gas natural, puede quemarse para producir calor y vapor y puede alimentar motores de combustión interna y turbinas de gas para generar electricidad y se produce un combustible relativamente libre de impurezas y causa menores problemas de contaminación al quemarse.

Sin embargo, la operación de gasificación es más complicada. En principio, un gasificador simple puede ser construido en talleres metalmecánicos convencionales, pero se requiere experiencia y un prolongado período de ajuste para llevar el sistema a sus condiciones óptimas de operación.

- La pirólisis (figura 3.7) se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. La pirólisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión. A partir de la pirólisis pueden obtenerse diferentes productos secundarios útiles en función de la tecnología de tratamiento que se utilice.



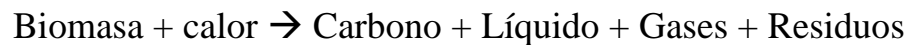
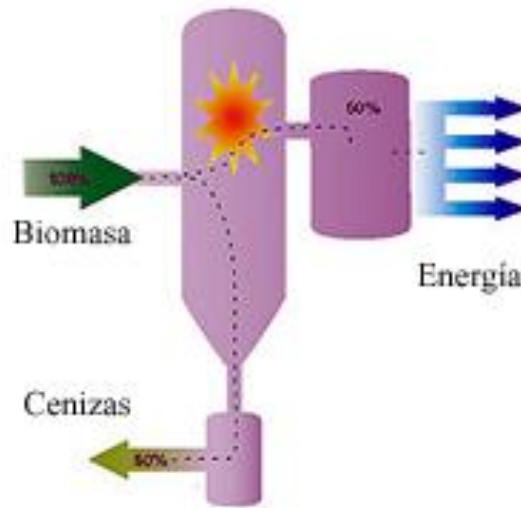


Figura 3.7 Esquema Proceso de Pirólisis

Cuando la biomasa se somete a un proceso de pirólisis se obtienen productos tales como:

- Gases: combustible gaseoso de bajo o medio poder calórico. El gas de calor específico bajo se puede emplear en motores de combustión interna y el de calor específico alto tanto en motores como en turbinas de gas. Estos Gases están compuestos principalmente de CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> y pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros.
- Líquidos: Bio-aceite combustible compuesto por una gran mezcla de distintos productos como pueden ser: cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos, y otras fracciones más pesadas. Este Bio-aceite puede sustituir a los aceites combustibles o al diesel en muchas aplicaciones estáticas como calderas, hornos, motores diesel y turbinas.



- **Sólidos:** El producto sólido de la pirólisis es un residuo carbonoso (también conocido como “char”) que puede ser utilizado como combustible el cual se emplea directamente en la metalurgia y en fogatas domesticas.

Existen diferentes tipos de Pirólisis en función de las condiciones físicas en las que se realice. Así, factores como la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la presión, etc., tienen una influencia muy grande en la distribución de productos que se obtienen. Esto puede verse resumido en la siguiente tabla.

PIRÓLISIS	TIEMPO RESIDENCIA	VELOCIDAD CALENTAMIENTO	PRESIÓN BAR	TEMPERATURA °C MAX	PRODUCTO MAYORITARIO
Carbonización	Horas-días	Muy baja	1	400	Sólido
Convencional	5-30 min	Baja	1	600	Gas liq. y sólido
Fast	0.5-5 seg.	Muy alta	1	650	Líquido
Flash-líquido	<1 seg.	Alta	1	<650	Líquido
Flash-gas	<1 seg.	Alta	1	>650	Gas
Ultra	<0.5 seg.	Muy alta	1	1000	Gas P. Químico
Vacío	2-30 seg.	Media	<0,1	400	Líquido

Tabla 3.1 Productos obtenidos mediante Pirólisis

La carbonización es quizá el proceso de pirólisis conocido desde hace más tiempo de todos los mostrados en el cuadro anterior, y



el que más importancia tiene industrialmente para la producción de carbón vegetal.

Todos los productos obtenidos tienen diferentes características, una de ellas que nos interesa, es el poder calorífico.

El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (quedan excluidas las reacciones nucleares, no químicas, de fisión o fusión nuclear, ya que para ello se usa la fórmula  $E=mc^2$ ). El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible, menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión.

Con la pirólisis mediante procesos de velocidad de calentamiento muy baja, se puede producir carbón vegetal, con poder calórico de 30 MJ/Kg (8.33 kWh/Kg) Con una velocidad de calentamiento Baja se produce bio-aceite y carbón con un poder calorífico de 20 MJ/Kg, hasta 30 MJ/Kg, y gas con un poder calorífico de 5 hasta 10 MJ/Kg. Mediante una velocidad de calentamiento rápida se produce carbón y gas, con un poder calórico de 30 MJ/Kg y 10-20 MJ/Kg (2.77 kWh/Kg - 5.55 kWh/Kg).

La relación entre el poder calorífico y consumo eléctrico se obtiene con la equivalencia encontrada en la literatura  $1 \text{ kWh} = 3,600,000 \text{ joules}$ .

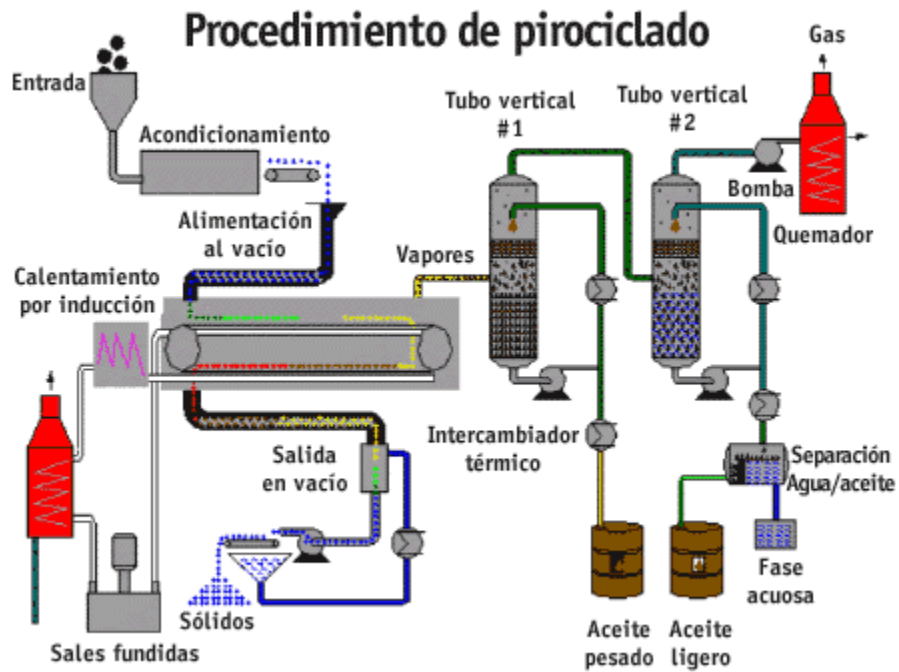


Figura 3.8 Proceso de Pirociclado.

La combustión de la biomasa es contaminante. En el caso de la incineración de basuras, la combustión emite a la atmósfera muchos contaminantes, algunos de ellos cancerígenos, como las dioxinas. El reciclaje y la reutilización de los residuos permitirán mejorar el medio ambiente, ahorrando importantes cantidades de energía y materias primas, a la vez que se trata de suprimir la generación de residuos tóxicos y de reducir envases.



### 3.5.- BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA CON FINES BIOENERGÉTICOS

- El balance de CO<sub>2</sub> emitido es neutro
- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados.
- La emisión de partículas sólidas a la atmósfera es mínima.
- Una parte de la biomasa para fines energéticos procede de materiales residuales que es necesario eliminar.
- Los cultivos energéticos sustituirán a cultivos excedentarios en el mercado de alimentos.
- La producción de biomasa es totalmente descentralizada, basada en un recurso disperso en el territorio, que puede tener gran incidencia social y económica en el mundo rural.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles. La tecnología para su aprovechamiento cuenta con un buen grado de desarrollo tecnológico para muchas aplicaciones.
- Es un importante campo de innovación tecnológica. Las respuestas tecnológicas en curso están dirigidas a optimizar el rendimiento energético del recurso, minimizar los efectos ambientales de los residuos aprovechados y de las propias aplicaciones, incrementar la competitividad comercial de los productos y posibilitar nuevas aplicaciones de gran interés como los biocombustibles, entre otros.



### 3.6.- ASPECTOS TECNOLOGICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA BIOMASA

El uso del recurso “biomasa” supone una complicada mecanización, trabajos intensivos de mano de obra, y además, en el caso de los cultivos energéticos, maquinaria adaptada en muchos casos. Asimismo, es necesario que el recurso se encuentre en óptimas condiciones de humedad, densidad y granulometría para utilizarlo. Además, cada residuo necesitará un tipo de labor específica: astillado, trituración, compactación y/o secado.

Producción del recurso
<ul style="list-style-type: none"><li>- Disminución del riesgo de incendios y plagas forestales (residuos forestales)</li><li>- Disminución de vertidos y riesgos ambientales (residuos de origen industrial)</li><li>- Minimización de riesgos por escaso laboreo (cultivos energéticos)</li></ul>
Transformación energética
<ul style="list-style-type: none"><li>- Baja peligrosidad de las emisiones (ausencia de cloro y azufre en la biomasa)</li><li>- Balance neutro de CO<sub>2</sub> (con una central de generación eléctrica de 5 MW se evita la emisión a la atmósfera de unas 14.000 t/año de CO<sub>2</sub>)</li></ul>

Tabla 3.2 Aspectos medioambientales de la biomasa. Cuadro resumen

