

Manuales sobre  
energía renovable

# BIOMASA



HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA • SOLAR FOTOVOLTAICA • EÓLICA • SOLAR TÉRMICA • BIOMASA



621.47  
M2946m

Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass  
Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. :  
Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.  
42 p. il. ; 28x22 cm.

ISBN: 9968-904-02-3

1. Energía Renovable. 2. Recursos Energéticos -  
América Central. 3. Conservación de la Energía.  
4. Desarrollo Sostenible. I. Título.

Hecho el depósito de Ley. Reservados todos los derechos.

©Copyright 2002, BUN-CA, Setiembre del 2002

1ª edición  
San José, Costa Rica

Este Manual puede ser utilizado para propósitos no-comerciales con el debido reconocimiento al autor.

Esta publicación ha sido posible gracias a la asistencia financiera del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en el marco del Programa Operacional #6 del Área Temática de Cambio Climático del GEF. Las opiniones expresadas en este documento son del autor y no necesariamente reflejan el parecer del Fondo para el Medio Ambiente Mundial o del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

# BIOMASA

## Manual sobre energía renovable

Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central



### Indice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla de simbología</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1. Introducción</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2. ¿Qué es la biomasa?</b>  | <b>4</b>  |
| <b>3. El recurso biomásico</b>                                       | <b>6</b>  |
| 3.1 Fuentes de biomasa   | 6         |
| 3.2 Algunas características de la biomasa                            | 9         |
| <b>4. Convirtiendo biomasa en energía</b>                            | <b>12</b> |
| 4.1 Procesos de conversión   | 12        |
| 4.2 Formas de energía  | 15        |
| 4.3 Combustión y emisiones   | 17        |
| <b>5. Aplicaciones</b>   | <b>18</b> |
| 5.1 Sector doméstico   | 18        |
| 5.2 Industrias   | 19        |
| 5.3 Sector comercial   | 21        |
| <b>6. Costos</b>   | <b>22</b> |
| <b>7. Aspectos ambientales</b>                                       | <b>24</b> |
| <b>8. Ventajas y desventajas</b>                                     | <b>26</b> |
| 8.1 Ventajas   | 26        |
| 8.2 Desventajas  | 26        |
| <b>9. Experiencias en América Central</b>                            | <b>27</b> |
| 9.1 Usos actuales de la biomasa en América Central                   | 27        |
| 9.2 Oportunidades en América Central                                 | 28        |
| 9.3 Barreras para el desarrollo de la biomasa como fuente de energía | 35        |
| <b>Anexos</b>  | <b>37</b> |
| <b>Anexo 1. Publicaciones y sitios web recomendados</b>              | <b>38</b> |
| <b>Anexo 2. Suplidores de equipos y ONGs en América Central</b>      | <b>41</b> |
| <b>Anexo 3. Conceptos básicos de energía</b>                         | <b>42</b> |
| <b>Anexo 4. Algunos aspectos técnicos de la energía de biomasa</b>   | <b>48</b> |



## Tabla de Simbología

|                   |   |                    |  |
|-------------------|---|--------------------|--|
| A                 | Amperio   | kWh                | Kilovatio hora   |
| CA                | Corriente alterna   | kWh/m <sup>2</sup> | Kilovatio hora por metro cuadrado  |
| Ah                | Amperio-hora  | LPG                | Gas de petróleo líquido  |
| B/N               | Blanco y negro  | lts                | Litros   |
| Btu               | Unidad térmica británica<br>( 1 Btu = 1055.06 J)  | M                  | Mega (10 <sup>6</sup> )  |
| BUN-CA            | Biomass Users Network<br>Centroamérica  | m <sup>2</sup>     | Metro cuadrado   |
| CO                | Monóxido de carbono   | m <sup>3</sup>     | Metros cúbicos   |
| CO <sub>2</sub>   | Dióxido de carbono  | mm                 | Milímetros   |
| CD                | Corriente directa   | m/s                | Metros por segundo   |
| EPDM              | Ethylene Propoylene Diene<br>Monomer  | MW                 | Mega vatios  |
| G                 | Giga (10 <sup>9</sup> )   | °C                 | Grados Centígrados   |
| GEF/FMAM          | Fondo para el Medio<br>Ambiente Mundial   | ONG                | Organización No<br>Gubernamental   |
| Gls               | Galones   | Psig               | Libras de presión por<br>pulgada cuadrada                                  |
| GTZ               | Cooperación alemana para<br>el desarrollo   | PNUD               | Programa de las Naciones<br>Unidas para el Desarrollo                      |
| Gw                | Giga vatio (10 <sup>9</sup> vatios)   | PV                 | Fotovoltaico (por sus siglas<br>en inglés)                                 |
| GWh               | Giga vatios hora  | PVC                | Cloruro de polivinilo  |
| HC <sub>s</sub>   | Hidrocarburos   | T                  | Tera (10 <sup>12</sup> )   |
| HR                | Humedad relativa  | TcE                | Toneladas de carbón<br>equivalente   |
| Hz                | Hertz   | TM                 | Tonelada métrica   |
| J                 | Joule (0,239 caloría ó 9,48<br>x 10 <sup>-4</sup> , unidades térmicas<br>británicas, Btu) | US\$               | Dólares USA  |
| J/s               | Joules por segundo  | UV                 | Ultravioleta   |
| K                 | Kilo (10 <sup>3</sup> )   | V                  | Voltios (el monto de<br>“presión”de electricidad)                          |
| Km/s              | Kilómetros por segundo  | W                  | Vatios (la medida de energía<br>eléctrica, Voltios x amperios<br>= vatios) |
| kW                | (1000 vatios) -unidad de<br>potencia-   | Wp                 | Vatios pico  |
| kW/m <sup>2</sup> | Kilovatios por metro<br>cuadrado  | W/m <sup>2</sup>   | Vatios por metro cuadrado  |

# 1. Introducción

Para la región de América Central, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala representan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa, principalmente.

Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales que utilizan combustibles fósiles, como el carbón, y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta.

Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucional y técnica aún incipientes.

Con el fin de remover la barrera de información existente, se ha elaborado una serie de manuales técnicos con los aspectos básicos de cada una de las tecnologías, como:

- Energía de biomasa.
- Energía eólica.
- Energía solar fotovoltaica.
- Energía solar térmica.
- Energía hidroeléctrica a pequeña escala.

Estas publicaciones han sido elaboradas por la Oficina para Centroamérica de Biomass Users Network (BUN-CA), en el contexto del proyecto "Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central" (FOCER) y con el apoyo de consultores específicos en cada tema. FOCER es un proyecto ejecutado por BUN-CA, conjuntamente con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el patrocinio del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF), dentro del área focal de Cambio Climático (Programa Operacional #6).

FOCER tiene como objetivo remover las barreras que enfrenta la energía renovable y fortalecer la capacidad para el desarrollo de proyectos de este tipo a pequeña escala, en América Central, con el fin de reducir las emisiones de gases que generan el efecto invernadero. Este proyecto se ejecuta por medio del apoyo técnico y financiero a desarrolladores de proyectos, la organización de seminarios y talleres de capacitación y la asistencia a gobiernos en la implementación de políticas y regulaciones apropiadas para la energía renovable.

La presente publicación, en torno a la energía de biomasa, tiene el objetivo de informar al lector sobre esta tecnología en el ámbito centroamericano, así como para darle fuentes adicionales de datos.

## 2. ¿Qué es la Biomasa?

Para la mayoría de la población mundial, las formas más familiares de energía renovable son las que provienen del sol y del viento. Sin embargo existen otras fuentes de biomasa, como leña, carbón de leño, cascarilla de arroz, que proveen un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo y tienen potencial para suplir mayores volúmenes.

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamia), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bio-químico.

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente.



Figura 1. Cascarilla de café en un beneficio, El Salvador

## ¿Qué es la Biomasa?

En economías de orientación agrícola, como las de los países centroamericanos, el uso apropiado de la biomasa ofrece una alternativa para reducir los costos de operación por concepto de insumos energéticos; además, es una solución para los problemas higiénico-ambientales que, en muchos casos, presentan los desechos orgánicos.

Las denominadas “granjas energéticas” pueden suplir un porcentaje significativo de los requerimientos energéticos mundiales y, al mismo tiempo, revitalizar las economías rurales, proveyendo energía en forma independiente y segura y logrando importantes beneficios ambientales. Las comunidades rurales pueden ser, entonces, energéticamente auto suficientes en un alto grado, a partir del uso racional de los residuos y administrando inteligentemente la biomasa disponible en la localidad.

Actualmente, los procesos modernos de conversión solamente suplen 3% del consumo de energía primaria en países industrializados. Sin embargo, gran parte de la población rural en los países subdesarrollados que representa cerca del 50% de la población mundial, aún depende de la biomasa tradicional, principalmente de leña, como fuente de energía primaria. Esta suple, aproximadamente, 35% del consumo de energía primaria en países subdesarrollados y alcanza un 14% del total de la energía consumida en el nivel mundial.



Figura 2. Fogón tradicional en una vivienda rural de América Central.

## 3. El Recurso Biomásico

Se considera que la biomasa es 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 la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen. En la figura 3 se muestran los contenidos de carbono en la biomasa existente en un bosque primario. De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena la energía solar. Entonces, se produce en forma sostenida o sea - en el mismo nivel en que se consume - esa batería durará indefinidamente.

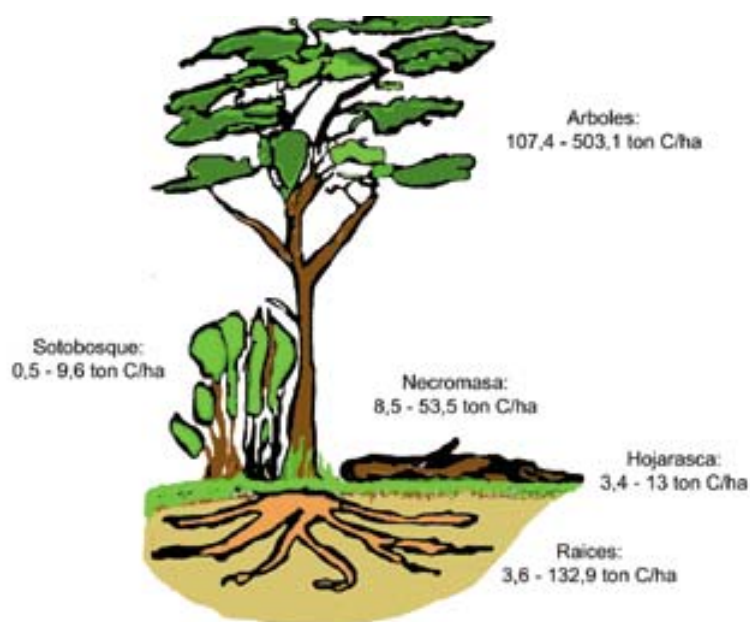


Figura 3. Toneladas de carbono por hectárea en el bosque primario.

Los recursos biomásicos incluyen cualquier fuente de materia orgánica, como desechos agrícolas y forestales, plantas acuáticas, desechos animales y basura urbana. Su disponibilidad varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, etc; por eso, los correspondientes aspectos de infraestructura, manejo y recolección del material deben adaptarse a las condiciones específicas del proceso en el que se deseen explotar.

### 3.1 Fuentes de biomasa

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas (ver Figura 4), se usan, generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles.



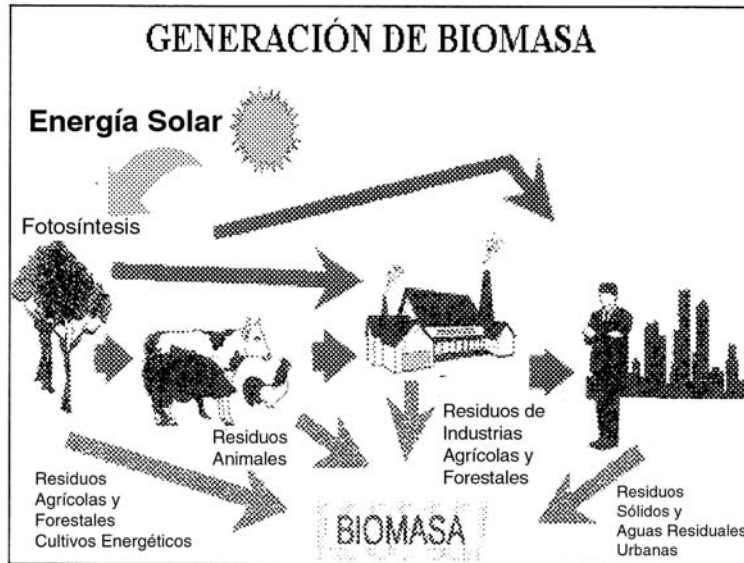


Figura 4. Origen de la biomasa  
Fuente: Instituto para la Diversión y Ahorro de la Energía (IDAE).

Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo y a usos primarios en pequeña escala; por ejemplo, la cocción de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, caleras, secado de granos, etc.

## • Plantaciones energéticas

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación.

Existen también muchos cultivos agrícolas que pueden ser utilizados para la generación de energía: caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como jacinto de agua o las algas, para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel.

Adicionalmente, este tipo de cultivos sirve para controlar la erosión y la degradación de los suelos; además puede proveer otros beneficios a los agricultores. Una granja típica, usualmente, sólo genera uno o dos productos de mayor valor comercial como maíz, café, leche o carne. El ingreso neto de ello es, a menudo, vulnerable a las fluctuaciones del mercado, al aumento del costo en los insumos, a las variaciones climáticas y a otros factores. Dado que las plantas de generación de energía requieren un suministro estable de combustible, los cultivos asociados a ellas pueden proveer un ingreso permanente a los granjeros que decidan diversificar su producción.

# El Recurso Biomásico

La principal limitante para este tipo de plantaciones está en la escala, pues se requieren grandes extensiones de tierra para lograr una producción de energía rentable. Por esta razón, son factibles cuando se desarrollan con algún tipo de producción agrícola paralela, como por ejemplo, el maíz, la caña de azúcar y la palma de aceite.

## • Residuos forestales

Los residuos de procesos forestales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en el área centroamericana. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor como se muestra en la figura 5, y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín.

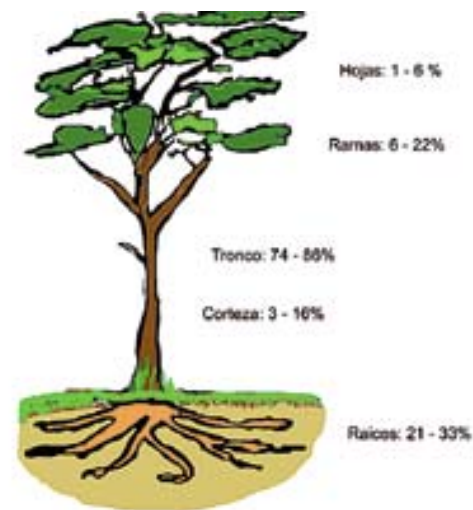


Figura 5. Distribución energética de un árbol

La mayoría de los desechos de aserrío son aprovechados para generación de calor, en sistemas de combustión directa; en algunas industrias se utilizan para la generación de vapor. Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no es aprovechada por el alto costo del transporte.

## • Desechos agrícolas

La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros): se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%.

Al igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos comunes de este tipo de residuos son el arroz, el café y la caña de azúcar. Los campos agrícolas también son una fuente importante de leña para uso doméstico: más del 50% del volumen total consumido.

Por otro lado, las granjas producen un elevado volumen de “residuos húmedos” en forma de estiércol de animales. La forma común de tratar estos residuos es esparciéndolos en los campos de cultivo, con el doble interés de disponer de ellos y obtener beneficio de su valor nutritivo. Esta práctica puede provocar una sobrefertilización de los suelos y la contaminación de las cuencas hidrográficas.

# El Recurso Biomásico

## • Desechos industriales

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos.

## • Desechos urbanos

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La mayoría de los países centroamericanos carecen de adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación.

Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía “limpia”.

En el corto y mediano plazo, la planificación urbana deberá incluir sistemas de tratamiento de desechos que disminuyan eficazmente las emanaciones nocivas de los desechos al ambiente, dándoles un valor de retorno por medio del aprovechamiento de su contenido energético, pues aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía.

## 3.2 Algunas características de la biomasa

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan. Estos que se explican a continuación<sup>1</sup>, determinan el proceso de conversión más adecuado y permiten realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales esperados.

• **Tipo de biomasa:** Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular. Por ejemplo, los desechos forestales indican el uso de los procesos de combustión directa o procesos termo-químicos; los residuos animales indican el uso de procesos anaeróbicos (bioquímicos), etc. El estado físico de la biomasa puede clasificarse según el tipo de recurso, como se indica en la tabla siguiente:

---

<sup>1</sup> En el Anexo 4 se presentan en forma más amplia estos conceptos.

Tabla 1. Estados típicos de la biomasa

| Recursos de biomasa    | Tipo de residuo  | Características físicas   |
|------------------------|--|---|
| Residuos forestales    | Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas.<br>Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas.<br>Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.                     | Polvo, sólido, HR <sup>2</sup> >50%<br>Polvo sólido, HR 30 - 45%<br>Sólido, HR > 55%                  |
| Residuos agropecuarios | Cáscara y pulpa de frutas y vegetales.<br>Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café).<br>Estiércol.<br>Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura. | Sólido, alto contenido humedad<br>Polvo, HR < 25%<br>Sólido, alto contenido humedad<br>Sólido HR >55% |
| Residuos industriales  | Pulpa y cáscara de frutas y vegetales.<br>Residuos de procesamiento de carnes.<br>Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales.<br>Grasas y aceites vegetales.        | Sólido, humedad moderada<br>Sólido, alto contenido humedad<br>Líquido<br>Líquido, grasoso             |
| Residuos urbanos       | Aguas negras.<br>Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales).<br>Basura orgánica (madera).  | Líquido<br>Sólido, alto contenido humedad<br><br>Sólido alto contenido humedad                        |

• **Composición química y física:** Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado “gas pobre”, que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

• **Contenido de humedad (H.R.):** El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

• **Porcentaje de cenizas:** El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada; por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.

• **Poder calórico:** El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

<sup>2</sup> HR: Humedad Relativa

# El Recurso Biomásico

En el Anexo 4 se encuentra una tabla con valores del poder calórico para diferentes tipos de biomasa.

- **Densidad aparente:** Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte y, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos del proceso.

- **Recolección, transporte y manejo:** Las condiciones para la recolección, el transporte y el manejo en planta de la biomasa son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional.

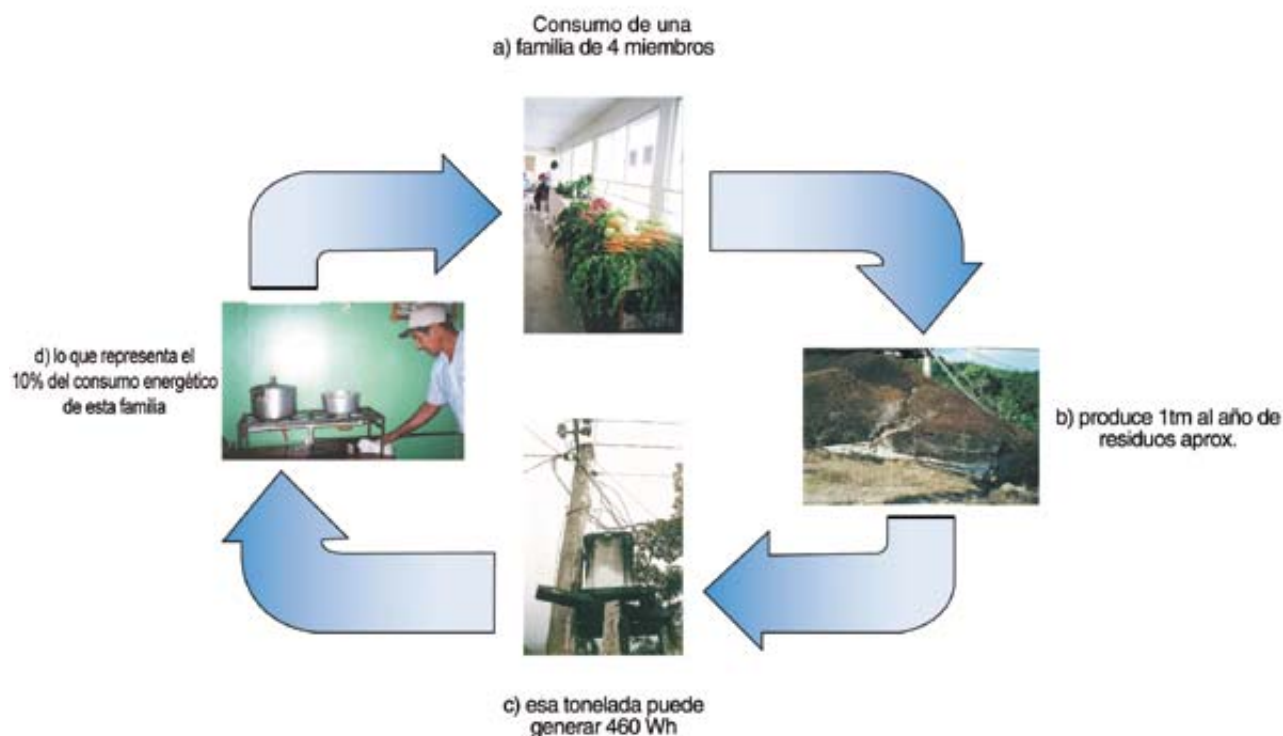


Figura 6. Ejemplo del ciclo energético de residuos sólidos urbanos

## 4. Convirtiendo Biomasa en Energía

### 4.1 Procesos de conversión

Antes de que la biomasa pueda ser usada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su transporte y utilización. A menudo, la biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad.

Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia como la dendro-energía y la co-generación.

A continuación se presentan los procesos de conversión de biomasa más relevantes, los cuales se pueden clasificar en tres categorías:

- Procesos de combustión directa.
- Procesos termo-químicos.
- Procesos bio-químicos.

En el Anexo 4 se muestra en forma esquemática las diferentes vías de transformación de la biomasa en energía.

#### 4.1.1 Procesos 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, éste 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.

Los procesos tradicionales de este tipo, generalmente, son muy ineficientes 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. Por ejemplo, secar la biomasa antes de utilizarla reduce la cantidad de energía perdida por la evaporación del agua y para procesos industriales, usar pequeños pedazos de leña y atender continuamente el fuego supliendo pequeñas cantidades resulta en una combustión más completa y, en consecuencia, en mayor eficiencia. Asimismo, equipos como los hornos se pueden mejorar con la regulación de la entrada del aire para lograr una combustión más completa y con aislamiento para minimizar las pérdidas de calor.

#### Densificación

Esta se refiere al proceso de compactar la biomasa en “briquetas”, para facilitar su utilización, almacenamiento y transporte. Las briquetas son para usos domésticos, comerciales e industriales. La materia prima puede ser aserrín, desechos agrícolas y partículas de carbón vegetal, el cual se compacta bajo presión alta.



# Convirtiendo Biomasa en Energía

La Tabla 2 muestra los métodos desarrollados para la combustión directa de los residuos sólidos:

Tabla 2. Uso directo de desechos sólidos

| Producto       | Tecnología   | Usos en América Central | Características   |
|----------------|--|-------------------------|---|
| Polvos         | Quemadores de polvo                                | De moderado a bajo      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo de inversión elevado</li> <li>- Facilita su empleo, incluyendo la escala doméstica</li> <li>- Mejora la eficiencia y las características de la combustión</li> </ul> |
| Astillas       | Hornos y calderas en suspensión y lecho fluidizado | De moderado a bajo      |   |
| Pellets        |  |                         |   |
| Briquetas      | Hornos y calderas en parrilla                      | De moderado a bajo      | <p>El tamaño dificulta el empleo en dispositivos de alta eficiencia, requiere procesamiento.</p> <p>Disminuye la eficiencia energética total, pero su uso es más conveniente con menos humo.</p>                    |
| Leñosos        | Hornos y calderas, estufas domésticas              | Amplio                  |   |
| Carbón vegetal | Estufas domésticas                                 |                         |   |

## 4.1.2 Procesos termo-químicos

Estos procesos transforman la biomasa en un producto de más alto valor, con una densidad y un valor calorífico mayor, los cuales hacen más conveniente su utilización y transporte.

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, no produce humo y es ideal para uso doméstico. Usualmente, este carbón es producido 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, son 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 eleva su eficiencia y capacidad de producción, así como la calidad del producto.

# Convirtiendo Biomasa en Energía

· **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 los motores de diesel. 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.

La gasificación tiene ciertas ventajas con respecto a la biomasa original:

- i, el gas producido es más versátil y se puede usar para los mismos propósitos que el gas natural;
- ii, puede quemarse para producir calor y vapor y puede alimentar motores de combustión interna y turbinas de gas para generar electricidad;
- iii, 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.

## 4.1.3 Procesos bio-químicos

Estos procesos utilizan las características bio-químicas 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 termo-químicos. Los más importantes son:

· **Digestión anaeróbica:** la digestión de biomasa humedecida por bacterias en un ambiente sin oxígeno (anaeróbico) produce un gas combustible llamado biogás. En el proceso, se coloca la biomasa (generalmente desechos de animales) en un contenedor cerrado (el digestor) y allí se deja fermentar; después de unos días, dependiendo de la temperatura del ambiente, se habrá producido un gas, que es una mezcla de metano y dióxido de carbono. La materia remanente dentro del digestor es un buen fertilizante orgánico. Los digestores han sido promovidos fuertemente en China e India para usos domésticos en sustitución de la leña. También se pueden utilizar aguas negras y mieles como materia prima, lo cual sirve, además, para tratar el agua.

· **Combustibles alcohólicos:** de la biomasa se pueden producir combustibles líquidos como 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, particularmente en Brasil. Estos combustibles se pueden utilizar en forma pura o mezclados con otros, para transporte o para la propulsión de máquinas.

· **Biodiesel:** a diferencia del etanol, que es un alcohol, el biodiesel se compone de ácidos grasos y ésteres alcalinos, obtenidos de aceites vegetales, grasa animal y grasas recicladas. A partir de un proceso llamado “transesterificación”, 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. 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.



# Convirtiendo Biomasa en Energía

- **Gas de rellenos sanitarios:** se puede producir un gas combustible de la fermentación de los desechos sólidos urbanos en los rellenos sanitarios. Este es una mezcla de metano y dióxido de carbono. La fermentación de los desechos y la producción de gas es un proceso natural y común en los rellenos sanitarios; sin embargo, generalmente este gas no es aprovechado. Además de producir energía, su exploración y utilización reduce la contaminación y el riesgo de explosiones en estos lugares y disminuye la cantidad de gases de efecto invernadero.

En la Tabla 3 se muestra una distribución de los procesos de conversión aplicables, de acuerdo con las características y el tipo de biomasa, así como los posibles usos finales de la energía convertida:

Tabla 3. Procesos de conversión de biomasa en energía

| Tipo de biomasa  | Características físicas  | Procesos de conversión aplicables                                | Producto final                                | Usos  |
|--|--|--|---|---|
| Materiales orgánicos de alto contenido de humedad.   | Estiércoles.<br>Residuos de alimentos.<br>Efluentes industriales.<br>Residuos urbanos. | Digestión anaeróbica y fermentación alcohólica.                  | Biogas.<br>Metanol.<br>Etanol.<br>Bio diesel. | Motores de combustión.<br>Turbinas de gas.<br>Hornos y calderas.<br>Estufas domésticas. |
| Materiales lignocelulósicos (cultivos energéticos, residuos forestales de cosechas y urbanos). | Polvo<br>Astillas<br>Pellets<br>Briquetas<br>Leños<br>Carbón vegetal                   | Densificación<br>Combustión directa<br>Pirólisis<br>Gasificación | Calor,<br>Gas pobre<br>Hidrógeno<br>Biodiesel | Estufas domésticas<br>Hornos y calderas<br><br>Motores de combustión<br>Turbinas de gas |

Actualmente, la combustión directa es el proceso más aplicado para usos energéticos de la biomasa. Procesos más avanzados como la gasificación y la digestión anaeróbica han sido desarrollados como alternativas más eficientes y convenientes, y para facilitar el uso de la biomasa con equipos modernos. Sin embargo, hasta la fecha, la aplicación de estos últimos no es tan común por tener un costo más alto y la complejidad de su aplicación.

## 4.2 Formas de energía

Aplicando los diferentes procesos de conversión, la biomasa se puede transformar en diferentes formas de energía:

- **Calor y vapor:** es posible generar calor y vapor mediante la combustión de biomasa o biogás. El calor puede ser el producto principal para aplicaciones en calefacción y cocción, o puede ser un subproducto de la generación de electricidad en ciclos combinados de electricidad y vapor.

- **Combustible gaseoso:** el biogás producido en procesos de digestión anaeróbica o gasificación puede ser usado en motores de combustión interna para generación eléctrica, para calefacción y acondicionamiento en el sector doméstico, comercial e institucional y en vehículos modificados.

# Convirtiendo Biomasa en Energía

· **Biocombustibles:** la producción de biocombustibles como el etanol y el biodiesel tiene el potencial para reemplazar cantidades significativas de combustibles fósiles en muchas aplicaciones de transporte. El uso extensivo de etanol en Brasil ha demostrado, durante más de 20 años, que los biocombustibles son técnicamente factibles a gran escala. En los Estados Unidos y Europa su producción está incrementándose y se están comercializando mezclados con derivados del petróleo. Por ejemplo, la mezcla denominada E20, constituida 20% de etanol y 80% de petróleo, resulta aplicable en la mayoría de motores de ignición. Actualmente, este tipo de combustible es subsidiado por los gobiernos, pero, en el futuro, con el incremento en los cultivos energéticos y las economías de escala, la reducción de costos puede hacer competitiva su producción.

· **Electricidad:** la electricidad generada a partir de los recursos biomásicos puede ser comercializada como “energía verde”, pues no contribuye al efecto invernadero por estar libre de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este tipo de energía puede ofrecer nuevas opciones al mercado, ya que su estructura de costos permitirá a los usuarios soportar mayores niveles de inversión en tecnologías eficientes, lo cual incrementará la industria bioenergética.

· **Co-generación (calor y electricidad):** la co-generación se refiere a la producción simultánea de vapor y electricidad, la cual se aplicaría en muchos procesos industriales que requieren las dos formas de energía. En América Central este proceso es muy común en los ingenios de azúcar, los cuales aprovechan los desechos del proceso, principalmente el bagazo. Por la alta cantidad de bagazo disponible, tradicionalmente, la co-generación se realiza en una forma bastante ineficiente. Sin embargo, en los últimos años ha existido la tendencia a mejorar el proceso para generar más electricidad y vender el excedente a la red eléctrica.

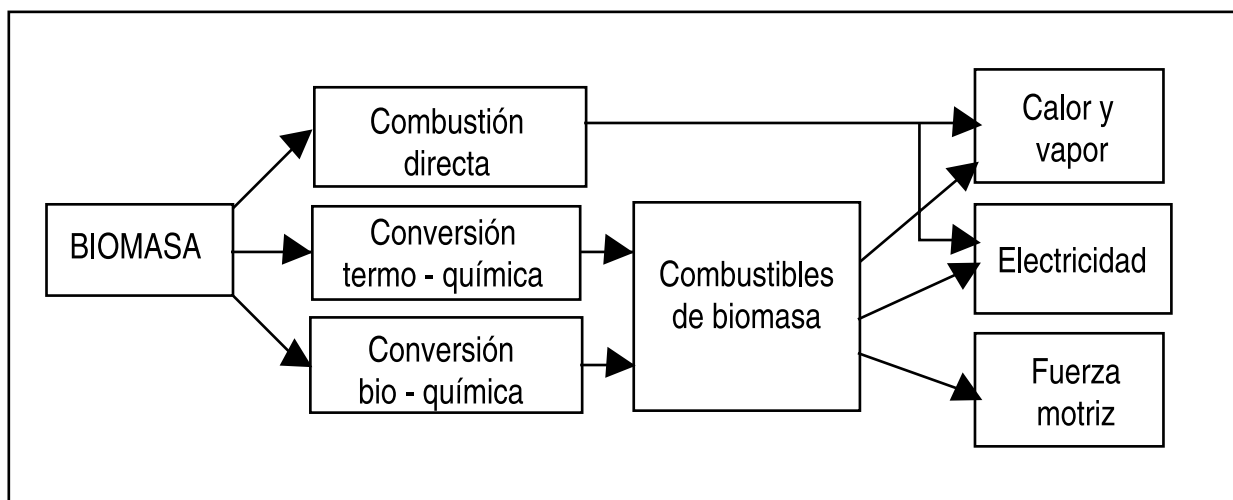


Figura 7. Procesos de conversión y formas de energía

# Convirtiendo Biomasa en Energía

## 4.3 Combustión y emisiones

La biomasa consiste, principalmente, en carbono y oxígeno. También contiene hidrógeno, un poco de nitrógeno, azufre, ceniza y agua, dependiendo de la humedad relativa.

Cuando ésta se quema, se efectúa una reacción química que combina su carbono con oxígeno del ambiente, formándose dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y combinando el hidrógeno con oxígeno para formar vapor de agua. Cuando la combustión es completa, o sea la biomasa se quema totalmente, todo el carbón se transforma en  $\text{CO}_2$ . Sin embargo, los árboles y plantas que están creciendo capturan nuevamente el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera y, al usar la biomasa en forma sostenible, en términos netos, no se agrega  $\text{CO}_2$  a la atmósfera.

No obstante, cuando la combustión no es completa, se forman monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HCs, e.g. metano),  $\text{N}_2\text{O}$  y otros materiales. Estos sí pueden generar impactos serios en la salud de los usuarios. También son gases de efecto invernadero, por lo que se debería minimizar su formación.

Existen dos razones por las cuales la combustión de biomasa puede resultar incompleta:

- Cuando la entrada de aire no es adecuada, pues no hay suficiente oxígeno disponible para transformar todo el carbono en  $\text{CO}_2$ . Esto puede ser causado por el diseño inadecuado del equipo, la falta de ventilación y la sobrecarga con el combustible.

- Cuando la biomasa tiene una humedad alta, o sea está demasiado mojada; entonces, la temperatura de combustión no es suficientemente elevada como para completar las reacciones químicas.

## 5. Aplicaciones

### 5.1 Sector doméstico

En América Central muchas familias utilizan leña u otras formas de biomasa para cocinar, particularmente en zonas rurales. Sus fuentes son los árboles alrededor de las viviendas, los campos agrícolas y los bosques. Además, en algunos lugares existe un mercado comercial, aunque informal, de leña, que constituye una fuente importante de ingresos para familias rurales.

Las estufas usadas para la cocción pueden ser fijas o portátiles y, a veces, tienen una chimenea. Algunas familias hacen su propia estufa de materiales locales; otras buscan el servicio de un artesano, o la compran en el mercado. Generalmente, estas son simples y son de baja eficiencia. Además, emiten cantidades considerables de gases tóxicos que tienen un impacto en la salud del núcleo familiar.

Los procesos domésticos han sido muy ineficientes, pues han presentado pérdidas normales de energía entre 30% y 90% de la energía. Aunque los usuarios tratan de mejorar las estufas, por lo general carecen de los recursos financieros y técnicos para hacerlo considerablemente.

La baja calidad de estos aparatos produce emisiones de gases tóxicos como monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>) y otros productos de la combustión incompleta. Estos causan problemas de salud como dolores de cabeza, enfermedades respiratorias, afectan los ojos de las mujeres embarazadas, etc. Las más afectadas son las mujeres y los niños, los cuales están expuestos a los gases durante varias horas al día. Frecuentemente, los usuarios no son conscientes de ello y de la necesidad de buena ventilación; tampoco relacionan el humo como una causa de sus problemas de salud.

#### Deforestación

El uso de la leña frecuentemente es visto como la causa principal de la deforestación. Este es el resultado de los análisis realizados en los años setentas que asumieron que toda la leña tiene su origen en el bosque. Los estudios más recientes, realizados tanto fuera como dentro de la región de América Central, han mostrado que las causas principales de la deforestación son la tala comercial y la conversión de bosques en campos agrícolas. Aunque en algunas áreas el uso de la leña puede contribuir a la deforestación, ésta no es la causa principal. De hecho, se ha demostrado que en algunas zonas la comercialización de la leña brinda incentivos para la regeneración y protección del ambiente.

#### Estufas mejoradas

Estimulado por la preocupación de la deforestación y con el fin de reducir el consumo de la leña, se han desarrollado varios programas de estufas mejoradas. Generalmente, estos programas se enfocaron en la eficiencia de las estufas. Frecuentemente, las estufas mejoradas fueron desarrolladas en laboratorios, sin tomar en cuenta las costumbres locales y aspectos de género. Consecuentemente, algunos de estos programas no han tenido mayor impacto en el consumo total de la leña, y han disminuido el interés en esta tecnología. Sin embargo, las estufas mejoradas pueden brindar otros beneficios además de la disminución del consumo de leña, como por ejemplo, conveniencia, reducción del humo, ahorro de tiempo, salud y seguridad, beneficiando particularmente a las mujeres.

## 5.2 Industrias

La biomasa es una fuente de energía importante para muchas industrias rurales en América Central; por ejemplo, para la fabricación de ladrillos y cal, y para el procesamiento de productos agrícolas. En comparación con el sector doméstico, su uso en el sector industrial es menor, pero todavía considerable. Seguidamente se mencionan las aplicaciones industriales más importantes:

· **Generación de calor:** Particularmente en zonas rurales, varias industrias utilizan fuentes de biomasa para generar el calor requerido para procesos como el secado de productos agrícolas (café) y la producción de cal y ladrillos. En las pequeñas industrias, los procesos energéticos muchas veces son ineficientes debido a la baja calidad de los equipos y a procedimientos inadecuados de operación y mantenimiento.

· **Co-generación:** Esta aplicación se refiere a la generación simultánea de calor y electricidad, lo cual resulta considerablemente más eficiente que los dos sistemas separados. Se utiliza con frecuencia en industrias que requieren de las dos formas de energía, como el procesamiento de café y azúcar. Su configuración depende de cuál es la forma de energía más importante; a veces se utilizan el calor y la electricidad en el proceso de la planta industrial y se vende el excedente a otros usuarios o a la red eléctrica.

· **Generación eléctrica:** En varios países industrializados se utiliza la biomasa, a gran escala, para la red eléctrica interconectada. También se usa en combinación con otras fuentes convencionales como el carbón mineral.

· **Hornos industriales:** Los hornos de combustión directa están ampliamente difundidos en todas las operaciones agroindustriales de América Central. Básicamente consisten en una cámara de combustión en la que se quema la biomasa (leña, cascarilla de arroz o café, bagazo, cáscara de macadamia o coco, etc.), para luego usar el calor liberado en forma directa o indirecta (intercambiador de calor) en el secado de granos, madera o productos agrícolas.

· **Calderas:** Las calderas que operan con base en la combustión de biomasa (leña, aserrín, cascarilla de café, arroz, etc.) se usan en el secado de granos, madera y otros. Estos equipos están dotados de una cámara de combustión en su parte inferior (en el caso de las calderas a leña) en la que se quema el combustible; los gases de la combustión pasan a través del intercambiador de calor, transfiriéndolo al agua. En algunas calderas se usan inyectores especiales para alimentar biomasa en forma de polvo (aserrín, cáscara de grano, etc.), a veces, junto a algún otro tipo de combustible líquido (por ejemplo, búnker).



Figura 8. Proyecto de COOPETORTILLA R.L. (Cooperativa autogestionaria en Costa Rica).

## Energía de desechos

En el distrito de Cayo, en el oeste de Belice, se encuentra la empresa Pine Lumber Company (PLC), la que procesa madera de pino originado en una reserva forestal cercana de la cual tiene concesión de extracción. Actualmente, el aserradero procesa unos 1.000 m<sup>3</sup> de material crudo por mes.

Como en todos los aserraderos, el procesamiento de la madera genera cantidades considerables de desechos como el aserrín. Considerando el problema de su almacenamiento y disposición y las altas tarifas de electricidad del país, la empresa está desarrollando un proyecto para aprovechar estos desechos generando energía, en forma de vapor y electricidad, con el objetivo de, por un lado reemplazar la compra de electricidad y por el otro, secar madera.

Con el apoyo de BUN-CA (FOCER), se realizó un estudio de pre-factibilidad para definir las opciones tecnológicas y el monto de la inversión requerida. Considerando que, anualmente, se generan unas 2.500 toneladas de desechos, se puede implementar un sistema con una capacidad térmica de 1 MW y una capacidad eléctrica de entre 100 y 200 kW. Este sistema podría suplir el 80% de las necesidades energéticas del aserradero y cuando este estuviera fuera de operación, el sistema generaría electricidad para ser vendida a la red.

El estudio definió tres alternativas, con diferentes tecnologías y capacidades térmicas y eléctricas, las cuales van a ser evaluadas con más detalle durante el estudio de factibilidad. La opción más atractiva depende, sobre todo, de la tarifa que se podría obtener al vender la electricidad a la red interconectada.

Además de bajar los costos de producción y solucionar el problema de los desechos acumulados, el proyecto permite el secado de una mayor cantidad de madera, lo cual da un valor agregado al producto final. También existe la posibilidad de instalar hornos adicionales para brindar el servicio de secado de madera a otros productores.



Figura 9. Desechos acumulados en un aserradero.



## 5.3 Sector comercial

Muchos restaurantes y pequeños negocios, sobre todo en áreas rurales, utilizan leña para aplicaciones similares a las domésticas, por ejemplo, para preparación de comidas y panaderías. Los equipos, generalmente, son de mayor calidad que las estufas domésticas; sin embargo, aún se pueden mejorar.

Por lo común, no hay información disponible sobre las cantidades de biomasa consumida por el sector comercial, pues muchos negocios operan de manera informal. Se puede decir que, en comparación con el sector doméstico e industrial, el consumo es mucho menor; sin embargo, la biomasa es una fuente importante para este sector.

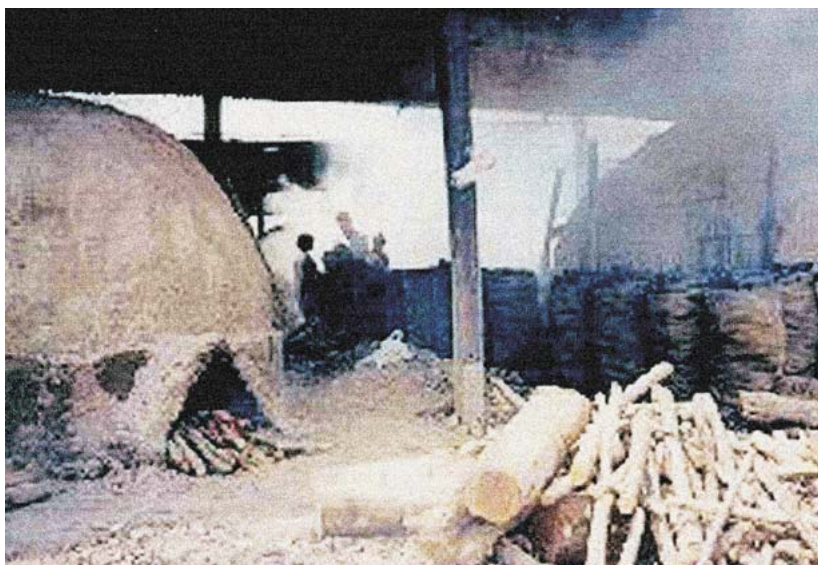


Figura 10. Horno tradicional de cal en América Central.

## 6. Costos

La estimación de los costos de inversión en cualquier sistema de conversión de biomasa depende de tres factores fundamentales:

- **Volumen y tipo de biomasa:** el volumen determina el factor de escala del sistema y los procesos auxiliares; mientras que el tipo y las características de la biomasa determinan los tratamientos previo y posterior requeridos.

- **Proceso de conversión:** éstos se establecen con base en el volumen y las características de la biomasa: de la tecnología seleccionada depende el grado de complejidad del sistema.

- **Aplicación de la energía:** el uso final de la energía obtenida influye fuertemente en el costo total de la instalación. En los casos en que el objetivo es la generación de calor, el equipo auxiliar requerido se limita a los quemadores adecuados. Cuando el uso final es la generación de electricidad, la complejidad y el número de equipos incrementa el costo de inversión.

Dado que la biomasa se presenta en un amplio rango de volúmenes y características, no es posible establecer costos de inversión exactos. Dependiendo del proceso de conversión, los costos pueden ir desde unos cientos de dólares para el proceso completo, hasta aproximadamente \$2.000 por kW de potencia eléctrica instalada.

No obstante, en sistemas de pequeña y mediana escala, se puede obtener un período simple de retorno inferior a cinco años, lo que hace atractivo el uso de biomasa como sustituto de combustibles fósiles en procesos agroindustriales como el secado de granos.

También debe considerarse que, en algunos procesos de tratamiento de biomasa como en los rellenos sanitarios y en el tratamiento de aguas de beneficiado de café, por la elevada producción de residuos, la reducción la contaminación cobra mayor importancia que la rentabilidad económica de la conversión energética. En otras palabras, estos procesos no tienen como objetivo la conversión energética, sino el tratamiento de los desechos; la energía obtenida del proceso es un subproducto aprovechable.



Figura 11. Fogón mejorado en vivienda rural de Guatemala



La siguiente tabla muestra algunos ejemplos de los costos de inversión en procesos de conversión de biomasa en energía:

Tabla 4. Costos de inversión estimados para algunos procesos de conversión.

| Tecnología  | Tipo de biomasa            | Consumo de combustible | Producto          | Producción                              | Potencia térmica | Costo estimado (US\$) |
|---|----------------------------|------------------------|-------------------|---|------------------|-----------------------|
| Horno de carbón de ladrillos                        | Madera                     | -                      | Carbón vegetal    | 3 Tm/mes                                | NA               | 3.500                 |
| Gasificador   | Madera                     | 300 kG/h               | Gas pobre         | 660 m <sup>3</sup> /h                   | 600 kW           | 12.000                |
| Digestor de estiércol                               | Estiércol                  | 150 kG/día             | Metano            | 8 m <sup>3</sup> /día                   | NA               | 500                   |
| Sistema para generación eléctrica en ciclo de vapor | Bagazo de caña de azúcar   | -                      | Energía eléctrica | 10-20 kWh/Tm de caña molida             | NA               | 1.500 - 2.000 por kW  |
| Horno de combustión directa                         | Madera, cascarilla de café | 0,5 m <sup>3</sup> /h  | Energía térmica   | 150.000 m <sup>3</sup> /h de área 60 °C | 2 MW             | 30.000                |

## 7. Aspectos Ambientales

El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía ofrece un amplio rango de beneficios ambientales: puede contribuir a mitigar el cambio climático y el efecto invernadero, reducir la lluvia ácida, prevenir la erosión de los suelos y la contaminación de las fuentes de agua, reducir la presión provocada por la basura urbana, enriquecer el hábitat de la vida silvestre y ayudar a mantener la salud humana y estabilidad de los ecosistemas.

### a. Cambio climático

La actividad humana, principalmente el uso de combustibles fósiles, emite millones de toneladas de los denominados “gases de efecto invernadero” a la atmósfera. Estos incluyen el dióxido de carbono y el metano, entre otros, y contribuyen a modificar el clima global.

El metano que escapa de los rellenos sanitarios y de las aguas residuales de procesos industriales, agrícolas y urbanos, puede ser minimizado al convertirlo en energía térmica, eléctrica o mecánica.

Todas las cosechas, incluyendo las plantaciones energéticas, capturan carbono a través de las plantas mientras crecen, produciendo un balance natural de carbono en los suelos. Cuando se quema biomasa, el dióxido de carbono liberado es absorbido por la siguiente cosecha en crecimiento; este se denomina un “ciclo cerrado de carbono”. De hecho, la cantidad de carbono secuestrado puede ser mayor que la del liberado durante la combustión debido a que muchos de los cultivos energéticos son permanentes: al utilizar solo una parte de la planta las raíces, además de estabilizar los suelos, secuestran carbono en su regeneración año tras año.

### b. Lluvia ácida

La lluvia ácida es causada, principalmente, por las emanaciones de sulfuro y óxido de nitrógeno de la combustión de hidrocarburos y causa la muerte de cultivos y la contaminación de las aguas; además de ser nocivo para la vida humana y silvestre. Dado que la biomasa no tiene contenido de sulfuro, su conversión en energía no produce lluvia ácida.

### c. Erosión de suelos y contaminación de agua

Los cultivos y plantaciones energéticas ayudan a estabilizar los suelos, lo cual reduce la erosión y la pérdida de nutrientes.

Los procesos de digestión anaeróbica reducen la contaminación del agua debido a que se usan desechos animales y agrícolas antes de que penetren en los suelos y lleguen a los ríos.

La combustión de los desechos de aserrío puede evitar que el aserrín y las astillas producidas en los aserraderos contaminen los ríos que deben alimentar, luego, los procesos agrícolas aguas abajo.

### d. Contaminación por basura urbana

El aprovechamiento de los residuos urbanos y agrícolas reduce el volumen de los rellenos sanitarios y la generación del gas metano. Esto permite convertir un producto contaminante en energía libre de emanaciones nocivas para el ambiente.

## e. Hábitat silvestre

Los cultivos energéticos son hábitat de todo tipo de vida silvestre; por ejemplo los árboles ofrecen posibilidades para que la vida acuática florezca, al proveer sombra y estabilizar los cauces de ríos y las orillas de los lagos. Ciertas plantaciones energéticas pueden ofrecer refugio para aves y otros animales, especialmente si son planificados apropiadamente; además, pueden ser un soporte vital para bosques centenarios que albergan hábitats no sustituibles.



Figura 12. Desechos de aserradero, San Ignacio-Belize.

## 8. Ventajas y desventajas

### 8.1 Ventajas

La biomasa es una fuente renovable de energía y su uso no contribuye a acelerar el calentamiento global; de hecho, permite reducir los niveles de dióxido de carbono y los residuos de los procesos de conversión, aumentando los contenidos de carbono de la biosfera.

La captura del metano de los desechos agrícolas y los rellenos sanitarios, y la sustitución de derivados del petróleo, ayudan a mitigar el efecto invernadero y la contaminación de los acuíferos.

Los combustibles biomásicos contienen niveles insignificantes de sulfuro y no contribuyen a las emanaciones que provocan “lluvia ácida”.

La combustión de biomasa produce menos ceniza que la de carbón mineral y puede usarse como insumo orgánico en los suelos.

La conversión de los residuos forestales, agrícolas y urbanos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que trae el manejo de estos desechos.

La biomasa es un recurso local que no está sujeto a las fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional de las importaciones de combustibles. En países en desarrollo, su uso reduciría la presión económica que impone la importación de los derivados del petróleo.

El uso de los recursos de biomasa puede incentivar las economías rurales, creando más opciones de trabajo y reduciendo las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.

Las plantaciones energéticas pueden reducir la contaminación del agua y la erosión de los suelos; así como a favorecer el mantenimiento de la biodiversidad.

### 8.2 Desventajas

Por su naturaleza, la biomasa tiene una baja densidad relativa de energía; es decir, se requiere su disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción neta de energía. La clave para este problema es ubicar el proceso de conversión cerca de las fuentes de producción de biomasa, como aserraderos, ingenios azucareros y granjas, donde los desechos de aserrío, el bagazo de caña y las excretas de animales están presentes.

Su combustión incompleta produce materia orgánica, monóxido de carbono (CO) y otros gases. Si se usa combustión a altas temperaturas, también se producen óxidos de nitrógeno. A escala doméstica, el impacto de estas emanaciones sobre la salud familiar es importante.

La producción y el procesamiento de la biomasa pueden requerir importantes insumos, como combustible para vehículos y fertilizantes, lo que da como resultado un balance energético reducido en el proceso de conversión. Es necesario minimizar el uso de estos insumos y maximizar los procesos de recuperación de energía.

Aún no existe una plataforma económica y política generalizada para facilitar el desarrollo de las tecnologías de biomasa, en cuanto a impuestos, subsidios y políticas que cubren, por lo general, el uso de hidrocarburos. Los precios de la energía no compensan los beneficios ambientales de la biomasa o de otros recursos energéticos renovables.

El potencial calórico de la biomasa es muy dependiente de las variaciones en el contenido de humedad, clima y la densidad de la materia prima.

## 9. Experiencias en América Central

### 9.1 Usos actuales de la biomasa en América Central

Tradicionalmente, la leña ha desempeñado un papel importante en la generación de energía, ya que se utiliza como combustible principal en muchas actividades económicas. Su uso para fines domésticos y en industrias a pequeña escala (panaderías, salineras, caleras, ladrilleras, trapiches, etc.), es fundamental para la producción rural en todos los países del área. La leña, en la mayoría de los casos, es un subproducto de los procesos agrícolas, por eso representa un combustible relativamente accesible y de buena calidad que, hasta el momento, tiene un costo menor que los sustitutos.

La Tabla 5 muestra el consumo actual, los diferentes sectores, de la biomasa, en América Central.

Tabla 5. Consumo de biomasa en América Central <sup>3</sup> (en terajoules)

| País               | Sector    | Energía total | Leña    | Residuos | Carbón vegetal | Total biomasa | Porcentaje de biomasa en energía total |
|--------------------|-----------|---------------|---------|----------|----------------|---------------|--|
| Guatemala (1999)   | Doméstico | 135.436       | 111.942 | n.d.     | 990            | 112.932       | 83,4%                                  |
|                    | Industria | 29.665        | 2.425   | 5.215    | n.d.           | 7.640         | 25,8%                                  |
|                    | Total     | 220.288       | 114.367 | 5.215    | 990            | 120.572       | 54,7%                                  |
| Honduras (2000)    | Doméstico | 54.880        | 46.856  | n.d.     | n.d.           | 46.856        | 85,4%                                  |
|                    | Industria | 25.736        | 3.150   | 5.881    | n.d.           | 9.031         | 35,1%                                  |
|                    | Total     | 115.720       | 50.006  | 5.881    | n.d.           | 55.887        | 48,3%                                  |
| El Salvador (1996) | Doméstico | 70.506        | 59.538  | n.d.     | 512            | 60.050        | 85,2%                                  |
|                    | Industria | 26.215        | 7.830   | 4.520    | n.d.           | 12.351        | 47,1%                                  |
|                    | Total     | 131.326       | 67.369  | 4.520    | 512            | 72.401        | 55,1%                                  |
| Nicaragua (1999)   | Doméstico | 48.083        | 44.945  | n.d.     | 138            | 45.083        | 93,8%                                  |
|                    | Industria | 13.627        | 347     | 6.100    | n.d.           | 6.448         | 47,3%                                  |
|                    | Total     | 87.554        | 45.350  | 6.146    | 753            | 52.250        | 59,7%                                  |
| Costa Rica (1999)  | Doméstico | 13.255        | 2.346   | n.d.     | 147            | 2.493         | 18,8%                                  |
|                    | Industria | 21.326        | 160     | 5.157    | n.d.           | 5.317         | 24,9%                                  |
|                    | Total     | 96.816        | 2.506   | 5.157    | 151            | 7.814         | 8,1%                                   |
| Panamá (1999)      | Doméstico | 32.049        | 15.332  | n.d.     | 117            | 15.449        | 48,2%                                  |
|                    | Industria | 15.648        | 1.438   | 1.609    | n.d.           | 3.047         | 19,5%                                  |
|                    | Total     | 77.195        | 16.770  | 1.609    | 117            | 18.496        | 24,0%                                  |

Fuente: Balances energéticos nacionales, compilado por BUN-CA, 2002.

<sup>3</sup> Los datos para Belice no estaban disponibles.

# Experiencias en América Central

## a. Sector doméstico

El mayor porcentaje de la leña es consumido en el sector doméstico y proviene en su mayor parte, de la recolección en campos de cultivo y bosques. En este sector, la conversión se realiza a través de estufas simples de combustión directa, caracterizadas por una baja eficiencia y un alto nivel de emanaciones nocivas para la salud.

La biomasa es la fuente de energía doméstica más importante en la región: en algunas zonas representa más del 80% del consumo total (ver Tabla 8).

La escala del consumo doméstico de leña genera un mercado de producción, procesamiento y comercialización, cuya fuente de recurso es, generalmente, la frontera agrícola-forestal de los campos de cultivo. También se utilizan residuos de podas forestales, cortavientos y rotación de cultivos como el café.

## b. Sector industrial

En los países de América Central, el consumo de leña en la industria rural alcanza un porcentaje mayor al 30% del total general y, a pesar de la existencia de electricidad y de combustibles derivados del petróleo, ésta es aún el recurso energético preferido, especialmente por su disponibilidad y bajo costo. Sin embargo, la creciente demanda provoca, en algunos casos, la ampliación de la frontera agrícola-ganadera, lo cual contribuye a aumentar la presión sobre la masa boscosa existente.

En el caso de las grandes industrias de producción rural, el uso de leña se circunscribe a procesos de secado y generación de vapor. Tal es el caso de la industria del tabaco, café, destilerías, cementeras, siderurgia e ingenios azucareros; aunque éstos últimos han sustituido los sistemas de combustión por leña (al menos en un porcentaje considerable), por sistemas de cogeneración a partir del bagazo, donde se produce vapor y electricidad.

Generalmente, las técnicas y equipos utilizados para la combustión de leña son de baja eficiencia y requieren una elevada cantidad de combustible para sostener los procesos productivos; esta circunstancia, junto al aumento de los costos, está motivando a la industria a buscar soluciones que le permitan reducir gastos de operación y mejorar sus utilidades financieras.

Otro recurso biomásico que se emplea normalmente en la producción de energía es la cascarilla de café, la cuál se usa como combustible en los hornos de secado del beneficiado de café. También se usa bagazo en los trapiches, concha de macadamia, residuos de maíz y otros; todos, en procesos de combustión directa para secado de productos agrícolas.

## 9.2 Oportunidades en América Central

Básicamente todos los procesos de conversión mencionados en el Capítulo 4 ofrecen un potencial interesante para América Central y pueden instalarse plantas que operen bajo cualquiera de esos principios. Sin embargo, considerando las economías de escala que determinan la producción promedio de la región, es recomendable enfocarse en aquellos procesos que puedan ser implementados con relativa baja inversión y cuyos productos energéticos puedan usarse para sustituir directamente combustibles derivados del petróleo y aprovechar residuos biomásicos que actualmente se desechan.

# Experiencias en América Central

## **a. Combustión directa**

En este tipo de conversión, deben implementarse sistemas de combustión eficientes que permitan utilizar residuos forestales y agrícolas con mayor aprovechamiento del recurso y con niveles de inversión que estén al alcance de los productores. Las hornillas convencionales a leña pueden alimentarse con astillas, en sustitución de trozas, lo que permitiría obtener mayor rendimiento de la biomasa, gracias a un control más preciso de la temperatura y, por otro lado, al aumento del poder calórico debido a una mejor curva de secado de la leña en almacenamiento. También es conveniente la introducción de hornos de combustión en rejilla por su mayor eficiencia, para el quemado de residuos agrícolas, como cáscara de arroz, café y coco.

## **b. Pirólisis**

Por sus características técnicas y factor de escala, este proceso de descomposición química que se obtiene por calor requiere altas inversiones en infraestructura y capacidad técnica, además de un elevado consumo de materia prima muy específica; Por eso, la pirólisis sólo es factible en asociación con grandes producciones de residuos lignocelulósicos (con contenidos de celulosa y lignina), como en las compañías forestales, en las que puede resultar rentable la producción de biocombustibles.

## **c. Gasificación**

Aunque la tecnología del gas pobre ha alcanzado elevados niveles de escala y complejidad, que se traducen en elevadas inversiones, también es posible desarrollar sistemas adaptados a la capacidad de la pequeña y mediana industria, los cuales pueden ser fabricados localmente, para reducir los consumos actuales de leña y aprovechar residuos de productos agrícolas con un mayor rendimiento energético y menor nivel de emanaciones perjudiciales para la atmósfera.

La gasificación puede emplearse para sustituir la combustión de derivados del petróleo o sistemas poco eficientes de quema directa en procesos de secado, como en la industria del café, arroz, madera, macadamia, salineras y caleras.

En algunas regiones rurales, podrían implementarse sistemas de generación eléctrica para resolver el suministro de energía en pequeñas comunidades e industrias agrícolas, aunque su gestión es más complicada.

## **d. Digestión anaeróbica**

Esta tecnología ha demostrado ser una solución para el tratamiento de desechos agroindustriales como las aguas residuales del proceso en beneficiado del café, los residuos de granjas lecheras y porcinas, mataderos y otros.

Además del beneficio ambiental, la digestión anaeróbica supe un subproducto de alto valor energético (metano); aunque, en algunos de los procesos, el valor de la energía generada no compensa la inversión requerida. Tal es el caso de los reactores anaeróbicos para el tratamiento de las aguas de café, cuyo objetivo es el tratamiento biológico de los residuos líquidos.



## Energía del gas pobre

La Escuela de Ingeniería de Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, desarrolló un tipo de gasificador conocido como flujo descendente adaptado de la tecnología alemana, el gasificador ha sido probado en varios beneficios de café como es el caso de Coopetila R.L y Volcafé.

### Experiencia en Coopetila R.L.

La Cooperativa de Caficultores de Tilarán R.L. (Coopetila), ubicada en Guanacaste, tiene como actividad principal la exportación de café y macadamia. En los últimos 2 años BUN-CA y Coopetila han desarrollado un proyecto de Reconversión Industrial y Eficiencia Energética para el beneficiado de café, dentro del cual BUN-CA apoyó a la Cooperativa, a instalar provisionalmente un gasificador de leña para secar café en Guardiola. El gasificador operó a una potencia de  $250 \text{ kW}_{\text{th}}$ , alcanzando una temperatura máxima que oscila entre los  $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$  dentro del cisterna, el combustible utilizado fue madera seca en astillas de  $50,8 \text{ mm}$  (2 pulg) de ancho por  $127 \text{ mm}$  (5 pulg) de largo, obteniéndose temperaturas a la entrada de la Guardiola entre  $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , rango ideal para el secado del café, ya que conserva la integridad del grano.

El gasificador también ha sido probado con concha de macadamia, la cual dio muy buenos resultados a pesar de que la cantidad de aceites vegetales que posee la macadamia. Sin embargo, la alta producción de alquitrán, afectaba la operación del gasificador ya que el alquitrán al enfriarse se convertía en una sustancia pastosa que obstruía la entrada de aire al cisterna, factor que hubo que controlar durante el proceso.



Figura 13a. Gasificador instalado en Coopetila, Guanacaste.

Figura 13b. Apertura del cenicero en Coopetila, Guanacaste.



## Experiencias en América Central

Sin embargo, en las granjas lecheras y porcinas, además del beneficio ambiental por el tratamiento de los desechos, se logran considerables ventajas económicas con el uso del gas metano para la generación de calor y los efluentes orgánicos del proceso como sustitutos del abono químico.

Por otro lado, el tratamiento adecuado de los rellenos sanitarios con fines energéticos, promete ser la solución para los problemas de la basura urbana en todas las ciudades importantes de América Central.

La falta de conocimiento y la ausencia de una cultura orientada al aprovechamiento de los desechos ha provocado un mal manejo de la basura orgánica en todos los países del área, lo que acarrea serios problemas económicos, ambientales y de salud. El uso y administración adecuados de los residuos urbanos representa una opción atractiva, no sólo por la disminución de costos, sino por la posibilidad de revertir un problema político y social en una actividad económica importante.



Figura 14. Beneficio de café para obtención de gas metano.  
Las Quebradas-El Salvador

### e. Biocombustibles

Al igual que la pirólisis, estos procesos requieren una inversión importante y un sistema de mayor complejidad tecnológica, además de una serie de factores logísticos y administrativos; esto los convierte en buenas alternativas sólo para instalaciones industriales de importancia como destilerías e ingenios de caña de azúcar. Debe considerarse que, asociada al proceso de fermentación, existe una alta producción de efluentes contaminantes que también deben ser debidamente tratados.

### Energía para el beneficiado de café

La Unión de Cooperativas de la Reforma Agraria, Productoras, Beneficiadoras y Exportadoras R.L. (UCRAPROBEX), en El Salvador, funciona como enlace de las cooperativas agrícolas con el mercado internacional, y tiene como actividad principal la exportación de café y otros productos agrícolas. Es propietaria de algunos beneficios, entre los cuales está Las Quebradas, ubicado en el Departamento de La Libertad en El Salvador. BUN-CA (FOCER) apoyó la realización de un estudio en dicho lugar para conocer la factibilidad técnica y financiera del aprovechamiento de los desechos del beneficiado de café, para la generación de energía en forma de electricidad y calor, con el fin de proveer la energía requerida para sus operaciones y, posiblemente, vender el excedente a la red pública.

En el beneficio Las Quebradas, algunos de los desechos ya se aprovechan en el proceso. Por ejemplo, la cascarilla se quema para el secado de café y la broza se aplica como abono orgánico para su cultivo. Por eso, el estudio se enfocó en la generación de gas metano, a partir de las aguas mieles, a través del proceso de la digestión anaeróbica. Considerando la cantidad de las aguas mieles, se definió que la capacidad máxima para la generación de energía térmica sería  $250 \text{ kW}_{th}$ , con un generador eléctrico de 50 kW. Tomando en cuenta que las leyes ambientales del país no permiten la descarga del agua sin tratamiento, también se consideró la posibilidad de implementar, inicialmente, un sistema de tratamiento de aguas, el cuál se podría convertir en uno de generación de energía a mediano plazo.



Figura 15. Despulpadora de café, Ucraprobex, El Salvador.

Algunas ventajas al aplicar estos procesos en América Central son las siguientes:

- **Mejorar la eficiencia de co-generación:** como se mencionó, la co-generación en ingenios de azúcar ya es un proceso común en la región, pero se trabaja con baja eficiencia. Mejorar el rendimiento para producir más electricidad y vender el excedente, brinda una buena oportunidad para diversificar el mercado y aumentar la sostenibilidad de los ingenios, más cuando se considera la variabilidad del precio del azúcar en el mercado mundial.

### Energía dulce

La Central Azucarera Tres Valles (CATV), ubicada en el Departamento de Francisco Morazán, en Honduras, desarrolla un proyecto para modernizar el sistema de co-generación basado en bagazo de caña, con el fin de optimizar la generación y utilización de energía, dentro de la operación del Ingenio, y vender el excedente a la red nacional. El proyecto consiste en reemplazar los equipos actuales de generación de vapor y energía por equipos más eficientes; asimismo, reemplazar las turbinas actuales, utilizadas para preparación de caña y extracción de jugo, por motores eléctricos de alta eficiencia con el fin de disminuir el gasto interno de energía térmica.

Anualmente, el ingenio procesa 450 mil toneladas de caña de azúcar, 3.500 toneladas por día, lo cual genera unas 125 mil toneladas de bagazo. El sistema existente tiene una capacidad eléctrica de 1,9 MW y opera con turbinas de accionamiento para la preparación de caña y extracción de jugo. Con el apoyo de BUN-CA (FOCER), se elaboró el estudio de factibilidad, el cual definió el sistema óptimo, considerando las condiciones tecno-económicas, con una capacidad de generación eléctrica de 11 MW.

El proyecto prevé la instalación de una caldera que opere a una mayor presión de vapor que la actual (de 300 a 900 psig), y un turbo generador de 11 MW. Además, se reemplazarán las turbinas mecánicas en las cuchillas de caña y molinos por motores eléctricos para optimizar la generación y utilización de energía. De la electricidad generada, el 30% es para la operación del ingenio, el resto, un estimado de 24 GWh por año, es para la venta a la red. La configuración permitirá que exista un sobrante de bagazo para generar y despachar, después de la zafra, unos 635 MWh adicionales. Además, existe la posibilidad de producir, con otros combustibles de biomasa, fuera del tiempo de la zafra.

En este momento, la empresa está cotizando equipos con varios suplidores, y negociando un contrato de compra-venta con la ENEE, la empresa eléctrica nacional en Honduras. Se espera que el sistema de cogeneración esté operando en el año 2003.



Figura16. Instalaciones de la Central Azucarera Tres Valles, Honduras.

## Experiencias en América Central

### Azucarera El Viejo S.A

El Ingenio “El Viejo S.A”, se ubica en Filadelfia, Provincia de Guanacaste, Costa Rica, fue creado en 1958 para producir azúcar y melazas. El 1990 El Viejo inició un proceso de modernización del sistema de co-generación, ya que deshacerse del bagazo tenía un alto costo en la zafra, así como la compra de energía que representaba el 20% de los costos de producción de la empresa.

Anteriormente el ingenio procesaba 365.000 toneladas de caña al año, con una producción de bagazo de 109.500 toneladas, del cual el 30% se utilizaba para generar vapor a 14 bar (200 psi) en dos calderas, las cuales producían un total de 74.544 kg/h de vapor que se utilizaba tanto para generar electricidad como para los motores de la molienda y las cuchillas cañeras. El vapor residual era usado para suplir los requerimientos térmicos de los tachos, evaporadores, etc. El vapor utilizado para generar electricidad pasaba a un turbo-generador de 1.5 MW de capacidad en una cantidad de 15.454 kg/h produciendo 1 MW de energía que era consumida en el funcionamiento del Ingenio.

Una vez realizados los estudios de factibilidad técnico-económico se instalaron los siguientes equipos: una caldera de 90.909 kg/h 28 bar, un turbogenerador de condensación con una capacidad de 7.500 kW, y un turbogenerador de no condensación de 5.000 kW, una subestación para 12.000 kW con un transformador de 7.500 kW para elevar el voltaje de 4.160 a 24.900 voltios, voltaje requerido para el sistema interconectado. La energía eléctrica generada es utilizada para el funcionamiento del Ingenio el cual requiere de 2.500 kW para su operación y los restantes 4.000 kW se venden al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

· **Aprovechar los desechos del beneficio de café para generación de energía:** el procesamiento de café genera cantidades considerables de desechos biomásicos, como la cascarilla, la pulpa o broza y las aguas mieles. Generalmente estos no se aprovechan, causando problemas ambientales por su vertido en ríos. Debido a la legislación ambiental, más exigente en los últimos años, existen restricciones en cuanto a las cantidades y características de los productos residuales que se pueden depositar, los beneficios están obligados por lo tanto a realizar procesos más limpios. A la vez, esto brinda una oportunidad para aprovechar los desechos en la generación de energía para autoconsumo y, así, bajar los costos de producción. A partir de ellos se puede generar calor para el secado de café y electricidad. Dependiendo de la cantidad, las necesidades energéticas del beneficio, la legislación del sector y la inversión requerida, se puede vender una parte de la electricidad generada.

### Plantas de Secado de Broza.

En respuesta a la necesidad del sector café de disminuir sus costos de producción y a la vez, encontrar una solución ambiental al manejo de la broza, se han desarrollado en Costa Rica varias iniciativas privadas para secar la broza con fines energéticos. Unos de los grandes problemas que se presentan para secar la broza es el alto nivel de humedad que posee, ya que éste oscila entre el 78-82%, lo que obliga antes de enviarla a secar a bajar hasta un 50% el nivel de humedad, en pruebas recientes con equipo como prensas se ha logrado bajar la humedad de la broza hasta un 60% sin embargo ésta no puede secarse ya que los contenidos de humedad son muy altos, lo cual requeriría mucha energía para su secado y ésta no podría recuperarse al utilizar la broza como combustible. Sin embargo BUN-CA espera operar próximamente en Costa Rica una planta piloto de secado de pulpa, donde se utilizará una cámara de lecho fluidizado para secar al menos 20 fanegas de broza al día.

## Experiencias en América Central

· **Generación de energía en aserraderos:** igual que el café, el procesamiento de madera genera cantidades considerables de desechos, en forma de aserrín y pequeños pedazos de madera. Se estima que, de un árbol talado, se aprovecha solo 20% en el producto final. En los aserraderos, estos desechos están fácilmente disponibles, pero, generalmente, no se usan, causando problemas ambientales por su quema o el vertido en ríos. Se pueden aprovechar en la generación de calor, para secar la madera, y en la generación de electricidad, para autoconsumo en el aserradero, lo cual evita problemas legales ambientales, baja los costos de producción y genera un producto de mejor calidad.

Considerando que la biomasa es un recurso interno del país que puede ahorrar la importación de combustibles fósiles y proveer empleo a un gran porcentaje de la población rural, en vez de reducir el consumo, se deberían mejorar su producción, comercialización y aplicación. En este contexto, las mejoras de las estufas deberían concentrarse en la conveniencia de su uso y en la disminución del humo, tomando en cuenta las costumbres locales e involucrando al sector privado en su desarrollo y comercialización. Adicionalmente, las políticas energéticas y forestales deberían estimular la producción de energía biomásica en tierras privadas y comunales como campos agrícolas y frutícolas, y su distribución través de canales comerciales, con el fin de lograr la mayor disponibilidad de un producto de mejor calidad.

### 9.3 Barreras para el desarrollo de la biomasa como fuente de energía

En el área de América Central el desarrollo de la biomasa como fuente de energía enfrenta barreras que pueden resumirse en cuatro aspectos:

· **Información:** la pequeña y mediana industria carecen de la información que les permita valorar debidamente el valor agregado que pueden reportar con el aprovechamiento energético de los residuos. La falta de conocimiento provoca cálculos inadecuados de las inversiones iniciales y la tasa de retorno, por lo que no se tiene una idea adecuada de la rentabilidad de los proyectos de recuperación energética de los desechos.

· **Financiero:** Al no existir programas financieros en la banca que soporten las inversiones en este tipo de proyectos, los productores están obligados a financiarlos con su propio capital o a partir de endeudamiento bajo las tasas de interés comerciales del mercado. Esta situación hace disminuir la tasa de retorno y, por ende, la factibilidad económica.

· **Política:** no existen programas de gobierno enfocados al fortalecimiento de las tecnologías, ni incentivos para la generación de energía o la sustitución de combustibles fósiles. En toda el área, el aumento en las tarifas eléctricas y el costo de los combustibles están favoreciendo el desarrollo de la biomasa, como una vía para la reducción de las facturas por insumos energéticos.

· **Institucional:** no existe en la región la capacidad y el soporte técnicos formales para el desarrollo y aplicación de estas tecnologías. Algunas empresas vinculadas con capitales extranjeros han realizado acciones en algunos campos, como la digestión anaeróbica, pero no se cuenta con suficientes empresas formales centroamericanas que ofrezcan equipo y soporte técnico.





HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA • SOLAR FOTOVOLTAICA • EÓLICA • SOLAR TÉRMICA • BIOMASA



BUN-CA



# ANEXOS

# ANEXO 1. Publicaciones y Sitios Web Recomendados

## Publicaciones recomendadas

BUN-CA (1994). “Commercially successful biomass energy projects in developing countries”. Biomass Users Network: Oficina Regional para Centro América, San José, Costa Rica.

BUN-CA (1995). Tecnologías para la conversión de energía biomásica. Seminario “Proyectos de generación eléctrica a partir de recursos biomásicos”, Honduras, diciembre. 1995. Biomass Users Network: Oficina Regional para Centro América, San José, Costa Rica.

BUN-CA (1995). Aspectos relacionados con la generación eléctrica a partir de residuos biomásicos. Seminario “Proyectos de generación eléctrica a partir de recursos biomásicos”, Honduras, diciembre. 1995. Biomass Users Network: Oficina Regional para Centro América, San José, Costa Rica.

BUN-CA (1997). “An overview of sugar cane co-generation in six Central American countries”. Biomass Users Network: Oficina Regional para Centro América, San José, Costa Rica.

CNE (1986). “Inventario y evaluación de los biodigestores en Costa Rica”. Comisión Nacional de Energía, Costa Rica.

DSE (1986). “Potencial bioenergético de Costa Rica”. Dirección Sectorial de Energía, Ministerio de Energía y Ambiente, San José, Costa Rica.

FAO (1997). “Reunión regional sobre biomasa para la producción de energía y a alimentos”. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Cuba.

ICE (1981). “Biomasa, fuente de energía”. Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica.

Leach, Gerald and Marcia Gowen (1987). “Household energy handbook, an interim guide and reference manual”. World Bank Technical Paper 67, World Bank, Washington, USA.

RWEDP (2002). “Wood energy basics”. Regional Wood Energy Development. Programme in Asia, Bangkok, Thailand. Disponible en <http://www.rwedp.org>.

## Sitios web recomendados

### 1. Información educativa

<http://solstice.crest.org/renewables/re-kiosk/biomass/index.shtml>

Sitio informativo sobre aplicaciones, tecnologías y aspectos económicos de la energía de biomasa.

[http://www.nrel.gov/documents/biomass\\_energy.html](http://www.nrel.gov/documents/biomass_energy.html)

Sitio del Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los EEUU, enfocado en energía de biomasa.

<http://www.rwedp.org>

Sitio de proyecto de biomasa de la FAO en Asia, con información variada sobre su producción, procesamiento y uso relevante para Centroamérica.



# Publicaciones y Sitios Web Recomendados

<http://www.cookstove.net>  
Sitio web sobre mejoras de estufas de biomasa.

## 2. Fabricantes y empresas consultoras

<http://www.btgworld.com>  
Biomass Technology Group: empresa holandesa de consultoría, investigación e ingeniería, especializada en la producción de energía a partir de la biomasa y sus desechos.

<http://www.dynamotive.com>  
Dynamotive: empresa que se dedica al desarrollo y la comercialización de sistemas de energía basados en biomasa.

<http://www.biomasscombustion.com>  
Biomass Combustión Systems: empresa que provee servicios de evaluación, diseño y operación de proyectos para calderas y hornos industriales con base en leña.

## 3. Biodiesel

<http://www.biodiesel.org>  
National Biodiesel Board de los Estados Unidos.

<http://www.greenfuels.org>  
Canadian Renewable Fuel Association: organización, sin fines de lucro, que promueve el uso de biocombustibles para transporte.

<http://www.ott.doe.gov/biofuels>  
U.S.'s Department of Energy National Biofuels Program.

<http://www.biodiesel-intl.com>  
BioDiesel International: empresa especializada en ingeniería de planta para procesar recursos biomásicos.

<http://www.worldenergy.net>  
World Energy: suministradora de combustibles de biomasa (biodiesel).

## 4. Gasificación

<http://www.gasifiers.org>  
Inventario de gasificación, con un listado de instalaciones de gasificación y fabricantes de equipos en el mundo.

<http://www.bgtechnologies.net>  
Sitio web de la empresa BG Technologies USA Inc., la cual desarrolla y vende soluciones energéticas integrales para la industria, la agroindustria, la agricultura y el sector forestal, basados en gasificación de biomasa.

<http://www.future-energy.com>  
Future Energy Resources Corporation: desarrollador del proceso de gasificación de biomasa.

# Publicaciones y Sitios Web Recomendados

## 5. General

[http://www.catie.ac.cr/trof/TROF\\_ESP.htm](http://www.catie.ac.cr/trof/TROF_ESP.htm)

Iniciativa que desarrolla una metodología de inventario y monitoreo de los recursos arbóreos fuera del bosque, con estudios en Costa Rica, Honduras y Guatemala.

<http://bioenergy.ornl.gov>

Bioenergy Information Network.

<http://www.fao.org/forestry/fop/fopw/energy/cont-e.stm>

Forest energy forum, boletín de la FAO.

[http://rredc.nrel.gov/biomass/states/bio\\_glossary/glossary.html](http://rredc.nrel.gov/biomass/states/bio_glossary/glossary.html)

Glosario de términos de energía de biomasa.

<http://solstice.crest.org/renewables/SJ/glossary>

Glosario de términos de energía renovable.

<http://www.woodfuel.com>

The Virtual woodfuel pipeline, mecanismo de mercado para compradores y suplidores de biomasa.

<http://www.eren.doe.gov/RE/bioenergy.html>

Sitio informativo sobre la biomasa, de la Red de Eficiencia Energética y Energía Renovable del Departamento de Energía de EEUU.

## 6. Biogas

<http://www.roseworthy.adelaide.edu.au/~pharris/biogas/beginners.html>

<http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/Recycle/biodig/manual.htm>

<http://www.hcm.fpt.vn/inet/~recycle>

## ANEXO 2. Algunos Suplidores de Equipos, Consultores y ONG's en América Central

### **BELICE:**

Kelosha Corporation  
P.O. Box 165  
Dangriga  
Tel.: (501) 5-12050  
E-mail: mamananoots@btl.net

### **GUATEMALA:**

Fundación Solar  
15 Av. 18-78 Zona 13  
01013 Ciudad de Guatemala  
Tel.: (502) 360-1172  
Fax: (502) 332-2548  
E-mail: funsolar@guate.net

### **HONDURAS:**

Proleña  
Tegucigalpa  
Tel.: (504) 235- 8506  
Fax: (504) 232- 8505  
E-mail: foresta@sdnhon.org.hn

### **NICARAGUA:**

Proleña  
Managua  
Tel.: (505) 270-5448  
Fax: (505) 270-5448  
E-mail: prolenna@sdnnic.org.ni

### **COSTA RICA:**

BTG (Biomass Technology Group)  
San José  
Tel.: (506) 210-3565 / 210-3563  
Fax: (506) 210-3565  
E-mail: btgersa@racsa.co.cr

Gustavo Jiménez S.  
Apartado 263-2010  
San José  
Tel: (506) 385 2365  
Fax: (506) 232 8546  
E-mail: jimenez@racsa.co.cr

### **ENERCOS**

San José  
Tel.: (506) 386-6559  
Fax: (506) 260-3641  
E-mail: solelect@racsa.co.cr

Alvaro Montoya  
Tel.: (506) 989-2460  
E-mail: amontoya@sawtec.com

### **EL SALVADOR**

José Mario Vázquez  
JV Consultores  
San Salvador  
Tel./fax: (503) 448-0749  
E-mail: jvconsultores@navegante.com.sv

Ana M<sup>a</sup> González  
San Salvador  
Tel: (503) 273-8553 / 894-7088  
Fax: (503) 273-6534  
E-mail: amgonzalez@telemovil.net

### **PANAMA**

EPPSA (Electric Power Panama, S.A.)  
Ciudad Panamá  
Tel: (507) 632-4343 / 225-8188  
Fax: (507) 225-8188  
E-mail: zeolites@cwp.net.pa

### **ABOQUETE**

Chiriquí  
Tel: (507) 720-4008 / 629-7402  
Fax: (507) 720-1454  
E-mail: aboquete@hotmail.com

(Espacio para agregar otras referencias)

---

---

---

---

---

---

---

# ANEXO 3. Conceptos Básicos de Energía

## 1. Energía y potencia

La energía es parte de todos los ciclos de la vida y es un elemento esencial para prácticamente todas las actividades. Ella es un concepto que se relaciona con varios procesos (como quemar combustibles o propulsar máquinas), así como con las observaciones de dichos procesos. La energía se define científicamente como la capacidad de hacer trabajo.

### Fuentes de energía

Existen diferentes fuentes de energía, las cuales se pueden clasificar en dos grupos:

- Fuentes renovables: no se agotan por su uso, como la energía del viento y del sol. El agua y la biomasa también se incluyen en esta categoría, aunque son renovables bajo la condición de que la fuente se maneje en forma apropiada, por ejemplo, las cuencas hidrológicas y plantaciones de árboles.
- Fuentes no-renovables: están disponibles en cantidades limitadas y se agotan por su uso, como los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo, gas natural). Estas tienen la característica de que, una vez utilizadas para la generación de energía, no se pueden volver a usar.

### Formas de energía

La energía tiene diferentes formas, entre las cuales podemos citar las de mayor importancia:

- Energía cinética: la de un objeto en movimiento como por ejemplo, el agua de un río. La velocidad y masa del objeto determinan, en gran parte, la cantidad de su energía cinética. Cuanto más rápido fluye el agua, más energía estará disponible.
- Energía potencial: la de la posición de un objeto con respecto relativo a la tierra. Esta forma está almacenada y se convierte en energía cinética cuando el objeto se cae. Por ejemplo, el agua en un embalse tiene el potencial de caerse y, cuanto más alta la presa, más energía potencial contiene el agua.
- Energía térmica (calor): una forma de energía cinética causada por el movimiento de los átomos o las moléculas en un material, sea sólido, gaseoso o líquido. Su cantidad es determinada por la temperatura del material, entre más alta la temperatura, más energía está disponible. Por ejemplo, en la combustión de madera u otros materiales se genera calor.
- Energía química: la almacenada en átomos y moléculas; por ejemplo, en materiales combustibles y baterías (acumuladores).
- Energía eléctrica: más conocida como electricidad; es el flujo de los electrones en un material conductor, como un cable eléctrico.
- Energía electromagnética (radiación): la que todos los objetos emiten en diferentes cantidades. La luz es una forma visible de radiación.
- Energía mecánica (o energía rotacional): la de rotación de un eje girando. Esta se produce, por ejemplo, en una turbina hidráulica propulsada por el agua.

### Transformación de energía

“Utilizar” la energía significa, transformar una forma de ella en otra. Por ejemplo, aprovechando la fuerza del viento, se convierte la energía cinética en mecánica, la cual, luego se puede convertir en eléctrica. Para obtener iluminación, se convierte la eléctrica en electromagnética o radiación. Igualmente, “generar” energía significa convertir una forma de ella en otra; por ejemplo, la cinética de agua en movimiento a mecánica, en un sistema hidráulico.

# Conceptos Básicos de Energía

Los términos “utilizar” y “generar” energía científicamente no son correctos porque ella no se puede crear ni destruir. Se puede transformar de una forma a otra, pero no se “gasta” y su cantidad total se mantiene igual en cualquier proceso. Lo anterior es la base de la Primera ley de la termodinámica. Sin embargo, en términos prácticos sí se gasta la energía, debido a que se convierte en una forma que ya no se puede aprovechar. Por ejemplo, cuando se quema una rama seca, la energía química contenida en la madera se convierte en térmica, o sea, en calor, la cual se puede aprovechar; pero luego se dispersa en el ambiente y no se puede utilizar nuevamente.

## Oferta, demanda y consumo

En el análisis de la utilización de energía en el nivel nacional o sectorial se pueden distinguir tres conceptos:

- Oferta de energía: se requiere de ella para aplicaciones como iluminación, cocción, procesos industriales y transporte. La oferta energética puede ser diferente de un lugar a otro, dependiendo de condiciones locales como el clima y las costumbres, y según los diferentes tipos de usuarios (viviendas, industrias, transporte, etc). Se puede satisfacer una necesidad específica de energía con diferentes fuentes e, igualmente, no todas las necesidades se pueden satisfacer por falta de fuentes o presupuesto.
- Demanda por energía: necesidad de fuentes que puedan satisfacer las necesidades de energía. Depende de factores como población, nivel de desarrollo económico, disponibilidad de tecnología, etc. Igual a éstas, no siempre se puede satisfacer la demanda por energía.
- Consumo de energía: utilización real de fuentes; también llamada “demanda expresada”.

## Eficiencia

En todas las transformaciones de energía, se pierde una parte de ella debido a su conversión parcial en una forma que no se puede aprovechar, generalmente en calor. La fracción de la energía utilizable, como resultado de un proceso de conversión, y su insumo se llama la eficiencia del proceso, la cual, generalmente, se representa como un porcentaje. En fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{egreso de energía utilizable}}{\text{insumo de energía}} \times 100\%$$

Cuanto más alta sea la eficiencia, menos energía se pierde. La siguiente tabla muestra eficiencias típicas para algunos procesos de conversión:

Eficiencias típicas de procesos de conversión energética

| Equipo                           | Eficiencia típica (%) |
|----------------------------------|-----------------------|
| Motor de diesel                  | 30 - 45               |
| Motor eléctrico                  | 80 - 95               |
| Turbina hidráulica               | 70 - 99               |
| Bombillo eléctrico incandescente | 5                     |
| Estufa de LPG                    | 60 - 70               |
| Estufa de leña                   | 12 - 30               |

# Conceptos Básicos de Energía

## Potencia

Este es un concepto muy relacionado con el de energía. Se define como la capacidad de suplir una cierta cantidad de energía durante un período de tiempo definido. Esto se ilustra así:

cuando aplicamos un proceso de conversión de energía, estamos interesados en dos cosas:

- la cantidad de energía convertida, y
- la velocidad a cual se convierte. Esta velocidad se llama potencia (P), expresada como energía por segundo o, en fórmula, de la siguiente manera:

$$\text{energía} = \text{potencia} \times \text{tiempo} \quad \text{ó} \quad \text{potencia} = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}}$$

Por ejemplo, un tanque de gasolina de un vehículo contiene una cantidad dada de energía. Este se puede usar en un cierto período de tiempo, o sea, el proceso de combustión puede ser corto o largo. Cuanto más corto el período, más alta es la potencia. Este principio aplica para cualquier proceso de conversión de energía.

Si bien en lenguaje común estos términos se intercambian frecuentemente, cuando se habla técnicamente sobre un sistema de generación o utilización de energía es importante distinguirlos bien.

## Unidades de medición

Existen diferentes unidades aplicadas para la expresión cuantitativa de energía y potencia. La unidad científica y más usada para energía es el **Joule** (o julio, abreviado como J). Otras unidades usadas son, por ejemplo caloría, toneladas de carbón equivalente (Tce) y el British Thermal Unit (BTU). Existen factores específicos para convertir las diferentes unidades en otras.

La unidad para potencia es el **Watt** (o vatio, abreviado como W). Este es definido como 1 joule por segundo ("J/s"). Otra unidad que se usa frecuentemente es el caballo de fuerza (HP).

Un Joule y un Watt son medidas muy pequeñas comparadas con las cantidades transformadas en la mayoría de las aplicaciones energéticas. Por eso, se usan múltiplos de 1.000; por ejemplo, 1.000 watt es equivalente a 1 kilowatt o 1 kW. La siguiente tabla resume los prefijos y símbolos usados:

| Símbolo | Prefijo | Multiplicador  |
|---------|---------|----------------|
| k       | kilo    | 1.000 ó $10^3$ |
| M       | mega    | $10^6$         |
| G       | giga    | $10^9$         |
| T       | tera    | $10^{12}$      |

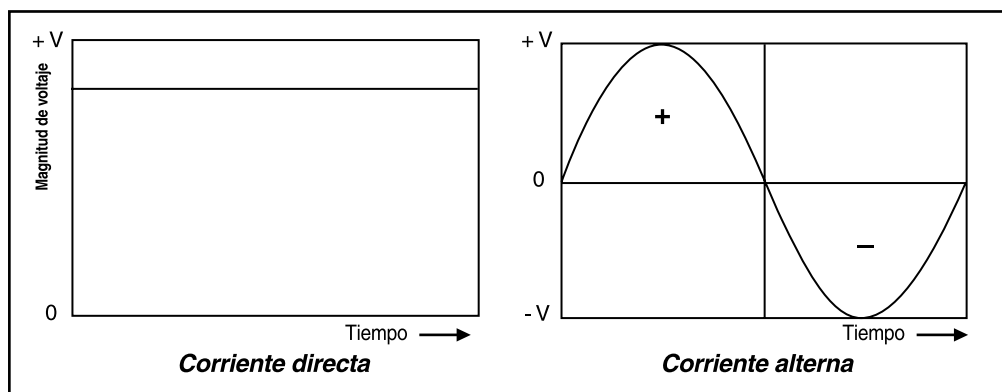
Adicionalmente, se pueden agregar índices a una unidad para indicar la forma de energía o potencia. Por ejemplo, para la potencia de un equipo de convertir energía térmica se usa  $\text{kW}_{\text{th}}$ . Igualmente, la potencia eléctrica se indica como  $\text{kW}_{\text{el}}$  y, la potencia mecánica como  $\text{kW}_{\text{m}}$ .

# Conceptos Básicos de Energía

## 2. Electricidad

### Corriente eléctrica

El flujo de la energía eléctrica, o la electricidad, se llama corriente, cuya unidad de medida son los amperios (A). Para generar una corriente eléctrica a través de un cable es necesario tener una “diferencia de tensión” entre sus dos extremos (diferencia de potencial). Igualmente si se quiere hacer que el agua se mueva a través de un tubo, necesita tener una diferencia de presión entre los dos extremos del tubo. Si se dispone de una gran diferencia de tensión, pueden transportarse grandes cantidades de energía por segundo a través del cable; es decir, grandes cantidades de potencia. La tensión eléctrica es equivalente a voltaje, medido en voltios (V). La potencia eléctrica en watts es igual al voltaje multiplicado por el amperaje ( $P = V \times A$ ).



Los generadores eléctricos pueden producir dos tipos de corriente:

- Corriente directa (CD): donde la energía circula siempre en una única dirección, del punto positivo al negativo.
- Corriente alterna (CA): donde esta alterna continuamente su dirección en un patrón cíclico, en forma sinusoidal. Es causado por el ciclo sinusoidal del voltaje, con un pico positivo y uno negativo (véase la figura). Al número de ciclos por segundo se le llama frecuencia, expresado en hertz (Hz). En la red eléctrica, generalmente, es de 50 ó 60 Hz.

La corriente directa se utiliza sólo en sistemas de baja capacidad como, por ejemplo, baterías secas (pilas), baterías de vehículos y sistemas fotovoltaicos (de baja tensión). Sistemas grandes de alta tensión, como las centrales eléctricas, generan corriente alterna, la cual es suministrada a través de la red eléctrica a las viviendas y centros productivos. Una de las razones para el uso de la corriente alterna es que es más barato aumentar o disminuir su voltaje y, cuando se desea transportar a largas distancias, se tendrá una menor pérdida de energía si se utiliza la alta tensión. Con un inversor se puede transformar la corriente directa en alterna.

Para expresar la cantidad de energía eléctrica o electricidad, generalmente, se usa la unidad watt/hora (o vatio/hora, Wh). Un watt/hora es equivalente a la cantidad de energía convertida, durante una hora por un equipo con una potencia de 1 watt. Para sistemas de baja tensión, como los fotovoltaicos, también se puede expresar la energía eléctrica en amperios/hora (Ah), equivalentes a la generación o



# Conceptos Básicos de Energía

utilización de una corriente de 1 amperio durante una hora. Para baterías, generalmente se indica la capacidad de acumulación en amperios/hora. La relación entre las dos unidades de energía eléctrica es la siguiente:

$$Wh = V \cdot Ah \quad \text{donde } V \text{ es la tensión o el voltaje del sistema.}$$

## Factor de capacidad (factor de planta)

El factor de capacidad, o de planta, es un indicador para medir la productividad de una planta de generación eléctrica como, por ejemplo, una turbina eólica o un sistema hidroeléctrico. Este indicador compara su producción real, durante un período dado, con la cantidad que se habría producido si hubiese funcionado a plena capacidad en el mismo tiempo. En fórmula:

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{\text{producción real}}{\text{producción teórica}} \times 100\%$$

Por ejemplo, un sistema de 1 kW, teóricamente, podría generar 8.760 kWh en un año. Sin embargo, la planta no puede funcionar el 100% del tiempo, por razones de mantenimiento periódico, fallas técnicas o falta de combustible ó recurso renovable. Si la producción real de esta planta en un año dado fue de 6.000 kWh; entonces, el factor de capacidad para ese período sería de 68,5%.

## Demanda máxima

La demanda máxima representa para un instante dado, la máxima coincidencia de cargas eléctricas (motores, compresores, iluminación, equipo de refrigeración, etc.) operando al mismo tiempo, es decir, la demanda máxima corresponde a un valor instantáneo en el tiempo, medida en unidades de potencia. No es igual encender una línea de motores al mismo tiempo que hacerlo en arranque escalonado. Los picos por demanda máxima se pueden controlar evitando el arranque y la operación simultánea de cargas eléctricas

## Factor de demanda

Es la razón entre la demanda máxima de la instalación o sistema y la carga total conectada, en un instante de tiempo determinado.

El factor de demanda máximo es igual a la razón de la demanda máxima en un instante dado, entre la potencia del sistema.

## Sistema interconectado de generación eléctrica

Se usan diferentes fuentes para la generación de electricidad, en América Central. Las principales son: la hidroeléctrica, la geotermia y los combustibles fósiles, como el diesel y el búnker.

Dentro del sistema interconectado nacional, la demanda varía, dependiendo de la hora del día, el día de la semana y, también, de la temporada. Para atender la demanda, se debe planificar la generación eléctrica por parte de las diferentes plantas del sistema, según las variaciones esperadas. Plantas de generación de base operan en forma continua para satisfacer una demanda mínima y generalmente, son las que tienen los costos de operación más bajos.

<sup>4</sup> Energía=potencia x tiempo, entonces la energía generada sería 1kW x 24 horas/día x 365 días = 8.760 kWh

## Conceptos Básicos de Energía

Para las horas de alto consumo, u “horas-pico”, se aplican generadores adicionales para aumentar la producción de electricidad. En el mercado de ocasión eléctrico, se pagan tarifas mayores en estas horas.

Para la compra-venta de energía eléctrica, frecuentemente se aplica el término “potencia firme” de una planta de generación dada. Esta se define como la potencia que el generador puede garantizar durante un periodo dado; por ejemplo, en las “horas pico”, o todo el año. Los contratos de compra y venta de electricidad, generalmente, se establecen con base en la capacidad firme. Dado que las fuentes renovables dependen de los recursos naturales, la potencia firme puede ser considerablemente más baja que la capacidad instalada, lo cual desfavorece su competitividad en el mercado eléctrico, a diferencia de la generación con base en combustibles fósiles que puede operar ofreciendo “potencia firme” en cualquier momento, excepto en los tiempos de parada por mantenimiento.

### *Energía:*

- 1 kWh Energía requerida para subir la temperatura de 1 litro de agua con 1 grado.
- 1 MWh Energía requerida para manejar 1 vehículo por 1.000 kilómetros.
- 4.7 TWh Electricidad consumida en un período de tiempo; por ejemplo, la electricidad en Guatemala en 1999.

### *Potencia:*

- 1 kW Potencia de una placa de una estufa eléctrica.
- 10 kW Potencia de un pequeño tractor.
- 1 MW Potencia de una central eléctrica que supe electricidad a una comunidad de unas 20.000 personas.

# ANEXO 4. Algunos Aspectos Técnicos de la Energía de Biomasa

## 1. Composición química

Todas las formas de biomasa consisten en una parte orgánica, una inorgánica y agua. En la combustión se quema la parte orgánica. La inorgánica influye en el proceso de combustión y forma la ceniza o residuo sólido que queda después de la combustión.

Los elementos químicos más importantes son carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), y azufre (S) y, en algunos casos, cloro (Cl). Además, contiene oxígeno (O), lo cual no se determina directamente, sino que se calcula como diferencia entre el peso total y la suma de los otros elementos, más la ceniza. La siguiente tabla muestra la composición para varios tipos de biomasa. Se incluye el carbón mineral como punto de comparación.

Tabla 1. Composición química de diferentes formas de biomasa.

| Tipo de biomasa         | Porcentaje del peso (sin humedad) |      |      |       |       |       |        |
|-------------------------|-----------------------------------|------|------|-------|-------|-------|--------|
|                         | C                                 | H    | N    | O     | S     | Cl    | Ceniza |
| Madera                  |                                   |      |      |       |       |       |        |
| Sauce                   | 47,66                             | 5,2  | 0,3  | 44,70 | 0,03  | 0,01  | 1,45   |
| Madera suave            | 52,10                             | 6,10 | 0,20 | 39,90 | -     | -     | 1,70   |
| Corteza de madera dura  | 50,35                             | 5,83 | 0,11 | 39,62 | 0,07  | 0,03  | 3,99   |
| Madera dura             | 50,48                             | 6,04 | 0,17 | 42,43 | 0,08  | 0,02  | 0,78   |
| Eucalipto               | 50,43                             | 6,01 | 0,17 | 41,53 | 0,08  | 0,02  | 1,76   |
| Roble                   | 49,89                             | 5,98 | 0,21 | 42,57 | 0,05  | 0,01  | 1,29   |
| Corteza de pino         | 52,30                             | 5,80 | 0,29 | 38,76 | 0,03  | 0,01  | 2,90   |
| Aserrín pino            | 52,49                             | 6,24 | 0,15 | 40,45 | 0,03  | 0,04  | 0,60   |
| Sub-productos agrícolas |                                   |      |      |       |       |       |        |
| Brizna de trigo         | 39,07                             | 4,77 | 0,58 | 50,17 | 0,08  | 0,37  | 4,96   |
| Caña de azúcar          | 44,80                             | 5,35 | 0,38 | 39,55 | 0,01  | 0,12  | 9,79   |
| Bagazo de caña          | 46,95                             | 5,47 | 0,38 | 39,55 | 0,01  | 0,12  | 9,79   |
| Paja de arroz           | 39,65                             | 4,88 | 0,92 | 35,77 | 0,12  | 0,50  | 18,16  |
| Cascarilla de arroz     | 38,68                             | 5,14 | 0,41 | 37,45 | 0,05  | 0,12  | 18,15  |
| Paja de maíz            | 46,91                             | 5,47 | 0,56 | 42,78 | 0,04  | 0,25  | 3,99   |
| Olote de maíz           | 47,79                             | 5,64 | 0,44 | 44,71 | 0,01  | 0,21  | 1,2    |
| Fibra de coco           | 50,29                             | 5,05 | 0,45 | 39,63 | 39,63 | 0,28  | 4,14   |
| Carbón mineral          | 71,70                             | 4,70 | 1,3  | 8,30  | 0,64  | 0,060 | 20,70  |

Fuente: RWEDP (2002).

# Algunos Aspectos Técnicos de la Energía de Biomasa

## 2. Valor calorífico

Todas las formas de biomasa tienen un valor calorífico, el cual se expresa como la cantidad de energía por unidad física; por ejemplo, joule por kilogramo. Esta es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente.

El valor calorífico se puede anotar de dos formas diferentes: bruto y neto. El bruto se define como la cantidad total de energía que se liberaría vía combustión, dividido por el peso. El neto es la cantidad de energía disponible después de la evaporación del agua en la biomasa; es decir, es la cantidad de energía realmente aprovechable, y siempre es menor que el valor calorífico bruto.

Para madera completamente seca, la cantidad de energía por unidad de peso es más o menos igual para todas las especies, con un promedio de valor calorífico bruto de 20 MJ/kg para madera de tronco. Los valores pueden variar ligeramente de este promedio, según el contenido de ceniza: para ramas pequeñas, tienden a ser más bajos y más variables. Sin embargo, en la práctica, la humedad relativa es el factor más importante que determina el valor calorífico.

Tabla 2. Poder calórico de algunas formas de biomasa.

| Tipo de Biomasa                 | Valor calorífico bruto (MJ/kg) |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Madera                          |                                |
| Astilla de madera               | 20,89                          |
| Corteza de pino                 | 20,95                          |
| Desechos industriales de madera | 19,00                          |
| Sub-productos agrícolas         |                                |
| Paja de trigo                   | 18,94                          |
| Caña                            | 18,06                          |
| Bagazo                          | 18,09                          |
| Cáscara de coco                 | 18,60                          |
| Olote de maíz                   | 17,72                          |
| Paga de arroz                   | 15,61                          |
| Cascarilla de arroz             | 15,58                          |
| Aserrín                         | 19,34                          |

Fuente: RWEDP (2002).

## 3. Contenido de humedad

El contenido de humedad, o humedad relativa, se define como la cantidad de agua presente en la biomasa, expresada como un porcentaje del peso. Para combustibles de biomasa, este es el factor más crítico, pues determina la energía que se puede obtener por medio de la combustión. Cuando se quema la biomasa, primero se necesita evaporar el agua antes de que el calor esté disponible; por eso, cuanto más alto el contenido de humedad, menos el valor calorífico.

# Algunos Aspectos Técnicos de la Energía de Biomasa

Todos los combustibles contienen una cantidad de agua, pero, para la biomasa, los niveles pueden ser altos; esto afecta el valor calorífico y el proceso de combustión. El contenido de humedad puede variar dependiendo del tipo de biomasa, el tiempo entre su cosecha y su uso y la humedad atmosférica. Después de haberla cosechado, paulatinamente ésta perderá la humedad hasta que se establezca un equilibrio con el ambiente.

El valor de la humedad se puede indicar según sea en base seca o en base húmeda: en base seca se define como la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso del material seco, expresado como porcentaje.

El contenido de humedad en base húmeda es la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso total del material.

El valor en base húmeda siempre es más bajo que en base seca, por lo que es muy importante indicar el método aplicado.

La figura siguiente muestra la variación del valor calorífico para diferentes cifras del contenido de humedad. (Leach and Gowen, 1987).

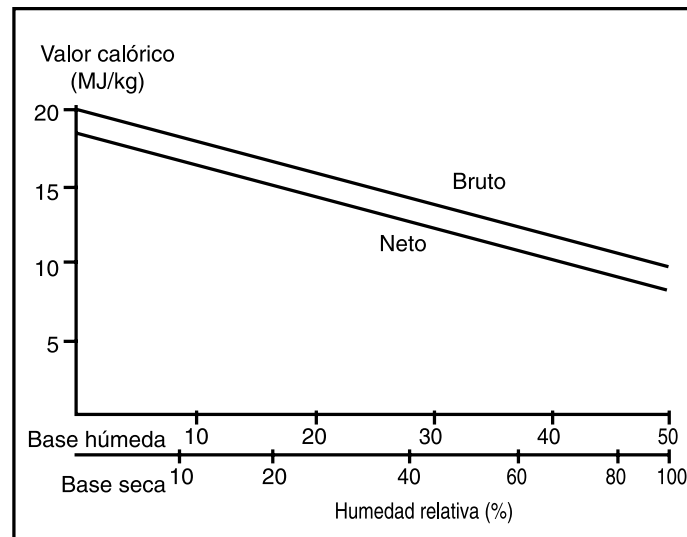
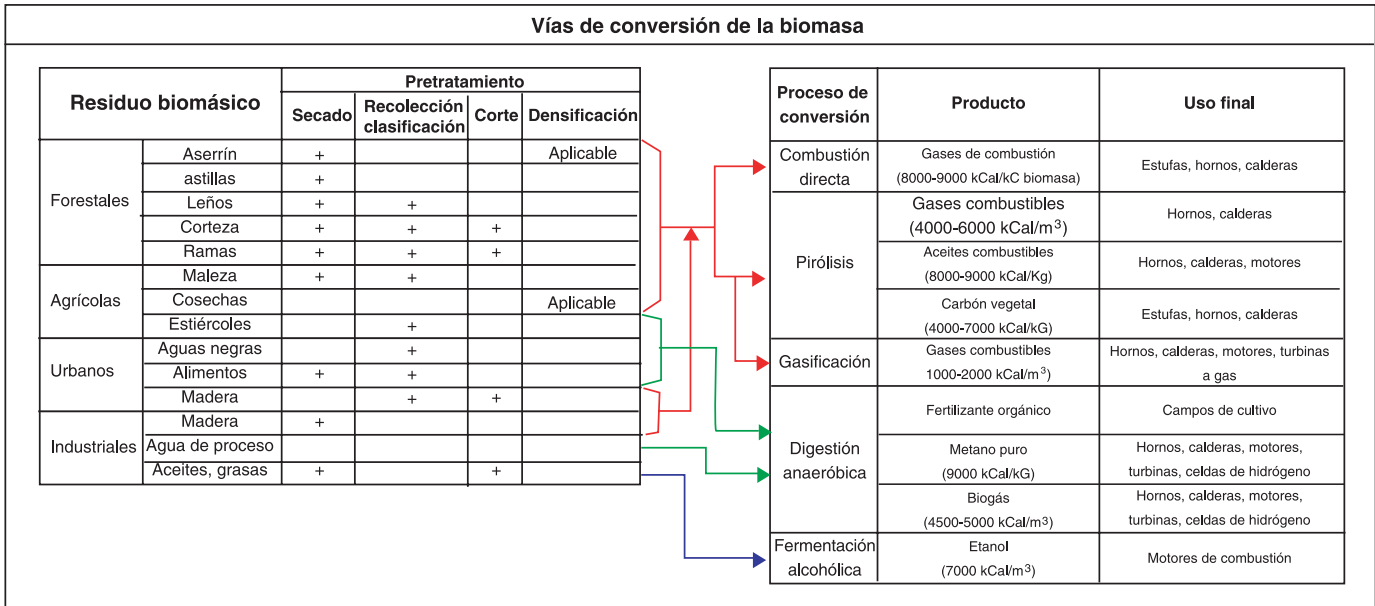


Figura 1. Valor calorífico en función de la humedad relativa.

# Algunos Aspectos Técnicos de la Energía de Biomasa

## 4. Vías de transformación de la biomasa en energía



# Anotaciones

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





Esta publicación se enmarca dentro de los esfuerzos llevados a cabo en la región de América Central por la Oficina Regional para Centroamérica de Biomass Users Network (BUN-CA) que ha ejecutado, en el período 2000 - 2002, la iniciativa regional "Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central" (FOCER), junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) como agencia de implementación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF).

La iniciativa FOCER tiene como objetivo la remoción de las barreras que enfrenta la energía renovable, a través del apoyo técnico y financiero a desarrolladores de proyectos, seminarios y talleres de capacitación y la asistencia a gobiernos en el desarrollo a políticas y regulaciones apropiadas para la energía renovable.

BUN-CA es una organización regional no gubernamental, que busca contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad de América Central para aumentar su producción por medio del uso sostenible de los recursos naturales, como medio para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, especialmente en las áreas rurales. El accionar de BUN-CA se enfoca en tres áreas temáticas: energía renovable, eficiencia energética y agricultura sostenible.

Manuales sobre  
energía renovable

# BIOMASA



**HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA • SOLAR FOTOVOLTAICA  
EÓLICA • SOLAR TÉRMICA • BIOMASA**



**FOCER** Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central

BUN-Centro América / Apartado Postal 573-2050 / San José, Costa Rica

Tel. (506) 283-88-35 / Fax. (506) 283-8845

Correo electrónico: [bun-ca@bun-ca.org](mailto:bun-ca@bun-ca.org) / [biomass@racsa.co.cr](mailto:biomass@racsa.co.cr)

Sitio web: <http://www.bun-ca.org>