

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA**

**BIOMASA**

**TOMO 2**

**1997**

9 C146m

333.0539  
C146  
EJ.1

INEA 182  
~~333.7921~~  
C152d  
1997

235-236

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PUALA  
SANTANDER**

**INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y  
ENERGIAS ALTERNATIVAS - INEA**

**MEMORIAS**

**DIPLOMADO EN ENERGIAS  
ALTERNATIVAS Y APLICACIONES  
NUCLEARES**

**MODULO DE BIOMASA**

**Rafael Calderón Urzola MSc  
Ing. Alvaro Bermúdez Coronel**

**Noviembre de 1997**

**336**

## INTRODUCCION

El hombre primitivo se sirvió de los medios que encontró a su alrededor para atender sus necesidades primarias de alimentación, vestido, defensa y vivienda. Alrededor del fuego los pueblos se agruparon ya que les brindaba luz y calor, era como tener un **Sol pequeño** y al alcance de sus necesidades, en cierta medida lo es, pues para sostener el fuego utilizó y sigue utilizando material vegetal y animal que en forma directa e indirecta ha tomado la energía del sol. Es decir, la **BIOMASA** fue la primera fuente de energía que el hombre utilizó en la tierra y sigue utilizando desde hace 1.4 millones de años.

### 1. BIOMASA

La biomasa en un sentido amplio, es cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen *inmediato*, como consecuencia de un proceso biológico. El concepto de biomasa comprende toda la materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis a través de la captación directa de energía proveniente del sol, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos.

Quedan por fuera del concepto de biomasa los combustibles fósiles o los productos derivados de ellos aunque también tuvieron un origen biológico pero en épocas *remotas*.

La biomasa es por esencia materia orgánica, es decir, que está constituida en su estructura básica por carbono. Esta fuente de carbono permite inferir que puede ser utilizada como combustible y ser transformada en otros compuestos energéticos mediante procesos biológicos (procesos aeróbicos y anaeróbicos) y procesos termoquímicos.

#### 1.1 CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA

**1.1.1 Biomasa Natural:** El término biomasa se utiliza también en el campo de la Ecología para expresar la materia orgánica total presente en un ecosistema determinado.

**1.1.2 Biomasa Residual:** Comprende los siguientes campos:

**1.1.2.1 Residuos Forestales:** Comprende los residuos de tratamientos silvícolas y de cortes de pies maderables.

**1.1.2.2 Residuos agrícolas:** Restos de podas, rastrojos, hojas, frutos defectuosos, etc.

**1.1.2.3 Residuos de Industrias Forestales:** Aserraderos, fábricas de pasta y papel, residuos de carpintería, etc.



**1.1.2.4 Residuos de industrias agrícolas:** Bagazo, cascarilla de arroz, cáscaras, vinasas, semillas, etc.

**1.1.2.5 Residuos pecuarios:** Purines, estiércoles, huesos, sebos, rumen, etc.

**1.1.2.6 Residuos urbanos:** Fracción orgánica de los Residuos sólidos Urbanos (RSU), aguas servidas y lodos de plantas depuradoras

**1.1.3 Cultivos Energéticos:** Cultivos forestales que tienen la finalidad de producir gran cantidad de biomasa, la cual se utiliza como combustible a través de procesos especialmente de naturaleza termoquímica como la pirólisis, gasificación y la combustión controlada. La biomasa se transforma entonces en energía. Para el desarrollo de estos proyectos generalmente se escogen zonas deprimidas ecológicamente y se aprovecha que el mismo proyecto es en sí sea una respuesta ambiental para mejorar el ecosistema. Estos pueden ser:

**1.1.3.1 Especies leñosas de alta rotación,** con rendimientos aproximados de 10.000 pies<sup>3</sup>/Ha y con tasas de rotación de 3-4 años.

**1.1.3.2 Especies Herbáceas,** pastos, cañas, etc.

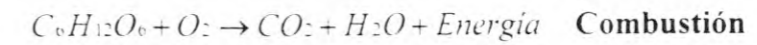
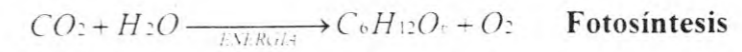
**1.1.3.3 Cultivos para producir etanol,** caña de azúcar, maíz, papa, remolacha azucarera, sorgo azucarero, yuca, etc.

**1.1.3.4 Cultivos para producir biodiesel,** girasol, higuera, jojoba, colza, etc.

**1.1.4 Excedentes agrícolas.** Sobrantes de cultivos originalmente concebidos con fines alimentarios o industriales. Aceite de algodón, aceite de soya, caña de azúcar, arroz, maíz, etc.

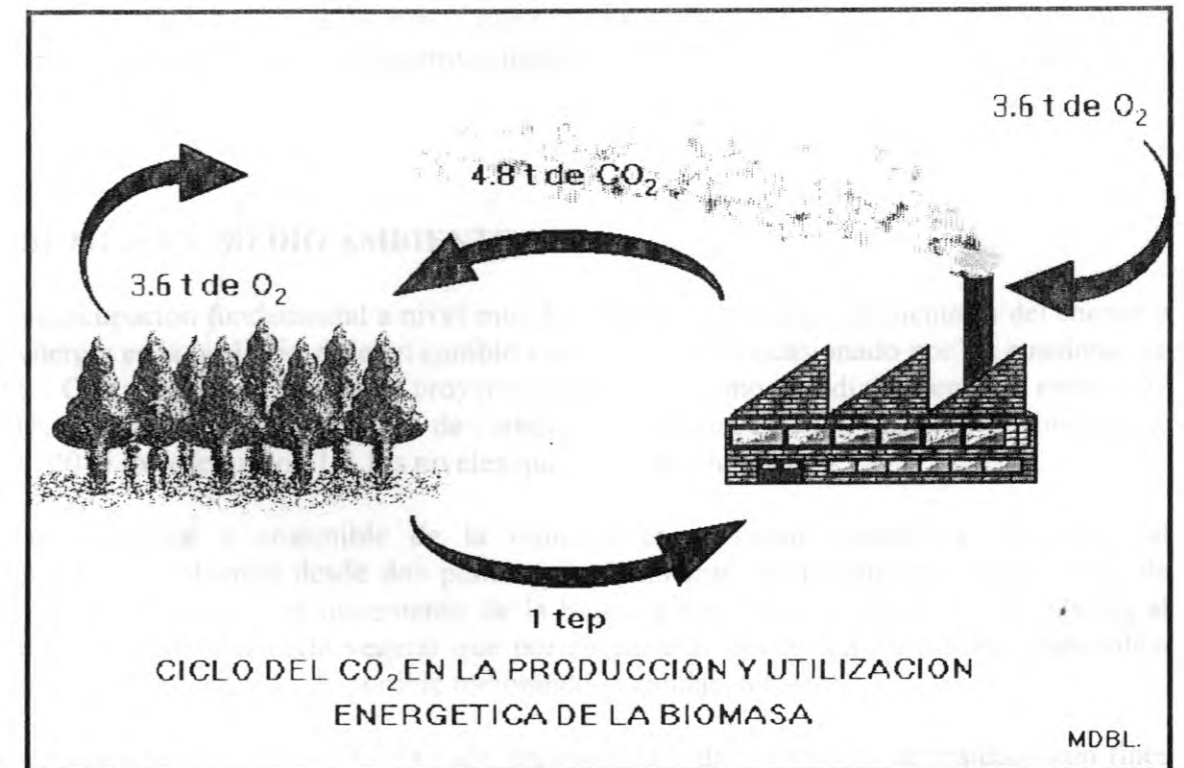
## 2 LA BIOENERGÍA

La bioenergía se refiere al uso de la materia orgánica o la biomasa como fuente de energía. Algunos de los combustibles de biomasa más comunes son la madera y sus derivados, estiércoles, residuos agrícolas, aceites, alcoholes, etc. La biomasa contiene energía química almacenada, que originalmente se deriva de la energía del sol. Los combustibles de biomasa se pueden quemar en su forma cruda para producir calor o se convierten en otras formas de energía química con características más favorables para su aprovechamiento.



### 3 CONCEPTO DE RENOVABILIDAD

"Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades (ley 99 de 1993)."



FUENTE: INEA

FIGURA No. 1



La biomasa aparece entonces como un recurso energético atractivo dado su carácter renovable y limpio ya que puede ser desarrollado sosteniblemente en el futuro. La biomasa administra el CO<sub>2</sub> de la biosfera pasándolo de la atmósfera a los tejidos vegetales y animales y retornándolos a la atmósfera, es decir, al transformarse en energía genera CO<sub>2</sub> el cual entra nuevamente al ciclo natural del carbono sin producir incrementos netos en la emisión de este gas en la atmósfera. Por tanto la biomasa es la única forma de luchar contra el incremento de CO<sub>2</sub> y la única manera de volverlo a las cifras iniciales.

#### 4 PANORAMA INTERNACIONAL

La Utilización de la biomasa de forma *tradicional* esta en regresión y el sentimiento generalizado de las empresas del sector es que la biomasa utilizada y vista desde esta óptica no tiene un futuro muy esperanzador, debido básicamente a las bajas eficiencias de las tecnologías tradicionales y a los bajos precios de los combustibles tradicionales.

Sin embargo, ante la adquisición de conciencia de que estos recursos *no son ilimitados* y a los problemas asociados con la contaminación del planeta se han vuelto los ojos con una visión muy positiva partiendo del desarrollo de tecnologías que permitan un uso mas integral y eficiente de la biomasa como recurso energético. Se invierten importantes recursos en investigación sobre aprovechamiento de biomasa residual, cultivos energéticos, biocombustibles, etc.

#### 5 BIOMASA Y MEDIO AMBIENTE

La preocupación fundamental a nivel mundial sobre los impactos ambientales del consumo de energía es la posibilidad de un cambio climático global ocasionado por las emisiones de CO<sub>2</sub>. Con el crecimiento que se proyectan para el consumo mundial de energía entre 1997-2015, se estima que las emisiones de carbono aumentaran en 3500 millones de toneladas y en el 2015 excederán en 61% los niveles que se tenían en 1990.

El uso racional y sostenible de la biomasa como fuente energética contribuye al saneamiento ambiental desde dos puntos principalmente: no incrementa el nivel neto de CO<sub>2</sub> y por otra parte, el incremento de la biomasa contribuye a disminuir los niveles al incorporarlo como materia vegetal que por su parte al desarrollar su proceso metabólico incrementa el nivel de O<sub>2</sub> disponible mejorando la calidad del aire.

En segunda medida al usar la fracción orgánica de toda las formas de residuos con fines energéticos, no solo se resuelve el problema sanitario y ambiental que representa sino que se obtiene un importante valor agregado como contribuyente energético renovable.

Sin embargo, el aprovechamiento indiscriminado, sin planificación y no tecnificado de la biomasa puede generar problemas ambientales como la deforestación, contaminación por agroquímicos y agotamiento del suelo en el caso de los cultivos energéticos.

## **6 LA BIOMASA COMO FUENTE ENERGÉTICA.**

La biomasa se perfila como un recurso energético atractivo por tres razones fundamentales 1. -Es un recurso renovable que puede ser desarrollado sosteniblemente en el futuro. 2.- Posee formidables características desde el punto de vista medioambiental. 3.- Puede tener un potencial económico significativo teniendo en cuenta el aumento del precio de los combustibles fósiles en el futuro.

La gran versatilidad de la biomasa como recurso energético es evidente dada la variedad de materiales que pueden ser transformados en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos utilizando procesos biológicos y termoquímicos de conversión. Sin embargo, en comparación con otras tecnologías renovables (geotermia, eólica, solar...) la energía proveniente de la biomasa constituye un área más compleja debido al amplio alcance de ciclos potenciales de combustión y a los posibles impactos medioambientales subsiguientes. Además, la incertidumbre dificulta enormemente cualquier balance económico futuro de este recurso.

La producción total de biomasa quedará en último término condicionada por el agua y suelo disponibles, debido al bajo rendimiento de la fotosíntesis y a las grandes exigencias hídricas de las plantas. No obstante, la biomasa puede ocupar un lugar importante en la economía energética si se busca un mayor rendimiento energético. Por ejemplo, en los EE.UU., las posibilidades de abastecimiento de biomasa podrían reemplazar todo el petróleo que consumen hoy los vehículos ligeros y el carbón empleado para producir electricidad siempre y cuando el consumo de carburante de los vehículos se redujera a la mitad y se usen, para producir energía, unidades de gasificación y turbinas de gas de alto rendimiento. De hacerse así, las emisiones nacionales de dióxido de carbono bajarían a la mitad.

## **7 PARTICIPACIÓN DE LA BIOMASA DENTRO DE LA OFERTA ENERGÉTICA INTERNACIONAL.**

La biomasa alcanza dentro del contexto internacional una participación aún más alta, pero como se ha mencionado antes sin alcanzar los grados de eficiencia de su transformación como sí ocurre con otras fuentes.

En las tablas 1 y 2 se muestra la biomasa existente y la producción anual de biomasa en los diferentes ecosistemas de la biosfera expresada en miles de millones de TEP.



**TABLA 1. - BIOMASA EN LA BIOSFERA Y PRODUCCION ANUAL**

ECOSISTEMA	SUPERFICIE OCUPADA (%)	BIOMASA (GTEP)	
		EXISTENTE	PRODUCCION ANUAL
OCEANOS	70.8	1.56	22.00
BOSQUES	11.2	680.00	31.96
PRADOS Y ESTEPAS	4.7	29.60	7.56
CULTIVOS AGRICOLAS	2.7	5.60	3.64
TUNDRAS	9.8	7.40	1.12
AGUAS CONTINENTALES	0.8	12.04	1.08
TOTAL	100.0	736.20	68.08

FUENTE: 26 CONFERENCIA INTERNACIONAL DE MECANIZACION AGRARIA 1995. 1 PONENCIA

1GTEP = 10<sup>9</sup> TEP

EQUIVALENCIA: 1 Tonelada de biomasa = 0.4 ETP

SUPERFICIE DE LA BIOSFERA = 510 x 10<sup>9</sup> Km<sup>2</sup>

**TABLA.- 2 ESTIMACION DE LAS NECESIDADES ENERGETICAS MUNDIALES**

COMBUSTIBLE	1988	1995	2005
PETROLEO	3.13	3.60	4.14
GAS NATURAL	1.60	2.07	2.95
COMBUSTIBLES SOLIDOS	2.31	2.60	3.32
ENERGIA NUCLEAR	0.42	0.49	0.58
HIDRAULICA Y OTROS	0.48	0.59	0.79
TOTAL	9.94	9.36	11.79

FUENTE: Agencia Internacional de la energía. L'Energie dans les pays non membres de l'OCDE.

Valores expresados en GETP.



## 8 INVENTARIO DE RECURSOS Y DISPONIBILIDAD DE BIOMASA RESIDUAL EN EL PAIS.

La biomasa, tal como ya se menciona, es una gran fuente alterna de energía limpia y ecológica dentro del concepto de desarrollo sostenible. el país cuenta con importantes recursos en biomasa residual, excedentaria y cultivada aprovechable mediante el uso de tecnologías probadas combustión, gasificación, sistemas de cogeneración, procesos biológicos, etc.

Cuando la sociedad se industrializa, se intensifica la producción y aumenta la concentración de núcleos de población y el consumo de bienes, y los subproductos que no tienen ninguna utilidad se transforman en residuos, a los cuales hay que buscar un manejo integral.

La biomasa residual con mayores perspectivas de aprovechamiento ya sea porque tradicionalmente se han utilizado pero sus rendimientos son bajos o por su concentración corresponde principalmente a los siguientes renglones:

### 8.1 CASCARILLA DE ARROZ

El país cuenta con tres zonas importantes dedicadas al procesamiento de arroz: Los Santanderes, los Llanos Orientales y la costa Atlántica en donde se cuenta con una producción de cascarilla de arroz estimada en mas 400.000 toneladas/año, con un equivalente energético de  $3.06 \times 10^5$  GJ.

### 8.2 BAGAZO DE CAÑA

La zona Andina desde el Tolima hasta Santander, el Valle y Antioquia son zonas con producción alta en caña panelera y caña de azúcar con un importante potencial tanto en producción de bagazo como de alcohol. Anualmente en el país se producen alrededor de 3.6 millones de toneladas de bagazo en el procesamiento de la panela con un potencial energético de  $42.5 \times 10^6$  GJ.

### 8.3 RESIDUOS PECUARIOS

Otro punto de interés en aprovechamiento de biomasa son los residuos pecuarios en zonas como Santander, Cundinamarca, los Llanos orientales, el Magdalena Medio, Costa Atlántica, en donde se cuenta con cría intensiva y tecnificada de aves, cerdos y vacunos. El aprovechamiento de estos residuos mediante sistemas de biodigestores para producción de biogas puede aportar un equivalente energético de 57411 TJ/h-año.

### 8.4 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) Y LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Existen otras fuentes importantes que actualmente se encuentran en la etapa de evaluación del recurso y desarrollo tecnológico para su aprovechamiento tales como la fracción

orgánica de los residuos sólidos y líquidos, como ejemplo se tiene el vertedero controlado de doña Juana con un potencial teórico de 11 GW-h/año. Se cuenta además con biomasa generada en las industrias forestales, madereras, flores, etc.

## 9 METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA INVENTARIOS

Para estimar el potencial de fuentes de energía renovables, entre ellas la biomasa, se requiere de un procedimiento sistemático que considere las variables que determinan su empleo: frecuencia o tasa de generación y lugar de la oferta, el potencial aprovechable, el acceso y la posibilidad de su utilización in situ, etc.

Partiendo de un potencial teórico se determina el potencial disponible, en donde el potencial teórico se reduce en proporción a las restricciones locales y normativas, que indican que fracción no está disponible para su aprovechamiento.

A continuación se determina el potencial técnico que presupone la selección de una tecnología para el aprovechamiento, considerando las tecnologías disponibles, sus características, necesidades de almacenamiento y las necesidades y características de los usuarios.

En cuanto a las consideraciones económicas se debe tener en cuenta los costos de la tecnología a emplear, los precios de los energéticos a sustituir, la vida útil de los equipos, las consideraciones medioambientales entre otras. En el siguiente diagrama se pueden observar en forma resumida la metodología.

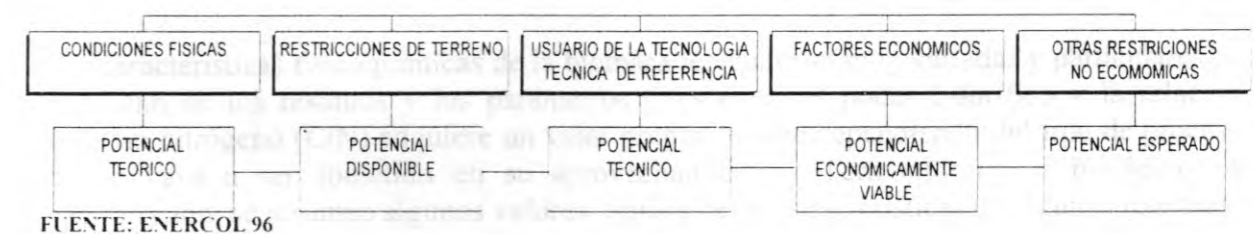


FIGURA No. 2 DIAGRAMA METODOLÓGICO EVALUACION DE RECURSOS

## 10 CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL

Para clasificar y caracterizar la biomasa residual se deben seguir varios criterios:

- ✍ Por la naturaleza de su origen (forestales, agrícolas, industriales, urbanos, pecuarios, etc.)

- ≠ Por el proceso de transformación a que vaya ser sometido (procesos biológicos o procesos termoquímicos)
- ≠ Por el grado de humedad (secos y húmedos)
- ≠ Por el tipo de materiales (leñosos, celulósicos, de lenta degradación, de rápida degradación, etc.)

Desde el punto de vista general de sectores de actividades se consideran tres grandes sectores:

**Sector Primario**

*Agricultura y ganadería*

**Residuos**

*Forestales  
Agrícolas  
Ganaderos*

**Sector Secundario**

*Transformación*

**Residuos**

*Industriales y comerciales*

**Consumo**

Domésticos

**Residuos**

Residuos sólidos urbanos  
Lodos de plantas depuradoras

Las características fisicoquímicas de la biomasa residual son muy variadas y particulares de cada uno de los residuos y los parámetros tales como el poder calorífico y la relación carbono nitrógeno (C/N) adquiere un valor preponderante dependiendo del tipo de proceso a que vaya a ser sometido en su aprovechamiento: Termoquímico o biológico. A continuación se resumen algunos valores típicos de las características de algunos residuos:

**TABLA No. 3 CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

COMPONENTE	%PESO B.S	% COMPOSICION					CENIZAS
		C	H	O	N	S	
MORD	48	22.28	3.01	19.08	0.89	0.17	2.56
MOLD	11	5.84	0.70	0.26	0.02	0.00	0.00
TOTAL	59	28.12	3.71	19.34	0.91	0.17	2.56

FUENTE: CAPTACION Y TRATAMIENTO DE RSU. INEA

MORD: Materia de rápida degradación

MOLD: Materia de lenta degradación.

B.S. Base seca.

## 11 CONCEPTO ENERGÉTICO ASOCIADO A LA BIOMASA RESIDUAL

Con el crecimiento de las sociedades los residuos que un principio se descomponían en la naturaleza, actualmente se acumulan y van generando problemas dado su volumen. Esto ha llevado al hombre a tomar conciencia que los recursos que extrae de la naturaleza no son ilimitados sino que cada vez son más escasos y de extracción más difícil. Una solución racional estaría en la recuperación de materiales vía reciclaje o reuso y en el uso de la fracción orgánica, ya sea con fines energéticos o fines agrarios. Los desperdicios sólidos (basuras) y líquidos que se generan en todo tipo de asentamiento humano son también productos de la biomasa convertibles en energía, así como todos los estiércoles. En la tabla 4 se muestran algunas características de algunos recursos de biomasa.

**TABLA No. 4 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS PRODUCTOS DE LA BIOMASA**

MATERIA	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	CONTENIDO CALORIFICO Kj/m <sup>3</sup>	CONTENIDO CALORIFICO Kj/Kg.
Bagazo	86.49	1,695 x 10 <sup>6</sup>	21.165
Corteza de madera	384.40	81,95 x 10 <sup>6</sup>	20.095
Biogas (60-70% metano)		2.309 x 10 <sup>6</sup>	
Cascarilla de café			26.561
Aceite vegetal (maíz)			39.848
Tallos de maíz			13.955
Aceite de sem. algodón			39.132
Desperdicios de algodón			18.444
Etanol	788.03	23.405 x 10 <sup>6</sup>	29.701
Metano	0.668	0.0382 x 10 <sup>6</sup>	57.169
Desechos urbanos líquidos	160.17	2.103 x 10 <sup>6</sup>	13.41
Cascaras de cacahuete			19.739
Aceite de cacahuete			40.118
Cascarilla de arroz			14.606
Aceite de soya			39.354
Paja			18.939
Girasol			20.002
Pajas de trigo			18.939
Madera seca	448.47	8.866 x 10 <sup>6</sup>	19.769
Residuos Sólidos Urbanos	600.00		7.800

FUENTE: FIT. INGENIERIA TERMICA

El aprovechamiento energético de cualquier tipo de biomasa residual se puede estudiar desde cuatro criterios fundamentales:

- ✓ -Economía energética en disposición tradicional de los mismos
- ✓ -Posee en promedio un poder calorífico medio que le permite ser una alternativa frente a los combustibles tradicionales.



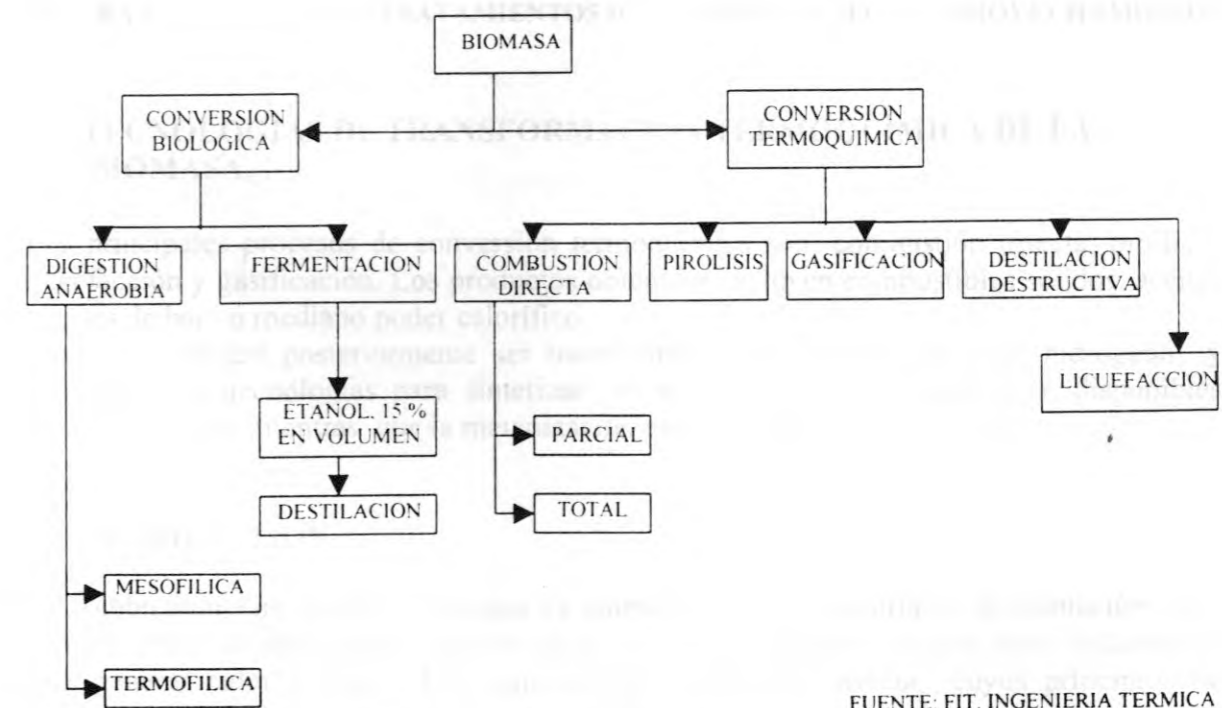
- ≠ -Los métodos de transformación, ya sean termoquímicos o biológicos son relativamente sencillos y ya se han probado sus tecnologías.
- ≠ -Dentro de un sistema de desarrollo sostenible es una fuente inagotable de energía, pues mientras haya consumo se producirán residuos y su eliminación mediante aprovechamiento energético genera dos importantes beneficios uno sanitario y uno energético mediante el aporte al un sistema de una energía limpia.

## 12 TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA

Las tecnologías mas apropiadas para convertir la biomasa en energía y los productos obtenidos dependen, entre otros factores de la clase de biomasa, de su contenido de humedad, de las condiciones del proceso de conversión (tasa de alimentación de la materia, tamaño de las partículas, relación biomasa aire, temperatura de conversión, etc.) y el uso final del producto energético.

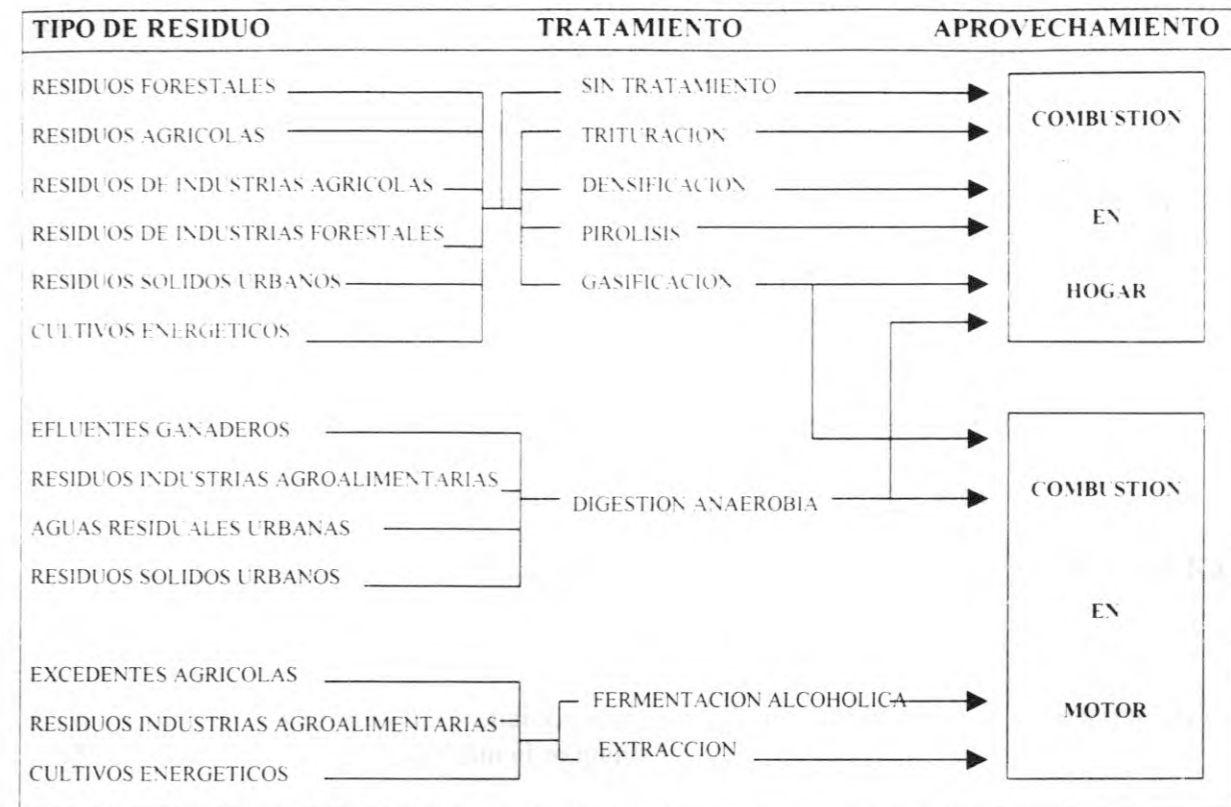
Las tecnologías para el aprovechamiento energético de la biomasa pueden clasificarse en procesos de conversión biológica y procesos de conversión termoquímica. La conversión biológica incluye la biometanación y la fermentación alcohólica, mientras que dentro de la conversión termoquímica se ubican los procesos de combustión directa, pirólisis, licuefacción y gasificación.

En las figuras 3 y 4 se esquematizan los posibles caminos para la conversión de la biomasa en energía.



FUENTE: FIT. INGENIERIA TERMICA

FIGURA No. 3 POSIBLES CAMINOS PARA LA CONVERSION DE BIOMASA EN ENERGIA



FUENTE: MANUAL DE BIOMASA. IDAE

FIGURA No. 4 DISTINTOS TRATAMIENTOS DE LA BIOMASA SEGÚN APROVECHAMIENTO

### 13 TECNOLOGÍAS DE TRANSFORMACIÓN TERMOQUÍMICA DE LA BIOMASA.

Los principales procesos de conversión termoquímica son: combustión directa, pirólisis, licuefacción y gasificación. Los productos obtenidos incluyen combustibles sólidos, aceites y gases de bajo o mediano poder calorífico.

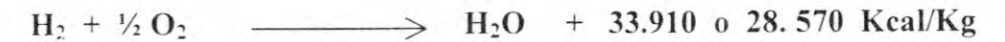
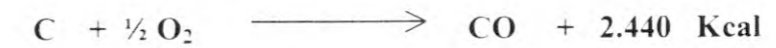
Los gases pueden posteriormente ser transformados en metano, metanol, hidrógeno y amoníaco (las tecnologías para sintetizar el metanol y el amoníaco están disponibles comercialmente, mientras que la metanización esta actualmente en desarrollo.).

#### 13.1 COMBUSTIÓN

La combustión directa de la biomasa es empleada por la mayoría de la población rural mundial para calentamiento y cocción de alimentos y en algunas instalaciones industriales para generar calor y vapor. Los sistemas de combustión directa cuyos principios de operación son bien conocidos incluyen fogatas abiertas, cocinas simples, hornos holandeses, calderas y unidades de lecho fluidizado. La mayor parte de los sistemas

industriales emplean cortezas celulósicas. Los procesos de combustión directa acarrear serios problemas ecológicos debido a las grandes cantidades de cenizas producidas y contenidas en los gases resultantes de la combustión. Esto hace necesario el empleo de precipitadores electrostáticos, filtros de mangas o de bolsa y otros colectores que limitan la contaminación ambiental, pero que encarecen la energía obtenida

La combustión de los residuos se produce como consecuencia de la oxidación exotérmica del carbono e hidrogeno contenidos en los mismos. La unión del carbono con el oxígeno tiene lugar en dos fases:



La diferencia en los calores desprendidos en la reacción del hidrógeno se debe a que en la madera parte ya está combinado con el oxígeno.

Existe una gran variedad de tecnologías para incinerar la biomasa con múltiples variantes, pero una clasificación en la que se escogen los tipos más importantes pueden ser:

- ✍ - **Hogares de parrilla horizontal fija.** En este caso el combustible puede ser alimentado por arriba, con entrada de aire primario por debajo de la parrilla y secundario por los laterales. Este sistema es apropiado para materiales en los que predominan partículas pequeñas y humedades bajas.
- ✍ - **Hogares de parrilla fija inclinadas.** El material se desplaza por resbalamiento a lo largo de la parrilla. De esta forma se consiguen varias zonas y los procesos de secado, desgasificación y combustión se producen separadamente, con lo cual se logra regular el proceso. El aire primario entra por debajo de la parrilla, mientras que el aire secundario lo hace por las paredes del hogar, debiendo conseguirse que el aire no arrastre las partículas de carbón con los humos.
- ✍ - **Hogares de parrilla móvil.** En este caso, las parrillas pueden ser inclinadas u horizontales. Son apropiadas para el caso de que el material lleve una proporción apreciable de inertes y si el resultado de la combustión va a producir una cantidad grande de cenizas. El movimiento, al tiempo que desplaza el combustible, retira las cenizas evitando la formación de escorias.
- ✍ - **Hogares de lecho fluidizado.** Entre las ventajas y particularidades que, en general, presenta este sistema, se pueden citar, como un factor favorable específico para biomasa, el permitir incinerar una amplia gama de combustibles con una gran

adaptación al proceso. La combustión en lecho fluidizado consiste en desarrollar la combustión en el seno de una masa en suspensión de: partículas de combustible, cenizas del combustible y en algunos casos un inerte o adsorbente: los cuales son fluidizados por una corriente de aire de combustión ascensional. Desde el punto de vista de la presión de operación del combustor, puede hacerse dos divisiones: lechos fluidizados atmosféricos y lechos fluidizados a presión ( $5 - 20 \text{ kg/cm}^2$ ). La combustión en lecho fluidizado a presión aunque es más compleja de operar ofrece la posibilidad de utilizar turbinas de gas en la generación de electricidad, empleando ciclos combinados de gas - vapor con un alto rendimiento energético global. La combustión fluidizado a presión solo es aconsejable para altas capacidades de producción térmica (superiores a 200 MW) ya que conlleva en su diseño una considerable reducción del combustor.

### 13.2 PIRÓLISIS

La pirólisis es una descomposición térmica de la biomasa en ausencia de aire. Los reactores pirolíticos operan a presiones cercanas a la atmosférica y a temperaturas adecuadas para volatilizar la masa en líquidos y gases quedando como residuo carbón vegetal. A  $205^\circ\text{C}$  se obtienen principalmente líquidos, mientras que en  $650^\circ\text{C}$  se obtienen gases como producto principal. Los gases obtenidos son de bajo poder calorífico y una parte de ellos se quema para proporcionar calor requerido por el proceso. La destilación destructiva de madera y otros productos agrícolas para producción de metanol, carbón vegetal y gas de bajo contenido calorífico es un proceso de pirólisis. Los aceites obtenidos en la pirólisis tienen un bajo contenido de azufre, cenizas y nitrógeno, y al quemarse crean pocos problemas de contaminación.

La pirólisis de la biomasa la podemos clasificar entre otros criterios como:

- ≠ -. **Pirólisis a temperatura y velocidad de calentamiento bajo.**
- ≠ -. **Pirólisis a temperatura y velocidad de calentamiento altas.**
- ≠ -. **Pirólisis especiales.** A vacío para obtener mayor rendimiento en líquidos; pirólisis flash maximiza los alquitranes y aceites a expensas del semicoque y gases ( $> 2^\circ\text{C/s}$  de velocidad de calentamiento, temperaturas moderadas de  $400 - 600^\circ\text{C}$  y tiempos de residencia menores de 20 segundos); pirólisis fast, velocidades de calentamiento muy altas, temperaturas superiores a  $600^\circ\text{C}$  y tiempos de residencia inferiores a 0,5 segundos, maximiza la producción de gases de alta calidad, sobre todo por su alto contenido de olefinas.

Como ya se ha visto los productos de la pirólisis de biomasa son gases líquidos y sólidos, cuya calidad y cantidad viene influenciado por el tipo de proceso, las variables de operación y las características del material utilizado. Los rendimientos generales de la carbonización de la biomasa suelen variar dentro de los siguientes márgenes:

- ≠ Gas: **15 a 17 %**



≈ Líquidos Piroleñosos: 43 a 51 %

≈ Carbón vegetal: 30 a 47 %

TABLA NO 5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MÉTODOS DE PIRÓLISIS.

PIROLISIS	TIEMPO DE RESIDENCIA	VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO	PRESION EN BAR	TEMPERATURA °C MAX.	PRODUCTO MAYORITARIO
Carbonización	Horas - días	Muy baja	1	400	Sólido
Convencional	5-30 min.	baja	1	600	Gas - líquido y sólido.
Fast	0.5-5 seg.	Muy alta	1	650	Líquido
Flash - líquido	< 1 seg.	Alta	1	<650	Líquido
Flash - gas	< 1 seg.	Alta	1	>650	Gas
Ultra	< 0.5 seg.	Muy Alta	1	1.000	Gas y P. Químicos
Vacío	2-30 seg.	media	<0,1	400	Líquido

FUENTE: CIEMAT

La producción de combustibles líquidos por pirólisis, ha adquirido un gran interés tanto en Europa como en Estados Unidos por su alta densidad energética y por su transformación en hidrocarburos de similares características a las gasolinas.

Los mayores esfuerzos se están realizando en investigación acerca del potencial energético de la transformación termoquímica tanto de residuos agrícolas, forestales como de los residuos sólidos urbanos a gasolina a través, de dos etapas consecutivas: (1) Conversión de la biomasa en biocrudo líquido y (2) su transformación a gasolina (índice de octano alrededor de 76, semejante al de gasolina obtenida a partir de petróleo) a través de un proceso catalítico de hidrogenación.

### 13.3 GASIFICACIÓN

En la gasificación mediante procesos termoquímicos la biomasa se convierte en una mezcla de gases que contienen monóxido de carbono, hidrogeno y metano como principales combustibles (gas pobre, poder calorífico entre 1000 y 1500 Kcal/m<sup>3</sup>). La gasificación se basa en la oxidación incompleta de la biomasa empleada como materia prima, produciendo gases de bajo o alto contenido calorífico según se utilice aire u oxígeno puro de acuerdo a las temperaturas y presiones de la reacción. Generalmente el gas producido debe ser purificado para su uso posterior. Los gasificadores operan frecuentemente con temperaturas superiores a los 533 °C y presiones mayores de 300 psia.

Las características del combustible a gasificar, deben ser diferentes según el tipo de reactor, aunque en cualquier caso interesa que el contenido de agua sea mínimo. Los gasificadores habituales son de lecho fijo y a su vez pueden ser de flujo de gas ascendente (si el combustible gaseoso sale por la parte superior) o descendente (si el combustible gaseoso sale por la parte inferior). También se están desarrollando gasificadores de lecho fluidizado.

Un inconveniente del proceso de gasificación de la biomasa, especialmente si la aplicación es ser utilizada en motores, es la necesidad de obtener un gas libre de alquitranes y con escaso contenido de polvo. Desde el punto de vista del contenido de alquitranes son más favorables los sistemas de flujo descendente y mejor aun los de lecho fluidizado.

La biomasa lignocelulósica presenta una serie de características que hacen que sea aconsejable su aprovechamiento mediante gasificación. Junto con las características ya conocidas de renovabilidad y energía limpia, se pueden citar las referentes a su composición. Su análisis indica que esta formada básicamente por C (50-60%), O (30-40%), H (5-7%), algo de nitrógeno y otros compuestos que carecen de importancia y prácticamente carecen de azufre. Presentan un alto porcentaje de materia volátil (75-85%) y muy bajo contenido en cenizas (<5%). Su poder calorífico superior esta comprendido entre 3500 y 5200 Kcal/Kg.

Tal como ya se menciono dependiendo del medio gasificante pueden distinguirse diferentes procesos de gasificación, los cuales dan diferentes distribuciones de productos con distintas aplicaciones.

### 13.3.1 GASIFICACIÓN CON AIRE

El aire se introduce como aportante de oxígeno para la combustión incompleta del residuo carbonoso. Se obtiene un gas combustible de bajo contenido energético (menos de 6 MJ/Nm<sup>3</sup>). Este gas puede emplearse en aparatos de combustión interna.

### 13.3.2 GASIFICACIÓN CON OXIGENO

Se produce un gas de medio contenido energético (10 - 20 MJ/Nm<sup>3</sup>). Tiene las mismas aplicaciones que el gas de bajo contenido energético, siendo de mayor calidad, al no estar diluido con nitrógeno. Así mismo este proceso se puede utilizar para gas de síntesis para metanol (CO/H<sub>2</sub>).

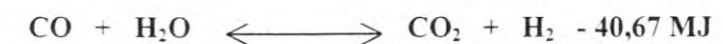
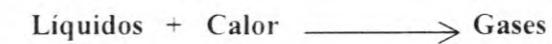
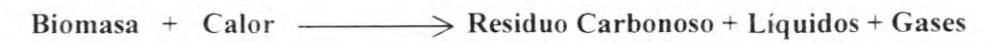
### 13.3.3 GASIFICACIÓN CON VAPOR DE AGUA Y OXIGENO (AIRE)

Se produce un gas que al estar enriquecido en H<sub>2</sub> y CO se puede utilizar para síntesis de metanol, amoníaco, gasolina, etc.

### 13.3.4 GASIFICACIÓN CON HIDROGENO

Se produce un gas con alto contenido energético (mas de 30 MJ/Nm<sup>3</sup>) que por tener alto porcentaje de metano y olefinas, puede utilizarse como sustituto del gas natural.

En cuanto a la termoquímica del proceso aparecen una serie de reacciones que depende de las condiciones y del agente gasificante, estas se pueden resumir así:



#### 13.4 LICUEFACCIÓN

La licuefacción es un proceso en que los materiales con alto contenido de carbono pierden oxígeno a través de una reacción con monóxido de carbono. Al perder oxígeno y ganar hidrógeno, puro o del agua, el material se convierte en un aceite. Los procesos de licuefacción ocurren a altas temperaturas (370 a 400 °C) y presiones, empleándose algunas veces catalizadores alcalinos que reducen la temperatura requerida (315 a 345 °C). Previo a la licuefacción siempre debe existir una etapa de gasificación, ya sea por separado o in situ, el producto obtenido es un líquido de mayor calidad que el obtenido mediante el proceso de pirólisis en cuanto a su poder calorífico (35 – 40 MJ/Kg) y a su menor contenido de oxígeno (< 15%) pero presenta una serie de desventajas: trabajar a muy altas presiones, problemas en el bombeo de la alimentación a esas presiones, la utilización de hidrógeno y el costo elevado al ser un proceso presurizado.

Los combustibles líquidos ofrecen varias ventajas sobre la biomasa como tal, la más importante es su elevada densidad energética, además de su mayor economía al ser transportado y estabilidad en el almacenaje.

Los combustibles líquidos pueden utilizarse tanto en quemadores convencionales como en industrias químicas. Los procesos de licuefacción directa son capaces de producir verdaderos hidrocarburos, estos productos son químicamente diferentes a los hidrocarburos del petróleo pero mediante proceso pueden ser convertidos en productos hidrocarbonados (gasolinas). El refinado de estos productos para ser convertidos en verdaderas gasolinas o diesel conlleva una serie de etapas que incluyen: destilación del producto a rectificar, hidrocrackeo de la fracciones pesadas, reformado catalítico de hidrocarburos y reformado de productos gaseosos para producir hidrógeno.



Estudios comparativos en varios países europeos y americanos de licuefacción directa de la biomasa, establecen que se puede producir combustibles líquidos para quemar con una eficiencia energética del 60 al 70 %.

## 14 CONVERSIÓN BIOLÓGICA

Se basa en la descomposición de la materia orgánica por microorganismos, produciendo metano en el caso de la biometanación y etanol en el caso de la fermentación alcohólica. Los dos procesos son anaeróbicos (ausencia de aire) y el primer paso en la conversión es un proceso de hidrólisis, en el que la materia orgánica se rompe en azúcares solubles al reaccionar la biomasa con agua en presencia de ácidos o enzimas. La diferencia entre ellos reside en el tipo de microorganismos, sus actividades de digestión y los productos obtenidos.

### 14.1 LA BIOMETANACIÓN

En el proceso de biometanación (producción de biogas), desperdicios orgánicos o biomasa con alto contenido de humedad se alimenta a un recipiente llamado digestor biológico o biodigestor. Por la acción de bacterias productoras de gas metano, llamadas por ello metanogénicas, se obtiene biogas (una mezcla de bióxido de carbono y metano esencialmente), que puede aprovecharse como combustible, produciendo además lodos residuales empleados como mejoradores de suelos o fertilizantes. Así la digestión anaerobia cumple con tres funciones: producción de un gas combustible, producir mejoradores de suelos y reducir la contaminación ambiental producida por la descomposición de desechos no tratados.

La biodigestión se realiza en tres procesos: hidrólisis enzimática, en que los sólidos fermentables son convertidos en compuestos solubles; acidulación, en que los compuestos solubles (azúcares) se convierten en ácidos orgánicos volátiles, como el acético, propiónico y butírico; y, por último, metanación en que los ácidos orgánicos volátiles se convierten en biogas mediante la acción bacteriana.

Los procesos de digestión anaerobia operan a presión atmosférica, con un nivel de pH en la mezcla entre 6 y 8 y requiere control de temperatura, el proceso puede tener dos niveles de temperatura: si la temperatura está entre 30 y 38 °C se trata de un proceso mesofílico (algunos procesos se producen a temperaturas menores); si la temperatura está entre 50 y 60 °C se trata de un proceso termofílico. La concentración de sólidos totales en la mezcla es de 5 a 15 %; la relación carbono nitrógeno (C/N) debe estar entre 20 y 30, cuanto más se acerque a 30 mejor será la producción de biogas, sin embargo; en ningún caso deberá exceder el valor de 35. Valores por debajo de 20 producen un excesivo crecimiento de microorganismos y para valores muy altos, no habrá suficiente nitrógeno y las bacterias no pueden producir las enzimas necesarias para asimilar el carbono. El tiempo de retención será variable dependiendo fundamentalmente del tipo de sustrato y del tipo de digestión. Puede oscilar entre 10 y 25 días. Por otra parte es necesario que no existan sustancias tóxicas como metales pesados, amoníaco o antibióticos ya que pueden inhibir el proceso de



digestión, pero es interesante que en el sustrato existan otros elementos nutritivos como fósforo y potasio.

En los procesos naturales el gas producido o biogas, suele presentar una composición que oscila entre el 54 - 70 % de metano (CH<sub>4</sub>) y 27 - 45 % de CO<sub>2</sub>. En la tabla No. 6 aparece la composición media del biogas.

**TABLA NO. 6 COMPOSICIÓN MEDIA DEL BIOGAS**

COMPONENTE	PORCENTAJE EN VOLUMEN (%)
METANO	54 - 70
DIOXIDO DE CARBONO	27 - 45
NITROGENO	0,3 - 3,0
HIDROGENO	1,0 - 10
MONOXIDO DE CARBONO	0,1
OXIGENO	0,1
SULFURO DE HIDROGENO	TRAZAS

FUENTE: MANUAL DE BIOMASA IDAE

Las Tablas 7 y 8 muestran la producción teórica de biogas según el sustrato y la producción esperada para diferentes tipos de residuos ganaderos.

**TABLA No. 7 PRODUCCIÓN DE BIOGAS SEGÚN EL SUSTRATO**

SUSTRATO	BIOGAS (m <sup>3</sup> /Kg de materia orgánica)	METANO (% Vol.)
HIDRATOS DE CARBONO	0.89	50
LIPIDOS	1.54	70
PROTIDOS	0.59	84

FUENTE: ASINEL. MANUAL DE BIOMASA IDAE

**TABLA No 8 PRODUCCIÓN DE BIOGAS SEGÚN TIPO ESTIÉRCOL**

ANIMAL	PESO MEDIO POR CABEZA (Kg)	DEYECCIONES PRODUCIDAS (Kg./cab.-día)	PRODUCCION DE BIOGAS (Lit./cab.-día)	PRODUCCION DE ENERGIA (Kj./cab.-día)
BOVINOS	400	27,5	720	18.700
PORCINOS	60	4,5	120	3.120
AVES	1,5	0,1	6,4	166
OVINOS Y CAPRINOS	30	1,6	47	1.222

## 14.1.1 TIPOS DE BIODIGESTORES

Los procesos de digestión anaerobia en biodigestores se desarrollaron en la china y en la india donde existen millones de digestores familiares. A continuación se hará una breve descripción de los diferentes tipos de biodigestores que se han desarrollado:

### 14.1.1.2 DIGESTORES CONTINUOS

En estos la carga se realiza en forma discontinua o batch, es decir, una vez que finaliza el proceso de fermentación se deseca el digestor y se vuelve a cargar con residuo fresco. La eficiencia del proceso es baja y el biogas es producido intermitentemente lo que también dificulta su utilización por no obtenerse una presión constante de salida.

### 14.1.1.3 DIGESTORES CONTINUOS

No existen paradas de carga y descarga y tienen un rendimiento mayor. Este sistema ha sido el mas estudiado en los últimos años y sobre el que se han conseguido mucho mas importante desarrollos.

El mecanismo de retención de la biomasa en los digestores ha dado lugar a una clasificación de ellos en:

**14.1.1.3.1 Digestores con biomasa suspendida.** Fueron los primeros en desarrollarse, los microorganismos se encuentran flotando sin encontrarse fijos en ningún punto. Dependiendo del grado de complejidad técnica de estos digestores tenemos:

**14.1.1.3.1.1 Digestores de Mezcla perfecta o completa:** Estos sistemas se han desarrollado especialmente para el tratamiento de vertidos con alto contenido de sólidos en suspensión como residuos ganaderos y lodos de plantas depuradoras. Se basan en que son biodigestores que no tienen recirculación de lodos, tampoco presentan retención de la biomasa suspendida lo que supone que los tiempos de retención de sólidos sean iguales a los tiempos de retención hidráulica y por tanto estos han de ser altos (10 a 30 días). Las producciones de gas son bajas.

**14.1.1.3.1.2 Digestores de flujo pistón:** Se utiliza para el tratamiento de vertidos de ganadería, es decir, aquellos residuos que poseen ya el inculo de microorganismos anaerobios. Se excavan canales en el terreno y se cubren con un plástico resistente tanto a la presión generada por el gas como a las inclemencias del tiempo y a la vez sirve como aislante térmico. En Colombia son conocidos como tipo salchicha. En estos biodigestores se establece un flujo horizontal de la biomasa.

**14.1.1.3.1.3 Digestores de contacto anaerobio:** En estos digestores existe una separación y recirculación de lodos en el afluente por medio de un decantador, con lo que se aumenta la concentración de sólidos en el digestor, disminuyendo por tanto el tiempo de retención hidráulica (2 a 6 días) y aumenta la eficiencia del proceso, ya que el tiempo de residencia

del sólido es superior al tiempo de retención hidráulico. Lo que en otras palabras aumenta el contacto de los microorganismos con la biomasa.

**14.1.1.3.1.4 Digestores de lecho expandido:** Esta tecnología esta basada en la acumulación de microorganismos en un reactor con decantación interna. El agua con la biomasa entra repartida por toda la superficie interior del digestor y atraviesa en flujo ascendente un lecho de partículas bacterianas agregadas, mantenidas en expansión por el gas producido. Las principales características que deben reunir estos biodigestores son: deben recibir lodos de buenas características de sedimentabilidad, dispositivos de separación gas liquido y un sistema que homogeneice la entrada del alimento en la base del digestor.

**14.1.1.3.2. Digestores de biomasa adherida:** En este caso la biomasa se retiene en el interior del digestor mediante su adhesión a un soporte inerte que rellena el biodigestor y a través del cual se hace pasar la suspensión de biomasa a tratar. El elemento de relleno puede estar fijo o no. Dependiendo de esto se clasifican en:

**14.1.1.3.2.1 Digestores de biomasa adherida a superficies fijas:** Se tienen filtros de película fija o anaerobio. Los filtros de película fija son de flujo ascendentes y permiten una mejor retención de los microorganismos: los anaerobios suelen ser de flujo descendente. No permiten cargas muy elevadas pero se encuentran en el orden de 5 a 15 Kg de DQO/m<sup>3</sup>-día, los tiempos de retención hidráulica esta entre (0.5 – 3.0 días).

**14.1.1.3.2.2 Digestores de biomasa adherida a superficies móviles:** En estos biodigestores las bacterias colonizan partículas de material inerte (plástico, arena, etc.) de pequeño tamaño, formando un lecho a través del cual circula el fluido a una velocidad lo suficientemente elevada para producir una expansión o fluidización. Soportan cargas de 10 a 40 Kg de DQO/m<sup>3</sup>-día y emplean tiempos de retención hidráulica de 0.3 a 1 día.

#### **14.1.1.4 BIODIGESTORES DE DOS FASES**

Esta constituido por dos fermentados en cada uno de los cuales se realiza una parte del proceso fermentativo. Esta separación de fases es muy interesante cuando las condiciones ambientales optimas de las diferentes poblaciones bacterianas que intervienen en el proceso no son las mismas, de esta manera se pueden favorecer ambas por separado. Se han realizado experiencias separando la fase acidogénica y metanogénica y también la hidrólisis de la acidogénesis y metanogénesis. Queda aun por estudiar como podría alterarse la interrelación que existe entre los microorganismos de uno y otro proceso.

#### **14.1.2 LOS RELLENOS O VERTEDEROS SANITARIOS**

Los rellenos sanitarios se pueden comparar a un inmenso biodigestor o reactor biologico de alta carga y baja humedad en donde se lleva a cabo una digestión anaerobia.



Los rellenos sanitarios son susceptibles de convertirse en importantes fuentes de biogas al descomponerse la fracción orgánica presente en ellos. Experiencias internacionales demuestran con éxito la extracción de este combustible y su posterior transformación en energía calórica o eléctrica, siendo esta última la de mayor aplicación por su facilidad de destinarse a procesos autogenerativos y de venta a la red eléctrica. El metano es uno de los responsables directos del efecto invernadero y es el componente mayoritario del biogas, razón por la cual es necesario captarlo y gestionarlo para su eliminación. Esta situación sanitaria sumada a su importancia como combustible permite alcanzar un doble objetivo que consiste en "reducir la contaminación atmosférica y producir energía". Se incluye en el presente trabajo una metodología generalizada de cálculo para el volumen del biogas en rellenos sanitarios y algunos comentarios sobre costos de explotación y rentabilidad.

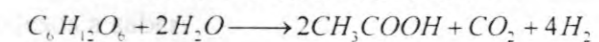
#### 14.1.2.1 ANTECEDENTES

La producción de residuos sólidos urbanos en la sociedad de hoy aumenta en proporción directa al grado de desarrollo y a la calidad de vida. Las sociedades desarrolladas alcanzan producidos per cápita superiores a 1 kg./d, de los cuales menos del 40 % de su contenido en peso corresponde a material biodegradable. En las sociedades en vías de desarrollo la situación se invierte, la porción biodegradable puede alcanzar niveles hasta más del 60%. En cuanto a la producción per cápita, ésta puede situarse en el orden de 0.8-0.9 kg./d

#### 14.1.2.2 FORMACIÓN DEL BIOGAS

El biogas es el producto gaseoso que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica mediante acción bacteriana y en condiciones anaeróbicas. Este proceso se resume en: una reacción donde las cadenas largas del material biodegradable son fraccionadas hasta unidades más simples, como la glucosa, aminoácidos etc. Una fase posterior es la llamada acidogénesis - acetogénesis, donde las unidades simples obtenidas son transformadas por la acción de bacterias acidogénicas en ácidos orgánicos como el acético, propiónico, butírico, heptanóico, láctico entre otros.

##### Reacción de Glucosa a Acido Acético



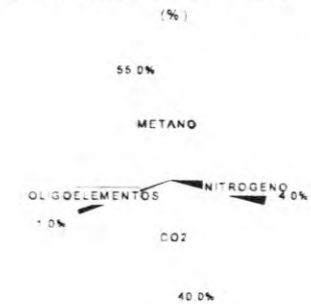
#### 14.1.2.3 GENERACIÓN DE BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS

En los rellenos sanitarios el biogas que se produce es en sí una mezcla compleja de gases y oligogases. Esta actividad gaseosa se desarrolla en varias etapas:

**14.1.2.3.1 Etapa de ajuste inicial.** Una vez dispuestos los residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario, los componentes biodegradables inician con una descomposición microbiana de tipo aeróbico, aprovechando la disponibilidad de aire que queda atrapado entre los residuos. El oxígeno empieza a consumirse.

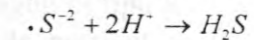
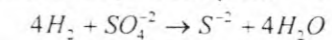
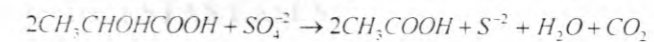


## COMPOSICION DEL BIOGAS



**14.1.2.3.2 Fase de transición.** En esta fase el oxígeno termina de consumirse y se da comienzo a la actividad de descomposición microbiana en condiciones anaeróbicas. La fuente principal de microorganismos para llevar a cabo esta actividad son aportados por el material de cobertura de los residuos. El ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), conocido por su naturaleza corrosiva y su olor característico a huevo podrido, se produce junto con el nitrógeno gaseoso por la reducción de los iones  $SO_4^{=}$  y  $NO_3^-$ .

### Reacciones de reducción del $SO_4^{=}$



Se puede establecer el comienzo de las condiciones anaerobias midiendo el potencial de oxido-reducción de los residuos almacenados en el relleno. Las condiciones de reducción suficientes para producir la reducción del nitrato y del sulfato se dan entre -50 y -100 mv. La medida de este potencial redox sirve de parámetro de control para la producción de metano y se establece entre -150 y -300 mV. El pH del lixiviado que se forma comienza a descender, ocasionado especialmente por la presencia de ácidos orgánicos y altos niveles de  $CO_2$ .

**14.1.2.3.3 Fase Acida.** Se producen grandes cantidades de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas hidrógeno. La actividad microbiana se acelera. En esta fase se distinguen algunos procesos a saber:

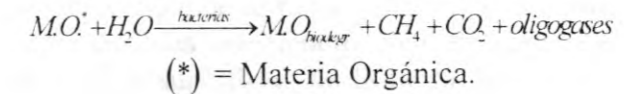
**14.1.2.3.3.1 Hidrólisis.** Por acción enzimática, compuestos de alto peso molecular son transformados a compuestos más sencillos que puedan ser utilizados por los microorganismos como fuente de energía y de carbono celular.

**14.1.2.3.3.2 Acidogénesis.** Por acción de microorganismos anaeróbicos facultativos son convertidos los productos resultantes de la hidrólisis en compuestos intermedios de bajo peso molecular como el ácido acético  $CH_3COOH$ , pequeñas concentraciones de ácido fúlvico y otros ácidos más complejos. El principal gas generado en esta fase es el  $CO_2$ , acompañado de pequeñas cantidades de gas hidrógeno.

Con relación a la DQO y DBO<sub>5</sub>, así como la conductividad del lixiviado se incrementarán significativamente, debido a la disolución de ácidos orgánicos en éste y a la presencia de altas concentraciones de CO<sub>2</sub>.

**14.1.2.3.4 Fase Metanogénica.** El ácido acético y gas hidrógeno formados en la acidogénesis son convertidos en CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> por intermediación de un segundo grupo de microorganismos llamados metanogénicos los cuales son anaerobios estrictos. La producción de metano y ácido se forman simultáneamente, sin embargo la velocidad de formación de los ácidos es menor. Las bacterias metanogénicas son de diferentes especies, las acetoclásticas, producen metano a partir del ácido acético pero el tiempo de crecimiento de las células de estas bacterias es muy lento (2 a 3 días), mientras que las metanogénicas utilizadoras de H<sub>2</sub> reducen el gas carbónico a metano (CH<sub>4</sub>) y su tiempo de crecimiento celular se encuentra alrededor de las seis horas. El metano producido es menos denso que el aire ( $\rho = 1,2928 \text{ g/l}$ ) y el gas carbónico ( $\rho = 1,9768 \text{ g/l}$ ).

#### Reacción



#### 14.1.2.4 DURACIÓN DE ESTAS FASES

El tiempo de estas fases variará según el tipo y distribución de los compuestos orgánicos en el relleno, la disponibilidad de nutrientes, el contenido de humedad, el grado de compactación y los factores ambientales como la temperatura.

La materia orgánica biodegradable a través de la digestión anaerobia en rellenos sanitarios es eliminada en gran parte y cumple una función sanitaria. Sin embargo este proceso genera otros subproductos o residuos que pueden ser igual o más contaminantes si no se hace una gestión adecuada de captación y tratamiento.

El CH<sub>4</sub> y el CO<sub>2</sub> son los gases comúnmente llamados mayoritarios porque se encuentran en un mayor porcentaje dentro del biogas.

Ambos gases están asociados al *efecto invernadero* que consiste en que la radiación infrarroja es absorbida por diferentes gases como: vapor de agua, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Clorofluorocarbonos, óxido nitroso y otros.

## EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

BILLONES DE TONELADAS

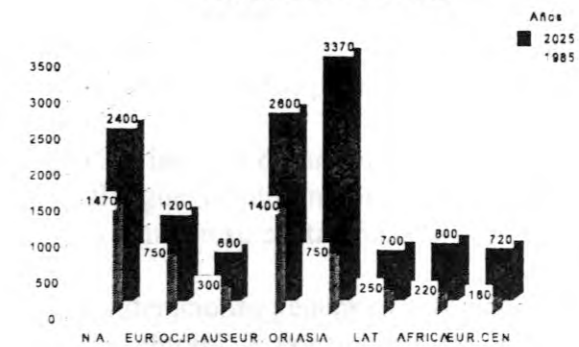


FIGURA No. 5

Por lo general estos gases son transparentes a la radiación de onda corta proveniente del sol, la cual al incidir sobre la superficie de la tierra, ésta las remite en longitudes de onda más largas. Según muchos especialistas este fenómeno trae como consecuencia un aumento gradual en la temperatura en la superficie de la tierra, suceso éste que asociado a otros fenómenos y episodios meteorológicos, se ha desarrollado un nuevo frente de estudio conocido como *cambio climático*. Este aumento de temperatura que ha venido experimentando en el último siglo la tierra, aunque no se puede atribuir exclusivamente a la presencia de estos gases si es claro que su presencia contribuye notablemente a un aumento de la temperatura.

El metano es un gas que tiene un poder calorífico de 8530 kcal/ m<sup>3</sup>N y tiene una temperatura de ignición de 650 °C. [1]

Se encuentra en la atmósfera en una concentración de 1720 ppb (partes por billón)<sup>1</sup> por volumen y es equivalente a 4900 Tg de metano<sup>2</sup>, este valor se incrementa anualmente en 30 Tg de metano. Las fuentes del metano son de dos tipos las de origen natural y las de origen antropogénico. Las primeras suman alrededor de 155 Tg de metano/año y las segundas más de 355 Tg de metano/año. Dentro de las segundas, las cuales corresponden a las acciones del hombre, 40 Tg corresponden al metano producido por los rellenos sanitarios en el mundo.

Los sumideros de este gas (atmósfera y suelo), no tienen toda la capacidad para absorberlo, por lo que cada vez queda un remanente. Es importante anotar que en los últimos 300 años la concentración de metano se ha doblado y crece en más de un 1% anualmente. Este porcentaje no sería tan significativo si el metano no fuera 30 veces más efectivo que el CO<sub>2</sub> [2], razón por la cual no se puede descuidar y debe ser vigilado tanto como el CO<sub>2</sub>. Es necesario entonces gestionar el metano, captarlo y eliminarlo.

<sup>1</sup> un billón = 1000 millones

<sup>2</sup> Un Tg (teragramo) = 1 x 10<sup>12</sup> g = 1 millón de toneladas.

Hasta la fecha la forma más práctica y no solo económica sino rentable es aprovechando su condición de combustible y utilizarlo en una caldera o en una turbina para producir calor o electricidad. Esta doble utilidad; por un lado resuelve el problema sanitario que conlleva la emisión de metano a la atmósfera como gas de efecto invernadero y por otro se aprovecha energéticamente para beneficio del hombre, es lo que permite a ambientalistas y especialistas energéticos coadyuvar esfuerzos para su gestión.

Queda por aclarar que la gestión integral de un relleno sanitario no solo son los gases sino también los lixiviados, lo cual sigue siendo una preocupación para los entendidos, pues su gestión es quizá más compleja tanto en su captación como en su tratamiento.

Expuestas brevemente las consideraciones generales sobre como se genera este biogas y su potencial aprovechamiento se entrará a considerar una metodología para calcular su disponibilidad en un relleno sanitario.

#### **14.1.2.5 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL VOLUMEN DE BIOGAS [3]**

La presente metodología es quizá la más difundida pero sirve para hacer estimativos muy generales sobre las potencialidades de una zona generadora de biogas. Antes que nada, es indispensable contar con toda la información relacionada con el relleno, tanto inherente a los residuos dispuestos en él como a los aspectos geológicos, ambientales y en especial a la disponibilidad de agua.

Para comprender un poco mejor la metodología de cálculo de la cantidad de biogas a obtenerse en un relleno sanitario se describirán los siguientes pasos:

Disponer de la información acerca de la composición de los residuos. Pesar la fracción inorgánica y desechar. Seleccionar por componentes la fracción orgánica, agrupar los de rápida descomposición y los de lenta descomposición, pesar por separado. Obtener la fracción de cada una respecto del peso inicial en base seca y en base húmeda, por lo que habrá que determinarse la humedad de cada componente. Hacer análisis elemental a cada componente y encontrar las fracciones de cada elemento.

Calcular la composición molar de los elementos. No se tienen en cuenta los valores de las cenizas.

Encontrar una fórmula química aproximada sin azufre. Dado que los componentes tienen una relación molar, se hace uno de ellos igual a 1. En este caso el Nitrógeno.



Los valores del gas obtenidos son teóricos, representan la cantidad máxima de gas estequiométrico en condiciones óptimas de descomposición. Hay que tener en cuenta que para efectos de un refinamiento en el cálculo se deben tener en cuenta los constituyentes orgánicos rápidamente descomponibles, cuyo tiempo de biodegradación se calcula alrededor de los 5 años.

Otros, de lenta descomposición pueden tardar hasta 50 años. También se debe considerar que no toda la materia orgánica se encuentra disponible para el proceso de biodegradación ya que puede encontrarse atrapada en bolsas plásticas y nunca entran en contacto con el agua requerida para las reacciones químicas.

Algunos especialistas estiman en cifras redondas que solo entre el 50 y 60 % de la materia orgánica almacenada, es susceptible de ser biodegradada durante la vida útil del relleno sanitario.

#### 14.1.2.6 EXTRACCIÓN DEL BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS

Antes de iniciar la operación extractiva, es necesario llevar a cabo una serie de sondeos con perforaciones de prueba, por lo que se precisa reunir toda la información posible acerca del relleno sanitario, tanto si el proyecto fue concebido para este fin como si se tratara de un relleno clausurado parcial o totalmente.

Los pozos de control tienen como objetivo conocer la evolución de algunas variables como: influencias entre pozos, presiones, caudales, temperaturas, composiciones a diferentes profundidades.

Los pozos extractivos o de producción son única y exclusivamente para captar el biogas aunque en algunos casos es posible dotarlos de un dispositivo para toma de muestras. Cada pozo tiene un radio de captación entre 15 y 35m.

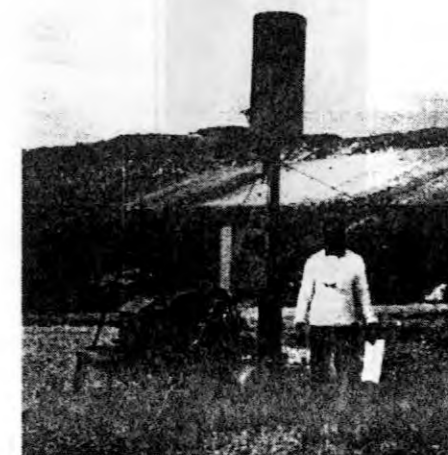


FIGURA No. 6 POZO DE CONTROL

Por lo general, la producción de un pozo no es permanente ni en cantidad ni en calidad (% de metano), pero habida cuenta que en toda la explotación existen muchos pozos, entonces es posible obtener del conjunto, un producto de calidad estable en cantidad suficiente para un aprovechamiento energético.

Para conseguir dicho producto es necesario regular continuamente la producción de cada pozo en función de la calidad en metano detectada, la que se hace con dispositivos automáticos acoplados al equipo extractivo. (Ver Fig 7).

De esta manera se conduce el biogas hasta el sitio de utilización según los volúmenes requeridos para la operación, el exceso de gas se incinera en una antorcha de prueba.

La operación de extracción del biogas es muy delicada debe hacerse a baja presión (-82 a -48 mbar), dado que un porcentaje por encima del 5,3 % puede causar explosión. [4]

Una planta para el aprovechamiento del biogas esta conformada por los siguientes partes:

- Depósito de residuos.
- Ductos de aspiración del gas.
- Colectores laterales.
- Ducto principal del gas.
- Drenaje de agua.
- Compresor.
- Chimenea extractiva.
- Deshumidificador.
- Dispositivo antiretorno de llama.
- Grupo generador motor.



FIGURA No. 7 CHIMENEA Y ACOPLES

#### 14.1.2.7 APLICACIONES DEL BIOGAS

El biogas dadas sus excelentes condiciones como combustible, puede ser utilizado para la generación de calor o de electricidad.

Para el primer caso, por lo general se lleva a cabo una combustión en caldera y se recupera el calor del fluido de trabajo. La limitación de esta aplicación radica en que el calor debe ser utilizado prácticamente en la misma planta generadora.

La segunda opción, quizá la mas difundida es la de generación de electricidad con propósitos de autogeneración y aún de cogeneración.

Para este caso es necesario disponer de un turbogruppo o de un motor de combustión interna. Los motores de combustión interna utilizados en estas aplicaciones tienen por lo general las siguientes especificaciones:<sup>3</sup>

Motores de 16 cilindros en V de 48 litros de cilindrada. turbo y post-enfriados.  
Cámara para mezclas pobres de gas/aire  
Ciclo OTTO. Encendido con chispa.

Refrigeración mediante torres de refrigeración. La salida de gases de escape es a través de silenciadores.

#### 14.1.2.8 PERSPECTIVAS DE APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS EN COLOMBIA

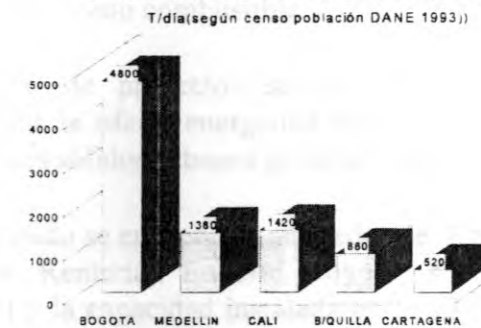
En Colombia, si bien no se reportan experiencias relacionadas con la utilización industrial o comercial de este gas, si se han reportado muchos trabajos a nivel de biodigestores rurales y la utilización del biogas para usos domésticos como es el caso del convenio CVC-GTZ. La UESP mostró algún interés en el tema de la desgasificación pero con fines de control de la contaminación. Se han propuesto también algunos programas para cuantificación de la producción de biogas en rellenos sanitarios<sup>4</sup>. Quizá el estudio que más se ha aproximado a tratar el tema del aprovechamiento de gases es el presentado en el documento Misión Bogotá Siglo XXI [5], donde hace referencia a las potencialidades de biogas según proyecciones de descomposición de material biodegradable y se presenta una curva típica sobre las distintas fases de producción de biogas a lo largo de 20 años, que es el tiempo de vida útil para estos proyectos. En cuanto a estudios de investigación, el INEA (entonces IAN), encargó un estudio para el *aprovechamiento de las basuras de la ciudad de Neiva*, aquí se hizo una experiencia orientada hacia el estudio y comprensión de variables involucradas en el proceso de digestión anaeróbico y con énfasis en la calidad del metano. Podemos entonces, con base a estas experiencias, asegurar que el grado de desarrollo en cuanto a esta primera etapa es amplio y que hace falta profundizar en aplicaciones de más alto nivel de carácter ingenieril para que se pueda aprovechar en una escala mayor los beneficios derivados de esta fuente energética.

<sup>3</sup> Especificaciones tomadas de Motores Guascor Zumaia (guipuzcoa)-España.

<sup>4</sup> A. Ospina. PIRS., Universidad Nacional, Bogotá 1991.

La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos oscila entre 55-60%, lo que permite pensar en un mayor porcentaje de descomposición anaeróbica. Dentro de esta fracción orgánica la mayor parte obedece a fracción de rápida descomposición lo que favorece aún más la producción de biogas. A estas consideraciones hay que sumar aspectos de tipo meteorológico como buena disponibilidad de agua y temperaturas medias ambientales propicias para el desarrollo de microorganismos mesofílicos. Al respecto se pueden iniciar dos acciones: extraer el biogas de rellenos sanitarios ya clausurados o diseñar rellenos exclusivamente para este fin y esperar a que se genere el gas en un tiempo superior a dos años. Ambas situaciones son viables y justificables. Para el primer caso, la operación sin duda alguna es más dispendiosa y riesgosa en cuanto a sus resultados. Se debe disponer de información de todo el relleno y conocer cómo ha sido su evolución. Detectar las bolsas de biogas e iniciar sondeos de prueba, esto demanda costos altos y monitoreos durante varios meses. Para el segundo caso, el diseño de los ductos y chimeneas quedan incorporados en la obra civil, siendo clausurados temporalmente durante el tiempo de formación del biogas y posteriormente se habilitan. Los resultados obtenidos son mucho más confiables.

**PROD. ESTIMADA DE R.S.U**



**FIGURA No. 8**

Si tenemos en cuenta que en los países latinoamericanos se produce alrededor de 0,8 Kg de residuos d. se podría pensar que una ciudad como Santafé de Bogotá genere más de 4800 t.d. y evidentemente esto se cumple. Se estima que una tonelada de residuos genere en promedio 200 m<sup>3</sup>N de biogas durante los 20 años de promedio de la vida útil de un relleno sanitario.

Algunas experiencias como en Biosanmarkos (Rentería-España) se encuentra en funcionamiento una planta que extrae 650 m<sup>3</sup>N/h y produce con dos grupos motores 1,3 MW. Para las condiciones en donde se lleva a cabo este proyecto se puede asegurar su éxito pues la producción bruta será de 9.400.000 kWh/a. de los cuales exportará a la red eléctrica 9.000.000 de kWh/a. La diferencia es para autoconsumo, que se estima cercano al 5%. Lo importante de este proyecto es que esta generación la hace a partir de almacenar en el relleno sanitario 300 t/d de residuos sólidos urbanos. Consideremos por un momento las posibilidades de una ciudad como Santafé de Bogotá cuya producción es superior a las 4800 toneladas al día.

Las inversiones suelen ser costosas pero con viabilidad de amortización en corto tiempo, por lo que resulta ser atractivo pensar en la generación eléctrica a partir de estas materias primas, las cuales son generadas por el mismo hombre y solo basta receptorlas y



disponerlas adecuadamente y diseñando desde un comienzo los sistemas de recolección del biogas.

#### **14.1.2.8 CONCLUSIONES RESPECTO AL APROVECHAMIENTO BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS.**

Los rellenos sanitarios siguen siendo hoy en día el método de eliminación de los residuos sólidos urbanos más aceptado.

- El biogas que es producido por las condiciones anaeróbicas a que se ve sometida la fracción orgánica debe ser evacuado y eliminado para cumplir con las normas sanitarias especialmente por considerarse el metano, su componente mayoritario, como gas de efecto invernadero.
- El biogas extraído para dar cumplimiento a las normas sanitarias puede ser eliminado en equipos que aprovechan este biogas y lo transforman en calor o energía eléctrica dadas sus excelentes condiciones como combustible.
- En Colombia este tipo de proyectos serían altamente rentables y contribuirían notablemente a aumentar la oferta energética del país, especialmente porque podrían aprovecharse los residuos sólidos urbanos generados por los municipios.
- Los costos por kW instalado se encuentran alrededor de US 1600, según experiencias en España (Biosanmarkos- Rentería). En este proyecto se invirtieron 270 millones de pesetas (US 2.076.000) y la capacidad instalada es de 1300 kwe, si se tiene en cuenta las 7000 horas de trabajo al año que están proyectadas, se pueden producir alrededor de 9.000.000 de kwh, que representan a costos de la región entre 80-90 millones de pesetas, cantidad esta que representaría una utilidad del ejercicio, descontado ya el autoconsumo. Si tenemos en cuenta la inversión inicial, podemos asegurar que para este tipo de proyectos y en estas condiciones se puede recuperar la inversión en un corto tiempo.

#### **14.1.2.9 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda al gobierno a través de sus organismos competentes, el diseño de estrategias para incentivar tanto para la generación como la compra de energía producida a través de fuentes no convencionales de energía.
- Las entidades relacionadas con la protección del medio ambiente y con la producción de energía deben aunar esfuerzos en considerar este tipo de tecnologías ampliamente probadas que solucionarían aspectos sanitarios y energéticos al mismo tiempo.
- Los Residuos Sólidos Urbanos son una excelente fuente de biogas siempre y cuando la disposición de estos residuos se haga conforme a las técnicas diseñadas para este fin y se conforme la infraestructura de captación y conducción de este biogas a los puntos de transformación. Por este motivo se insta a los gobiernos municipales y en especial a las

unidades de servicios públicos el contemplar dentro de los programas de RSU la alternativa de aprovechamiento de este biogas.

## 14.2 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

En cuanto a la fermentación alcohólica, el etanol, empleado como combustible sustituto de la gasolina o mezclado con ella y como insumo para la fabricación de productos químicos, se obtiene a partir de dos procesos: hidrólisis y fermentación. La hidrólisis transforma almidones y celulosas en glucosa y elimina partículas sólidas, mediante un proceso que puede ser químico (hidrólisis ácida) o enzimático (hidrólisis enzimática). La fermentación convierte, mediante levaduras, la glucosa en etanol, bióxido de carbono y vinaza, un subproducto no fermentable que también puede emplearse como combustible, como materia prima para la biometanación, o si contiene proteínas como complemento alimenticio para animales.

La caña de azúcar, el sorgo dulce, las frutas y la remolacha azucarera son los productos mas utilizados para la obtención de alcohol; los azúcares base de la fermentación se obtienen de estos productos con pretratamientos suaves como prensado, corte y lixiviación o lavado.

La hidrólisis enzimática es preferida a la hidrólisis ácida por no requerir equipos resistentes a la corrosión, por permitir una supervisión menos estricta de las condiciones del proceso y sobre todo por tener una capacidad de conversión alta, cerca del 90% comparado con un 50% en la hidrólisis ácida.

Las concentraciones de alcohol obtenidas en la fermentación son del orden de 15% en volumen. Para concentrarlo se emplea la destilación fraccionada, requiriéndose finalmente una energía superior que el contenido energético del producto. Sin embargo, el calor requerido puede proporcionarse con los residuos del bagazo, porque sólo se necesita a bajas temperaturas. En la fermentación de otros productos como el maíz la situación es menos favorable. En los procesos de fermentación una libra de sacarosa (7.480 Kj o 7.090 BTU) produce 0,5 libras de etanol (6.500 Kj o 6.210 BTU), obteniéndose así una eficiencia de conversión ligeramente superior al 85%.

## 15 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE LA TRANSFORMACION TERMOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA BIOMASA.

Como se menciona al comienzo existen varios factores que han impulsado a los países ha mirar a la biomasa como una parte en la solución del problema energético. Con el fin de obtener una panorámica general del estado del aprovechamiento de la biomasa en las tablas

5 6 se resumen el estado actual desarrollo de las diferentes tecnologías y las eficiencias promedio de los diferentes procesos de conversión.

Los procesos mas desarrollados son los que emplean como insumos desechos urbanos (aguas negra, RSU) o desechos animales (estiércoles). En el tratamiento de desechos urbanos Estados Unidos tiene el liderazgo tecnológico, con digestores de capacidad mayor a los 3.000 metros cúbicos equipados con intercambiadores de calor, brazos mecánicos y bombeo para agitar la mezcla. Los países con mayor numero de biodigestores para tratamiento de desechos animales son la China y la India, donde se ha difundido mucho esta tecnología. En China se reporta mas de 7 millones de biodigestores instalados y en la India mas de cien mil; estos biodigestores son de pequeña capacidad tipo familiar (3 a 10 m<sup>3</sup> de capacidad). Debido a que la falta de programas de capacitación y entrenamiento paralelos a la introducción masiva de los digestores, un buen numero de estos no han operado. Las experiencias de aplicación son muy diversas y el problema de aceptación social y de transferencia de tecnología hacia las comunidades rurales ha sido aun poco estudiado y es pobremente comprendido. En 1989 las inversiones en investigación y desarrollo en biomasa patrocinadas por los gobiernos del mundo alcanzo 4.000 millones de dólares, correspondiendo unas dos quintas partes de esta suma a Estados Unidos, Canadá y Brasil. En Estados Unidos varias agencias del gobierno cuentan con programas de bioenergía. Los mayores de ellos corresponden a los Departamentos de Energía y de Agricultura, con estudios de producción y cosecha de biomasa y conversión bioquímica. La agencia de Protección del medio Ambiente canaliza programas relacionados con el aprovechamiento de desechos urbanos. El sistema de producción de maíz de dicho país podría reestructurarse para permitir una producción de 10 a 80 millones de metros cúbicos de etanol sin modificar la cantidad de alimentos producidos.

Los programas canadienses en buena medida se basan en incentivos al sector industrial, siendo el principal de éstos el dirigido a los recursos forestales, que constituyen la principal fuente de biomasa de dicho país. Otros programas están dirigidos a la utilización de residuos forestales producidos por las actuales prácticas de explotación de bosques.

En cuanto a la obtención de etanol por fermentación alcohólica Brasil y Estados Unidos cuentan con los programas mas ambiciosos, donde se encuentra ya a la venta combustibles formados por una mezcla de etanol (10 a 20 %) y gasolina. La capacidad de producción de etanol en brasil a partir de caña de azúcar se estima en 3.6 millones de metros cúbicos por año. A la par de este desarrollo el gobierno brasileño mantiene un importante programa de producción de vehículos con base en alcohol, con un total acumulado de mas de 400.000 vehículos a comienzos de los ochenta. Adicionalmente, otros 55.000 vehículos fueron adaptados para aceptar combustible alcohol/gasolina, que ha recibido el nombre comercial de gasol (mezcla de gasolina con alcohol), existiendo unos 800 del mismo cubriendo 28 estados.

El programa brasileño en biomasa es probablemente el mas ambiciosos de todos los mencionados. Por una parte esta la producción de etanol a partir de caña de azúcar, sorgo y casabe; y, por otra parte, se desarrollan técnicas para aprovechamiento forestales intensivos con rotación de especies forestales de rápido crecimiento. Dicho programa ha despertado polémicas sobre todo por el impacto ambiental sobre la selva del Amazonas.

La mayor parte de los países de Europa occidental están realizando estudios detallados sobre el potencial de sus recursos de biomasa. De ellos los que mas dedican recursos a la



investigación y desarrollo de biomasa son Suecia, Austria, España, Italia, Suiza y Gran Bretaña. España adelanta importantes trabajos en aprovechamiento de biogás de vertederos, entre ellos se tiene el vertedero de la Zoreda y el de Biosanmarkos (Rentería-España), este último cuenta con una planta que extrae  $650 \text{ m}^3 \text{ N/h}$  y produce con dos grupos de motores  $1,3 \text{ MW}_e$ . Para las condiciones en donde se lleva a cabo este proyecto se puede asegurar su éxito pues la producción bruta será de  $9.400.000 \text{ kWh/a}$ , de los cuales exportará a la red eléctrica  $9.000.000 \text{ kWh/a}$ .

## 16 EXPERIENCIAS COLOMBIANAS DE LA TRANSFORMACIÓN TERMOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA BIOMASA.

En el país se han aplicado casi todas las tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa tanto termoquímicas como biológicas, sin embargo aquellas de mayor desarrollo tecnológico solo se han experimentado a nivel de laboratorio. En cuanto a los procesos termoquímicos que han alcanzado mayor acogida ya sea porque es inherente a los procesos o porque resultan más sencillas en su aplicación son: la combustión directa del bagazo de caña, al respecto el CIMPA y FEDEPANELA han adelantado desarrollos en busca de hornillas más eficientes para la cocción de los jugos en la producción de panela. En la zona del viejo Caldas se encuentran varias plantas que utilizan calderas alimentadas con bagazo para la producción de vapor de proceso para la producción de panela, con lo cual se logra un mejor aprovechamiento del mismo; actualmente la mayoría de los ingenios azucareros son autogeneradores de energía. La cascarilla de arroz actualmente la utilizan algunos molinos para el secado de granos y se evalúa la posibilidad de implantar sistemas de gasificación para sistemas de cogeneración (energía eléctrica y calor para secado de granos). En cuanto a la utilización de la leña esta se ha utilizado tradicionalmente para la cocción y calentamiento por combustión directa (actualmente en evaluación por la amenaza de deforestación si no se hace dentro del principio de desarrollo sostenible); de manera artesanal y sin aprovechamiento de los gases y líquidos piroleñosos se hace transformación pirolítica con el fin de obtener carbón vegetal para diferentes usos industriales y comerciales, ejemplo carbón activado y carbón para asaderos..

Con relación a los procesos biológicos la producción de biogás mediante sistemas de biodigestores es quizá la tecnología que ha tenido mayor desarrollo y que más genera expectativas para su implementación en el ámbito rural. entidades como GTZ, PESENCA (en su momento), la Federación de Cafeteros y el CIPAV adelantaron, adelantan y patrocinan la construcción de numerosos biodigestores especialmente en la costa Atlántica y el Valle del Cauca: El biogás generado se utiliza principalmente en cocción, calentamiento, secado de granos, refrigeración, alumbrado y en algunos casos para generación de energía eléctrica en pequeños motores de combustión interna. El aprovechamiento del biogás generado en los vertederos y las plantas de tratamiento con sistemas anaerobios se encuentra en la etapa de prospección y ensayos piloto. Actualmente se adelanta el estudio de prospección del biogás generado en el relleno sanitario Doña Juana, cuya producción de biogás se estima en una cantidad equivalente  $15 \text{ MW}$ ; resulta también de particular interés el aprovechamiento del biogás generado en la planta depuradora de aguas residuales de Río Frío en Bucaramanga.



## **17 PERSPECTIVAS A CORTO MEDIANO Y LARGO PLAZO DE LA BIOMASA EN COLOMBIA.**

De acuerdo al Plan Energético Nacional (1997 - 2010), dentro de las áreas prioritarias de investigación esta lo relacionado con fuentes no convencionales energía, señalándose la importancia de actualizar y detallar los estudios del potencial de dichas fuentes, en los que se deben involucrar aspectos socioeconómicos, culturales y de participación de las comunidades que pueden ser usuarios potenciales.

Dentro de las perspectivas a corto plazo se encuentra, como ya se mencionó una valoración, identificación y caracterización confiable del potencial tanto de la biomasa residual en todas sus formas como de la cultivada, con el fin de determinar la fracción aprovechable energéticamente. Por otra parte esta la implementación de sistemas de control sanitario que aprovechen esta biomasa con fines energéticos, contribuyendo de esta manera a la mitigación y al control de la contaminación ambiental mediante una disposición adecuada de la biomasa residual. Paralelo a esto se debe seguir un plan de evaluación de costos que permitan determinar la viabilidad de cada proyecto.

A mediano plazo se espera contar con proyectos piloto demostrativos con el fin de tener una mejor valoración técnico económica y de implementación de la tecnología a las condiciones geográficas del país y a las condiciones socioculturales. Optimizar y adecuar los procesos y tecnologías biológicas (anaerobias y fermentación alcohólica) y termoquímicas (combustión - pirólisis - gasificación) de aprovechamiento de los recursos biomásicos y su conversión en materias primas y en fuentes de energía.

A largo plazo se encuentran las expectativas relacionadas con la implementación de cultivos energéticos y el desarrollo de biocombustibles. En este particular entidades como Fedepanela y otras instituciones adelantan los primeros contactos con el fin de desarrollar un estudio para la producción de alcohol y oxigenantes para gasolina con miras a reemplazar en un futuro hasta un 10 % el consumo de gasolina.

## **18 PROYECTOS A CORTO PLAZO DESARROLLADOS POR EL INEA.**

### **18.1 PROYECTOS EN EJECUCION**

#### **18.1.1 TRATAMIENTO SANITARIO DE BIOMASA RESIDUAL Y PRODUCCIÓN DE ENERGÍA.**

El INEA mediante un convenio suscrito con el municipio de Providencia y Santa Catalina, viene ejecutando un proyecto de tratamiento y aprovechamiento de biomasa residual, respaldado por la comunidad y el ente ambiental de la región, CORALINA, el cual busca resolver en forma permanente el problema sanitario de las aguas negras de origen doméstico, mediante la aplicación de procesos biológicos anaeróbicos con producción de

biogas y bioabonos que serán aprovechados en la granja municipal en programas de producción autosostenible de alimentos y energía limpia.

#### **18.1.2 APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS: RESPUESTA SANITARIA Y ENERGÉTICA.**

El INEA mediante un convenio suscrito con la Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos-UESP- y la Organización de Estados Iberoamericanos-OEI-, viene adelantando el Estudio de Caracterización, cuantificación, prospección y utilización del biogas en el relleno sanitario de Doña Juana como primera fase. Dicho estudio debe confirmar lo que empíricamente se intuye, que el relleno sanitario Doña Juana es una importante fábrica de biogas. Estimativos basados en experiencias internacionales permiten proyectar según la cantidad de residuos recibidos diariamente por Doña Juana una potencia instalada equivalente superior a los 15 MW eléctricos, lo que se traduce en una producción de energía de más de 11 GW-h/año. Esta energía es equivalente a la demandada actualmente por ciudades como Riohacha.

De obtenerse estos resultados se plantearían esquemas de explotación, en donde las inversiones alcanzan los US \$ 20.000.000.00 y se puede plantear un esquema accionario donde el INEA y la UESP participen de las utilidades. El contrato para el desarrollo del estudio se encuentra en proceso de adjudicación a una firma extranjera de gran experiencia y permitirá al INEA realizar importantes programas de transferencia de tecnología que pueden aplicarse en otras zonas del país dentro del programa de aprovechamiento energético de los Residuos Sólidos Urbanos.

Este proyecto es una contribución importante a la mitigación pues en lo que lleva de vida el relleno se han producido más de 2.640.000.000. de metros cúbicos de gases de efecto invernadero entre CO<sub>2</sub> y Metano, producido por mas de 12.000.000 de toneladas de RSU almacenadas.

#### **18.1.3 EL APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA RESIDUAL EN PROGRAMAS DE GRANJAS AUTOSOSTENIBLES.**

En convenio con la CAR, el INEA adelanta un proyecto para gestión integral de residuos sólidos en municipios de la zona del Tequendama. Dicha gestión está basada en aprovechamiento energético y revalorización de los residuos mediante un programa de granjas ecológicas de agricultura sostenible, donde la fracción orgánica mediante procesos de descomposición anaeróbica genera biogas para múltiples usos como iluminación, cocción de alimentos, secado de granos, calentamiento de animales y generación eléctrica. También se puede aprovechar con fines agrológicos el "bioabono" que se obtiene (lodos estabilizados) como mejoradores de suelo. De otro lado se establece un plan de selección y comercialización de material reciclado como programa de revalorización y ahorro energético. En este momento el proyecto se encuentra la primera fase de ejecución y el objetivo es tener un modelo piloto experimental que permita ser evaluado y masificado en otros lugares del país con características similares.

## 19 NUEVAS TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO

### 19.1 Los cultivos Energéticos

Las especies dedicadas a la producción de biomasa con fines energéticos pueden ser de tipo herbáceo o leñoso y en ocasiones pueden coincidir con especies utilizadas en cultivos agrícolas tradicionales o en aprovechamiento silvícolas clásicos, pero en general la fitotecnia y el manejo de las plantaciones variará sensiblemente respecto a los planteamientos clásicos. La principal condición que debe darse para el desarrollo de los cultivos energéticos es la necesidad de que la producción sea económicamente rentable, para lo cual deben alcanzarse elevados rendimientos en biomasa con bajos costes en la producción, recolección, almacenamiento y procesado por su transformación.

Los cultivos destinados a producir biomasa con fines energéticos tienen unas características específicas que les diferencia claramente de los cultivos alimentarios, entre las que se debe destacar:

- ≠ Los cultivos energéticos se valoran fundamentalmente por el contenido calórico del producto cosechado y por las posibilidades que tiene este para ser utilizado como combustibles. Al no tener las restricciones de los cultivos tradicionales, en cuanto a la calidad alimenticia de la biomasa, cabe la posibilidad de utilizar especies muy distintas a las tradicionales, mejor adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de cada zona y con mejores rendimientos en producción.
- ≠ Los cultivos energéticos deben ofrecer un balance energético positivo, para lo cual tienen que producir elevados rendimientos en biomasa cosechable con un mínimo de gastos energéticos. Alta tasa de rotación, alrededor de 2 y 3 años.
- ≠ El producto final de los cultivos energéticos puede ser toda la biomasa recolectable, mientras que en los cultivos tradicionales solo una fracción es aprovechable.
- ≠ Los cultivos energéticos pueden estar formados por especies mezcladas, siempre que la combinación de dichas especies contribuya a la optimización en la producción de biomasa.
- ≠ Se pueden cultivar en terrenos que actualmente no ofrecen garantías para cultivos agroalimentarios.
- ≠ Si las plantaciones se ubican cerca de los sitios de aprovechamiento, los residuos como cenizas y otros se pueden utilizar como nutrientes disminuyendo los costos por abonos químicos.

### 19.2 PRODUCCIÓN DE DETONANTES ECOLÓGICOS PARA GASOLINAS VERDES. ETBE Y MTBE.

Las decisiones tomadas en 1985 por la CE relativas, por una parte a la disminución del contenido de plomo de las gasolinas y por otra a la autorización de la incorporación de



componente oxigenados han llevado a pensar en estos productos de la biomasa como una alternativa interesante. La ventaja fundamental de los componentes oxigenados reside en su elevado octanaje, lo que ha permitido a las compañías petroleras compensar el déficit de octano, a través de la introducción de estos compuestos. Los componentes oxigenados para la formulación de gasolinas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Los alcoholes como el metanol, etanol, isopropanol, isobutanol y terbutanol.

Los éteres, como el metil-terbutil-eter (MTBE), el etil-terbutil-eter (ETBE).

### 19.3 EL BIODIESEL

Es un combustible de quemado limpio, renovable, no tóxico, biodegradable, ambientalmente amistoso, utilizado para transportar directamente o mezclado hasta en un 30 % con derivados del diesel o ACPM.

Los aceites mas utilizados en Europa se obtienen de la colza, el girasol pero también se obtiene de la soya, y la palma de malasia. El aceite se procesa mediante tratamiento químico de transesterificación con metanol o etanol para obtener metil o etil éster respectivamente y como subproducto glicerina para la industria farmacéutica.

#### Bibliografía

- [1] Ministerio del Medio Ambiente.
- [2] Waterstone, Marvin, FORUM: Adrift on a sea of platitudes. Why we will no resolve de greenhouse issue ? Environmental Management. 1993.
- [3] Tchobanoglous, G., Gestión integral de residuos sólidos. Mc Graw-Hill Interamericana de España S.A. 1994.
- [4] Pérez Orive, F., Estudio previo de factibilidad sobre aprovechamiento energético de un vertedero controlado de residuos sólidos urbanos(I). Ingeniería Química (Madrid-España). 1991.
- [5] Rodríguez Murcia H., El futuro de la capital- Energía Solar- Misión Bogotá Siglo XXI . Bogotá. 1983.

#### [6]RAFAEL CALDERON URZOLA

Ingeniero de Alimentos  
MSc. Contaminación Ambiental  
Especialidad en Residuos Sólidos  
Universidad Politécnica de Madrid (España) 1995  
Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas INEA



[7] MANUAL DE BIOMASA

Cuadernos de Energía Renovable. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid 1993.

[8] ALFREDO CADENAS, SARA CABEZUDO, PABLO DEL RIO.

Los biocombustibles, una tecnología sustentable .  
Universidad Autónoma de Madrid. 1997

[9] FRANCISCO PEREZ ORIVE

Estudio Previo de Factibilidad sobre aprovechamiento energético de un vertedero controlado de RSU. Ingeniería Química sept.1991. Bogotá.

[10] DAVID F. CALA HEDERICH

Alcohol oxigenante a partir de la biomasa para las gasolinas colombianas.  
Santafé de Bogotá 1996.

[11] CIEMAT Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.

La Biomasa Como Fuente de Energía y Productos para la Agricultura y la Industria.  
Volúmenes I y II. Madrid 1990.

[12] PLAN ENERGETICO NACIONAL 1997 - 2010

Ministerio de Minas y Energía. 1997

[13] YEZID PEREZ ALEMAN

Memorias XIII Conferencia energética Colombiana.  
Santafé de Bogotá 1996

[14] BRAUSTEIN H.M.

Biomass Energy System and the Enviroment.  
New York 1990

[15] ENERLAC 93

Prospectiva Económica y Desarrollo Económico en el siglo XXI: La perspectiva Latinoamericana. 1993

[16] NIDIA ELENA ORTIZ

Abastecimiento Energético a partir de Biomasa.  
FIT. Ingeniería Térmica

[17] NELSON PRIETO FETECUA

Estudio sobre el estado actual de las hornillas usadas en la industria panelera.  
Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas. **INEA**. 1997

[18] DANIEL BURGOS LOPEZ

Diseño de los sistemas de captación y tratamiento de gas y lixiviados de un relleno sanitario para la disposición de residuos sólidos convencionales. Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas. **INEA**. 1997

Memorias/Diplomado en energías alternativas y aplicaciones nucleares/Modulo biomasa/Rafael Calderón Urzola, Alvaro Bermúdez Coronel

333.9539 C146m Ej.1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA  
RECIBIDO

PRESTADO A

FECHA  
DEVUELTO