

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA**

**ENERGIAS NO CONVENCIONALES  
EN AREAS RURALES**

**1982**

333.796

M149e

Ej. 1

(orig. en español / copiado)

3  
004  
1982.

732

ENERGIAS NO CONVENCIONALES EN AREAS RURALES

THOMAS MACH Y JOCHEN KUEHNER

COOPERACION TECNICA ALEMANA  
ESTUDIO NACIONAL DE ENERGIA

BOGOTA, MAYO DE 1982



Capítulo

ENERGIAS NO CONVENCIONALES EN AREAS RURALES

Thomas Mach y Jochen Kuehner  
Cooperación Técnica Alemana  
Estudio Nacional de Energía  
Bogotá, Mayo de 1982

## CONTENIDO

	<u>PAG.</u>
1. INTRODUCCION	1-1
2. EL SISTEMA DEL BALANCE ENERGETICO RURAL COLOMBIANO	2-1
3. CONSUMO DE ENERGIA EN AREAS RURALES	3-1
3.1 INTRODUCCION	3-1
3.2 RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE ENERGIA RURAL DEL ENE	3-5
4. RECURSOS Y SU UTILIZACION	4-1
4.1 INTRODUCCION	4-1
4.2 LA BIOMASA	4-3
4.2.1 INTRODUCCION	4-3
4.2.2 TECNOLOGIAS PARA CONVERTIR BIOMASA EN ENERGIA	4-5
4.2.2.1 COMBUSTION DIRECTA	4-5
4.2.2.2 GASIFICACION	4-7
4.2.2.3 BIOGAS	4-10
4.2.3 LOS RECURSOS DE LA BIOMASA	4-15
4.2.3.1 LA LEÑA	4-15
4.2.3.2 RESIDUOS ANIMALES	4-20
4.2.3.3 RESIDUOS VEGETALES	4-25
4.2.3.4 RESIDUOS DEL CULTIVO DE CAFE	4-28
4.2.3.5 DESPERDICIOS DE INDUSTRIA AGRICOLA	4-30
4.3 ENERGIA HIDRAULICA	4-33
4.3.1 TECNOLOGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO	4-33
4.3.2 RECURSOS	4-37

	<u>PAG.</u>	
4.4	ENERGIA SOLAR	4-39
4.4.1	TECNOLOGIAS	4-40
4.4.2	RECURSOS	4-43
4.5	ENERGIA EOLICA	4-44
4.5.1	TECNOLOGIAS	4-44
4.5.2	RECURSOS	4-47
4.6	RESUMEN DE LA ESTIMACION DE LOS RECURSOS	4-50
5.	POSIBLE SUSTITUCION DE ENERGIAS CONVENCIONALES POR LAS ENERGIAS NUEVAS O RENOVABLES	5-1

Cuadro  
No.

LISTA DE CUADROS

Pag.

2-1	Esquema del Balance Energético Rural en Colombia	2-3
2-2	Descripción de los procesos/tecnologías en el Cuadro 2-1	2-4
2-3	Clasificación de rangos de electricidad según capacidad y fuentes de energía	2-7
3-1	Consumos específicos de la población rural colombiana para diferentes combustibles y estratos	3-4
3-2	Consumo de leña por departamento en el escenario base (sin carbón vegetal)	3-7
3-3	Consumo de carbón mineral	3-8
3-4	Consumo de carbón vegetal y estimación de la leña para la producción del carbón en los departamentos de Cauca y Nariño.	3-8
3-5	Consumo final de energía en la cocina rural de leña, carbón vegetal y carbón mineral	3-9
4-1	Recursos estimados y tecnologías de aprovechamiento	4-2
4-2	Datos de plantas de biogas construídas y planeadas	4-10
4-3	Análisis de costos de plantas de biogas	4-14
4-4	Desperdicios de madera en la industria de transformación	4-18
4-5	Ganado bovino	4-21
4-6	Ganado porcino	4-23
4-7	Resumen del poder calorífico de residuos vegetales	4-27
4-8	Generación de energía por gasificación y plantas de biogas en base a desperdicios de industrias agrícolas	4-31
4-9	Estimación del poder calorífico de la viñaza de una destilería	4-32

Cuadro No.		Pag.
4-10	Potencia y costos/KW de plantas PCH	4-35
4-11	Plan de pequeñas centrales hidroeléctricas, proyectos seleccionados	4-36
4-12	Potencial hidroeléctrico en las regiones del ENE	4-39
4-13	Resumen de residuos animales y vegetales	4-52
4-14	Resumen de los recursos de la biomasa y de la energía hidráulica en términos de producción de energía eléctrica (en Tcal)	4-53
5-1	Reemplazo de diesel por biogas	5-7



## LISTA DE MAPAS

Mapa No.		Pag.
4-1	Ubicación de los recursos forestales en Colombia	4-17
4-2	Duración promedio anual del brillo solar en Colombia	4-45
5-1	Area de cubrimiento de la red eléctrica existente	5-3

## 1. INTRODUCCION

El consumo de energía en áreas rurales en muchos países obtuvo mayor atención por parte de entidades oficiales en los últimos años, debido especialmente a la tan llamada "crisi de leña". En Colombia, la leña tradicionalmente es el combustible principal del campo, al lado de otros combustibles de menor importancia como el carbón vegetal y el carbón mineral. Pero aquí los efectos negativos del uso excesivo del recurso (renovable) de leña, como la erosión y la alteración del equilibrio hidrológico, no parecen provenir, por lo menos en muchas regiones, del uso de la leña como combustible, sino parecen tener sus causas más bien en actividades agrícolas y colonizadoras, y en la producción de madera. Un extenso estudio de este problema podrá dar una respuesta más a fondo.

Mientras que la cantidad usada de energías comerciales es relativamente fácil de determinar por medio del conteo de los récords de ventas, el consumo de energías no comerciales, que son utilizadas primordialmente en áreas rurales, únicamente puede ser analizado mediante observaciones y encuestas. Por otro lado, no es suficiente conocer qué cantidades de energía se haya vendido a los distintos sectores. Para poder trazar planes de sustitución de recursos y tecnologías, es de suma importancia conocer también, cuáles son los usos de energía; en qué equipos actualmente tiene lugar la transformación final de energía y con qué eficiencia.

Dentro del ENE, se ha realizado una encuesta<sup>1)</sup> con el fin

---

1) Cabe también mencionar aquí la encuesta que se está analizando actualmente dentro del estudio "Balance Energético Rural" adelantado por el Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) en la Universidad de los Andes. Se desconocen resultados por el momento.

de determinar la participación del consumo rural en el balance energético nacional. En una extensión de la evaluación de esta encuesta, también se calculó el consumo a nivel departamental y para el caso en referencia, un pronóstico de 1980 hasta el año 2000 (véase capítulo 3). Cabe mencionar aquí que los resultados de dicha encuesta abarcan primordialmente el uso de energías no comerciales en las cocinas rurales y solo cubren de manera incompleta las energías comerciales y el consumo de energía en la pequeña industria rural debido a limitaciones de tiempo y a fondos escasos. En el futuro, se tendrán que encuestar extensamente dichos usos y consumos de energía.

En cuanto a los recursos energéticos, a Colombia se conoce como un país rico en fuentes de energía. Especialmente los recursos renovables, como la energía solar, la energía hidráulica y la energía producida de la biomasa (con excepción de la leña), parecen estar subutilizadas actualmente, en favor de los combustibles convencionales.

Para áreas rurales, a primera vista se ofrecen soluciones de un suministro descentralizado a pequeña escala, mediante tecnologías, que utilizan energías renovables -especialmente en regiones apartadas que no tienen y no tendrán un enlace con la red interconectada de electricidad. Sin embargo, se debe estudiar la aplicabilidad de estas tecnologías muy cuidadosamente respecto al recurso disponible, a la demanda local y al eventual transporte o transmisión de energía.<sup>1/</sup>

---

1) Una Misión Técnica Italiana investiga actualmente esta aplicabilidad en la ciudad de Leticia (Amazonas) y en los Territorios Nacionales.

Por ejemplo, una celda solar o una microcentral hidroeléctrica funcionarán únicamente en un sitio con suficiente radiación solar o con un caudal y una caída apropiados para la demanda actual y futura. En el caso de la microcentral, la parte electromecánica y, más todavía, las obras civiles deben ser diseñadas y efectuadas exactamente según los recursos, las condiciones topográficas y geológicas en el sitio.

El centro del consumo de energía se debe encontrar en un lugar cercano a la generación a pequeña escala ya que las potencias relativamente pequeñas permiten sólo un transporte de energía a distancias cortas, debido a obvias razones económicas y técnicas. Otro problema es la disponibilidad intermitente o estacional del recurso, que implica un almacenamiento de energía, que puede elevar considerablemente los costos del sistema.

En síntesis de lo expuesto en cuanto a los recursos renovables para un aprovechamiento a pequeña escala resulta, que los recursos aprovechables técnica y económicamente, serán mucho menores a nivel local, que los recursos aprovechables calculados a nivel nacional (véase Capítulo 4). Sin embargo, en áreas apartadas las nuevas fuentes pueden ser la única posibilidad de suministro energético.

Para tener una mejor visión general del sistema del balance energético rural colombiano, en el siguiente capítulo (2) se presenta un diagrama que muestra los recursos, los procesos de transformación y de la demanda final, y, por medio de una red

de líneas, los flujos de materias energéticas entre esos procesos. En el diagrama también fácilmente se pueden identificar posibles sustituciones de recursos y tecnologías.

En el último capítulo (5) se discuten unos ejemplos de sustitución, ya que, como se ha expuesto, el aprovechamiento de recursos (renovables) a pequeña escala, depende de las condiciones locales y regionales y no es posible un análisis global a nivel nacional. El análisis de sustitución de energía en el campo abarca, además, una gran gama de problemas, que van más allá de las metas del presente estudio, como, por ejemplo, el comportamiento socio-cultural de la gente en el campo en cuanto al consumo de energía y la aceptación de nuevas tecnologías como el biogas.

En cuanto a tecnologías de aprovechamiento de energías renovables o no convencionales, se han elaborado varios estudios en el país que ponen especial énfasis en el estado actual de las investigaciones y el desarrollo de dichas fuentes de energía.<sup>1/</sup> Cabe mencionar aquí el alto grado de desarrollo de ciertas tecnologías en Colombia, como colectores solares, microcentrales, molinos de viento y plantas de biogas, desarrolladas y producidas por personas particulares o entidades como, por ejemplo, el centro "Las Gaviotas".

Dada la extensión con que se han analizado ya las tecnologías y su desarrollo en el país, este tópico se tratará sólo en forma breve dentro del estudio.

---

<sup>1/</sup> P.ej.:ICEL, Grupo Fuentes Alternas de Energía: Estado Actual de las Investigaciones sobre fuentes no convencionales de Energía en Colombia, Bogotá, Abril, 1980.

H. Rodríguez (para Colciencias): Estado Actual de la Investigación y el Desarrollo de las Fuentes de Energía Nuevas y Renovables en Colombia, Noviembre, 1981.

## 2. EL SISTEMA DEL BALANCE ENERGETICO RURAL COLOMBIANO

Dada la baja disponibilidad de información sobre el sector energético rural colombiano, por el momento no es posible hacer un balance de energía para este sector en términos cuantitativos. Por otra parte, se conocen en forma general y suficientemente detallada los distintos recursos, combustibles, tecnologías de conversión y de uso final para diseñar el sistema del balance.

Por lo tanto, en el Cuadro 2-1 se muestra un diagrama que representa los recursos, los procesos de transformación y de la demanda final, y, por medio de una red de líneas, los flujos de materias energéticas entre esos procesos más probables según la situación colombiana. Cada rectángulo pequeño representa una tecnología de transformación, o bien sea de energía primaria a la secundaria, o de la secundaria a la energía útil en la demanda final. Esas tecnologías o procesos están listados a continuación<sup>1/</sup> con sus respectivos números que aparecen en la matriz. Los cruces de las líneas caracterizados con nodos representan conexiones en la red de los flujos. En el lado de la demanda se distinguen hogares, fincas y/o comunidades. En el caso de las últimas, se puede tratar de pueblos, cooperativas, etc. En el lado de las tecnologías, se incluyeron también algunas menos relevantes en cuanto a su economía o adaptabilidad en Colombia. En términos generales, se trató de tener en cuenta de la manera más completa todos los recursos y tecnologías: los existentes y los nuevos renovables, aunque algunos flujos no se siguieron hasta el uso final, y no se incluyeron algunos usos finales, como p.ej. el transporte rural, dadas las limitaciones propuestas para el pre-

---

<sup>1/</sup> Cuadro 2-2.

sente estudio. Para la electricidad, se definieron rangos de potencia, de acuerdo con capacidades máximas, cuyo valor es determinado por razones económicas o técnicas relacionadas con los distintos recursos y/o dispositivos (Cuadro 2-3).

En la matriz claramente se pueden identificar posibles sustituciones de procesos en la demanda final, y también en los recursos y la transformación, siendo los procesos sustituíbles potencialmente, los que se encuentran en las líneas verticales.

Por ejemplo, para la cocina rural existen las siguientes alternativas:

- Proceso No. 13 y 19: Estufas eléctricas
- 36: Estufa para Biogas
- 40: Estufa para Leña
- 43: Estufa para Carbón de Leña
- 45: Estufa para Cocinol
- 46: Estufa para Gasolina
- 47: Estufa para Carbón Mineral
- 48: Estufa para GLP
- 49: Estufa para Briquetas de Carbón
- 53: Estufa para Kerosene

Conociendo los costos y las eficiencias de cada proceso, se puede usar el esquema presentado como base para un modelo de optimización de la oferta de energía, dados unos escenarios para la demanda (futura). Ciertamente, este modelo no podría aplicarse a nivel nacional, sino a nivel de regiones o áreas homogéneas en cuanto a los recursos y a la demanda de energía. La matriz debería adaptarse entonces a la situación de cada región o área local.

## CUADRO 2-2

## DESCRIPCION DE LOS PROCESOS/TECNOLOGIAS EN EL CUADRO 2-1

No.	Proceso/Tecnología	Input	Output/Usó Final
1	Colector solar plano	Energía solar	Agua caliente
2	Destilador solar	"	Agua destilada/purificada
3	Secador solar de granos	"	Secado de granos
4	Refrigeración solar por absorpción	"	Refrigeración agro-ind.
5	Conversión fotovoltaica celdas solares	"	Electricidad < 1 KW
6		Electricidad < 1 KW	Iluminación
7		"	Bombeo de agua/riego
8		"	Electrodomésticos (B)
9	Turbina eólica	Energía eólica	Bombeo de agua
10	Turbina eólica + Generador eléctrico	"	Electricidad < 1 KW
11	Microcentral < 10 KW	Energía hidráulica	Electricidad Dec. < 10 KW
12	Microcentral > 10 KW	"	Electricidad Dec. > 10 KW
13		Electricidad Dec. < 10 KW	Cocción
14		"	Iluminación
15		"	Agua caliente
16		"	Electrodomésticos (A)
17		"	Electrodomésticos (B)
18		"	Bombeo de agua/riego
19		Electricidad Dec. > 10 KW y Central.	Cocción
20		"	Iluminación
21		"	Agua caliente
22		"	Electrodomésticos (A)
23		"	Electrodomésticos (B)



CUADRO 2-2 cont.

No.	Proceso/Tecnología	Input	Output/Usó Final
24		Electricidad Dec. > 10 KW y Central.	Bombeo de agua/riego
25		"	Refrigeración agro-ind.
26		"	Fincas y/o comunidades
27	Motor diesel/generador	Diesel	Electricidad Dec. < 10 KW
28	Motor gasolina/generador	Gasolina	Electricidad Dec. < 10 KW
29	Motor diesel/generador	Diesel	Electricidad Dec. > 10 KW
30	Leñotérmica/gasificación	Leña	Electricidad Dec. > 10 KW
31	Gasificación carbón vegetal	Carbón vegetal	Electricidad Dec. > 10 KW
32	Balsas generadoras	Energía hidráulica	Electricidad Dec. > 10 KW
33	Turbina hidráulica	Energía hidráulica	Bombeo de agua
34	"	"	Fincas y comunidades
35	Digestor anaeróbico	Residuos animales y vegetales	Biogas
36		Biogas	Cocción
37		Biogas	Iluminación
38		Biogas	Secado de granos
39	Producción de etanol	Caña de azúcar, yuca	Etanol/ transporte
40	Estufa de leña	Leña	Cocción
41	Gasificador + motor	Leña	Fincas y/o comunidades (fuerza motriz)
42	Carbonera	Leña/Vegetales	Carbón de leña/vegetal
43	Estufa de carbón de leña	Carbón vegetal/leña	Cocción
44	Gasificador + motor	Carbón vegetal/leña	Fincas y/o comunidades (fuerza motriz)

## CUADRO 2-2 cont.

No.	Proceso/Tecnología	Input	Output/Usó Final
45	Estufa de cocinol	Cocinol	Cocción
46	Estufa de gasolina	Gasolina	Cocción
47	Estufa de carbón mineral	Carbón mineral	Cocción
48	Estufa LPG	LPG	Cocción
49	Estufa briquetas de carbón	Briquetas de carbón	Cocción
50	Lámparas kerosene	Kerosene	Iluminación
51	Motor diesel	Diesel	Fincas y/o comunidades
52	Motor gasolina	Gasolina	Fincas y/o comunidades
53	Estufa de kerosene	Kerosene	Cocción (fuerza motriz)

Electrodomésticos alta potencia (a) : plancha, máquina de lavar, máquina de secar, etc..

Electrodomésticos baja potencia (b) : radio, televisión, nevera, licuadora, etc..

## Leyenda:

Dec. .... descentralizada

Centrāl... centralizada

## CUADRO 2 - 3

CLASIFICACION DE RANGOS DE ELECTRICIDAD SEGUN CAPACIDAD  
Y FUENTE DE ENERGIA

## 1. ELECTRICIDAD &lt; 1 KW

En este rango se considera la electricidad generada por celdas solares y por molinos de viento en conexión con un generador pequeño (normalmente un generador de automóvil). La potencia generada por estos equipos es de menos de 1 KW, teniendo como limitantes los altos precios de las celdas solares y las bajas velocidades de viento en Colombia.

## 2. ELECTRICIDAD DESCENTRALIZADA MENOR DE 10 KW

En este rango la electricidad se puede generar por las siguientes fuentes y tecnologías:

- a) Microcentrales hidroeléctricas
- b) Plantas Diesel (incl. combinaciones con biogas)
- c) Plantas de Gasolina.

## 3. ELECTRICIDAD DESCENTRALIZADA DE MAS DE 10 KW

En este rango se tienen en cuenta las siguientes fuentes y tecnologías:

- a) Micro- y Minicentrales hidroeléctricas
- b) Plantas Diesel (incl. combinaciones con biogas)
- c) Gasificadores de leña o carbón vegetal.

## 4. ELECTRICIDAD CENTRAL

Se trata de la conexión del consumidor rural a la red central, que normalmente no tiene limitantes en cuanto a la demanda por electricidad en áreas rurales.

### 3. CONSUMO DE ENERGIA EN AREAS RURALES

#### 3.1 INTRODUCCION

En Colombia poco se han investigado los usos de energía y el consumo en el campo, aunque ocupa un lugar importante en el balance nacional en términos de energía primaria. Solo últimamente, se han realizado encuestas, dentro del ENE y por el CEDE (Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico de la Universidad de los Andes) (véase arriba).

La encuesta del ENE, fue realizada primordialmente con el fin de analizar la participación del sector energético rural en el balance de energía a nivel nacional. Cabe mencionar aquí que esta encuesta se ha realizado bajo fuertes limitaciones de tiempo y de fondos disponibles; por consiguiente, los resultados abarcan únicamente una parte de los usos y consumos de energía en el medio rural, que sin embargo cubre los más importantes como son la leña, el carbón mineral y el carbón vegetal en la cocina rural. En cuanto a los combustibles, tales como la gasolina, el kerosene y la electricidad, se realizó el encuestamiento, pero no era posible expandir las encuestas con justificación estadística.

Para otros subsectores rurales como en el caso de la pequeña industria rural, no se ha podido realizar un encuestamiento sistemático y representativo dentro del tiempo disponible, quedando esa area para ser tratada en el futuro. Esto también se aplica a la electricidad, cuyos usos y consumos deben ser analizados mediante una extensa encuesta especial.

En cuanto a la encuesta del CEDE, ese estudio podría aclarar algunas de las áreas mencionadas, dada la magnitud de la encuesta y el gran detalle de las hojas de encuestamiento. Por ahora, se desconocen resultados.

La encuesta del ENE cubrió únicamente el área rural y pequeña urbana, correspondiendo las veredas a la primera y los pueblos a la segunda. Se excluyeron las siguientes grandes ciudades : Armenia, Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga, Cali, Cartagena, Ibagué, Manizales, Medellín, Pereira, y Santa Marta. En Cúcuta también se realizó una encuesta, registrándose solo combustibles comerciales.

Se han realizado tres tipos de encuestas :

- encuestas de mercado
- encuestas del consumo específico
- encuestas en la pequeña industria rural

Como ya se mencionó, en el caso del tercer tipo de encuestas, no se ha podido realizar una investigación sistemática y representativa.

Las "encuestas de mercado" tenían el objetivo de determinar el número de consumidores de cada combustible utilizado en la cocina rural. La plaza de los pueblos o de los municipios colombianos normalmente se convierte un cierto día de la semana en un punto de atracción para todo el municipio, incluyendo una muestra representativa de las veredas vecinas. Para la encuesta del ENE se aprovechó esta costumbre

y se realizaron 24.861 encuestas en mercados distribuidos por todo el país (con excepción de la Costa, donde CORELCA suministró los datos). El procedimiento de encuestas en los mercados resultó ser muy eficiente y especialmente útil en este caso de pocos recursos financieros.

Para fines de encuestamiento, se definieron grupos de consumidores, que consumen un combustible específico o una combinación de varios combustibles, distinguiendo entre:

- el primer combustible, es decir, el combustible con que se cocina principalmente
- el segundo combustible, con que se cocina sólo una vez al día, y
- el combustible con que se cocina exclusivamente (combustible único).

Es importante mencionar aquí los supuestos de la metodología aplicada:

- (1) las proporciones de población que consumen un combustible específico dentro de un grupo corresponden al año de la encuesta (1980). Pero estos factores se tomaron constantes para toda la serie 1970-2000.
- (2) Se toma constante el consumo específico de combustibles.
- (3) Se toma constante cada agrupamiento establecido de la población para esa década.

Para determinar el consumo de combustible en cada grupo, se realizó la encuesta del consumo específico, es decir, la encuesta del segundo tipo mencionado arriba. Luego del análisis de los resultados de esa encuesta y de la comprobación estadística, se llega a los consumos específicos señalados en el Cuadro 3-1. Aparte del consumo en Kg por habitante-día, también se observa el número de comidas por día en cada estrato.

Multiplicando el consumo específico con el número de consumidores del grupo correspondiente, se obtienen los consu-

## CUADRO 3-1

CONSUMOS ESPECIFICOS DE LA POBLACION RURAL COLOMBIANA  
PARA DIFERENTES COMBUSTIBLES Y ESTRATOS

	Comidas por día	kg/hab. día
Leña Vereda como Primer Combustible	2.79	2.42
Leña Vereda + Pueblo como Segundo Combustible	1.00	1.41
Leña Pueblo como Primer Combustible	2.56	2.31
Carbón Mineral como Primer Combustible	2.46	1.94
Carbón Mineral como Segundo Combustible	1.00	0.99
Carbón Vegetal como Primer Combustible	2.76	0.84
Carbón Vegetal como Segundo Combustible	1.00	0.43
Kerosene	3	0.085 (1)
Gasolina	3	0.056 (1)

Fuente: Cuadro No. II.13 - ENE : "Energías no Comerciales"

(1) en gal/hab.-día

mos de combustibles por grupo , que a su vez sumados dan el consumo para todo el país.

De esta manera se obtuvo un escenario base o caso de referencia y, con el programa de computador desarrollado para tal fin, es fácil investigar otros escenarios, por ej. variando los consumos específicos; también se puede investigar la influencia de diferentes desarrollos demográficos.

### 3.2 RESULTADOS DE LA ENCUESTA DEL ENE

A continuación -en los cuadros 3-2, 3-3 y 3-4- se presenta el consumo de leña, carbón mineral y carbón vegetal en las cocinas rurales, uso predominante de energía en el campo colombiano. En el Cuadro 3-2 se indica, para los años 1970, 1980, 1990 y 2000, el consumo de leña en miles de toneladas, la participación de cada departamento, y la variación del consumo en cada década dentro del período en consideración. Cabe destacar, que se trata del caso de referencia, en el cual se asume la constancia del número de consumidores de un combustible dentro de la población total de un agrupamiento, la constancia de consumos específicos y la constancia del agrupamiento en estratos definidos en la evaluación de la encuesta para el año 1980. Los consumos aparecen en términos absolutos, lo que significa, que departamentos con una población rural alta, también tienen el número de consumidores alto, como por ejemplo Antioquia. Las series de población<sup>1)</sup> consideran movimientos migratorios, y, por con-

---

1) Con base en datos del DNP



siguiente, el número de consumidores y el consumo en algunos departamentos puede disminuir (Quindío, Risaralda) o aumentar en el transcurso del tiempo. Por razones de estratificación de los consumidores, sin embargo, no existe una dependencia lineal entre el consumo y la población (departamental).

En el Cuadro 3-5, la suma del consumo de leña, carbón mineral y carbón vegetal - el resultado de la encuesta del ENE - se compara con el consumo total de energía final del caso de referencia del balance del ENE que incluye todos los sectores de consumo a nivel nacional. Se aprecia, que en términos de energía primaria, en el año 1979 la participación de la cocina rural fue del 24.2%, valor que destaca la importancia de este subsector. <sup>1)</sup>

En cuanto a energías comerciales, se realizó el encuestamiento pero no fue posible la expansión de las encuestas por razones de justificación estadística.

Para la electricidad, el ICEL y otras entidades como el ESEE han realizado estudios y proyecciones del consumo de energía eléctrica en el sector residencial, que, sin embargo, se basan en suposiciones y estimativos no encuestados, especialmente en cuanto a distintos usos finales de la electricidad y a la magnitud correspondiente del consumo de la energía en distintas regiones. Por consiguiente, urge realizar una encuesta que analice el consumo de energía eléctrica por usos en el sector residencial rural y urbano.

---

1) Debe notarse que este porcentaje es mucho menor en términos de energía útil o debido a la poca eficiencia del uso de leña en cocción.

CONSUMO DE LEÑA POR DEPARTAMENTO EN EL ESCENARIO BASE  
(Sin carbón vegetal)

	1970		1980		1990		2000		Variación	Variación	Variación
	M ton	%	M ton	%	M ton	%	M ton	%	80/70 (%)	90/80 (%)	2000/90(%)
Antioquia	1008	12.8	1066	12.6	1247	13.3	1400	13.9	5.8	16.9	12.3
Atlántico	109	1.4	128	1.5	171	1.8	214	2.1	17.4	33.5	25.1
Bogotá	35	.4	8	.09	4	.04	2.6	.02	-337	-100	- 53.8
Bolívar	303	3.9	345	4.1	401	4.3	448	4.4	13.9	16.2	11.7
Cauca	624	7.9	647	7.6	687	7.3	702	6.9	3.7	6.1	2.2
Caldas	279	3.6	285	3.3	289	3.1	290	2.8	2.2	1.4	.3
Cundinamarca	529	6.7	598	7.1	641	6.8	645	6.4	13.0	7.1	.6
Esmeraldas	181	2.4	225	2.7	287	3.0	334	3.4	24.3	25.3	18.4
Guaviare	370	4.7	416	4.9	463	4.9	498	4.9	12.4	11.3	7.5
Magdalena	629	8.0	648	7.6	704	7.5	731	7.2	3.0	8.6	3.8
Meta	123	1.6	138	1.6	161	1.7	185	1.8	12.2	16.6	14.9
Quindío	103	1.3	127	1.5	163	1.7	204	2.1	23.3	28.3	25.1
Risaralda	305	3.8	326	3.9	330	3.5	328	3.2	6.8	1.2	- .6
Santander	263	3.4	267	3.2	265	2.8	253	2.5	1.5	- .75	- 4.7
Socorro	111	1.4	140	1.7	175	1.8	211	2.1	26.1	25.	20.5
Tolima	495	6.3	547	6.5	602	6.4	649	6.4	10.5	10.	7.8
Valle del Cauca	188	2.4	213	2.5	265	2.8	316	3.1	13.3	24.4	19.3
Veraguas	79	1.0	73	.9	62	.6	47	.5	- 8.2	- 17.7	- 31.9
Zarzal	148	1.8	145	1.7	141	1.5	135	1.3	- 2.0	- 2.8	- 4.4
Antioquia	545	6.9	566	6.7	578	6.2	585	5.8	3.8	2.1	1.2
Boyacá	166	2.1	177	2.1	185	1.9	191	1.9	6.6	4.5	3.3
Cundinamarca	517	6.6	550	6.5	571	6.1	565	5.6	6.4	3.8	- 1.1
Quindío	456	5.8	467	5.5	461	4.9	423	4.2	2.4	1.3	- 8.9
Veraguas	280	3.6	363	4.3	521	5.5	746	7.4	29.6	43.5	43.1
<b>total</b>	<b>7846</b>	<b>100</b>	<b>8465</b>	<b>100</b>	<b>9369</b>	<b>100</b>	<b>10102</b>	<b>100</b>			

Mton = miles de toneladas

CUADRO 3 - 3

CONSUMO DE CARBON MINERAL  
(en miles de toneladas)

Departamento	1970	1980	1985	1990	2000
Antioquia	19,19	21,12	21,84	22,45	23,06
Boyacá	87,74	99,23	104,59	109,89	115,62
Cundinamarca	93,04	104,37	109,83	115,09	120,5
Nte. Santander	27,01	28,19	30,59	32,81	36,36
Total	226,98	252,91	266,85	280,24	295,53

CUADRO 3 - 4

CONSUMO DE CARBON VEGETAL Y ESTIMACION DE LA LEÑA PARA LA  
PRODUCCION DEL CARBON EN LOS DEPARTAMENTOS CAUCA Y NARIÑO  
(en miles de toneladas)

	<u>Carbón Vegetal</u>	<u>Leña</u>
1970	63,73	287,6
1980	83,74	378,0
1985	91,06	411,1
1990	100,42	453,3
1995	108,94	491,7
2000	116,25	524,7

Fuente: Cálculos propios y Estudio de Energías no Comerciales (hasta 1980)

Factor de conversión (eficiencia calórica) leña-carbón vegetal: 0.4. Poder calorífico del carbón vegetal: 6.5. Tcal/10<sup>3</sup> ton. poder calorífico de la leña: 3.6 Tcal/10<sup>3</sup> ton.

## CUADRO 3-5

CONSUMO FINAL DE ENERGIA EN LA COCINA RURAL DE  
LEÑA, CARBON VEGETAL Y CARBON MINERAL.  
CASO DE REFERENCIA

(Miles de TEP)

	1970	1979	1990	2000
Leña y carbón vegetal	2928	3158	3535	3825
Carbón mineral	147	163	182	192
Total consumo cocina	3075	3321	3717	4017
Consumo en todos los sectores	10074	13711	20720	31957
% Consumo cocina rural	30.5	24.2	17.9	12.6

#### 4. RECURSOS Y SU UTILIZACION

##### 4.1. INTRODUCCION

En el presente capítulo se investiga el potencial de los recursos en cuanto a su posible utilización con tecnologías que aprovechan fuentes de energías renovables, como la biomasa, la energía hidráulica, la energía solar y la energía eólica. Especial énfasis se ha puesto en el estimativo del potencial de la biomasa en las formas leña, residuos animales y residuos vegetales para cuantificar las posibilidades energéticas de este recurso hasta ahora no analizadas en el país en forma integral. Para la biomasa, no era posible una proyección de disponibilidad, ya que por un lado no se conocen hasta el momento pronósticos oficiales del sector agropecuario, y, por el otro lado, todos los estimativos de este estudio están caracterizados por una incertidumbre bastante alta, debido a estadísticas deficientes o desactualizadas. Dada esta situación, no tendría justificación una proyección al futuro de este recurso.

El siguiente cuadro (4-1) da una visión general de los recursos que se discuten en este capítulo, con las respectivas tecnologías, que aprovechan el recurso. Algunos recursos se estimaron no solamente en términos del poder calorífico de la materia prima, sino en energía final, o sea, en términos del rendimiento de las tecnologías indicadas; esto es válido especialmente en el caso de la biomasa.

El presente capítulo está organizado de tal manera que primero se discuten brevemente las tecnologías (incluyendo un análisis de costos) y luego se realiza el estimativo del potencial de los recursos aprovechables con estas tecnologías.

## CUADRO 4-1

## RECURSOS ESTIMADOS Y TECNOLOGIAS DE APROVECHAMIENTO

<u>Recurso</u>	<u>Tecnologías</u>
Biomasa	
- Leña	Combustión directa, Gasificación
- Ganado bovino	Biogas
- Ganado porcino	Biogas
- Residuos vegetales	Combustión directa, (Biogas), Gasificación
- Pulpa del café	Biogas
- Desperdicios de Industrias agrícolas	Biogas(Gasificación y Combustión direc
Energía hidráulica	Generación de Electricidad
Energía solar	Calentadores solares con Colectores planos Celdas fotovoltaicas Secadores solares de granos
Energía eólica	Molinos de viento para Bombeo de Agua Molinos de viento para Generación de Electricidad

## 4.2. LA BIOMASA

### 4.2.1. INTRODUCCION

Para la estimación del potencial de un recurso energético es indispensable definir previamente, con qué tecnologías se utilizará el recurso. En el caso de la biomasa, se ofrece la producción del biogas, del "gas pobre" (producto de la gasificación de biomasa) y la combustión directa, especialmente con miras a la sustitución de combustibles en motores de combustión externa por combustión directa, y en motores de combustión interna por biogas y gasificación de biomasa. Por lo tanto, se discuten a continuación los siguientes potenciales de recursos indicados en el Cuadro 4-1'

En la estimación del potencial de los recursos energéticos en base a residuos vegetales y animales en el campo, se presta implícitamente atención a los siguientes pará-

- 1) disponibilidad y características de los recursos en términos de cantidad de residuos generados, competición con otros usos (como alimentos animales), necesidades tecnológicas, tiempo de disponibilidad durante el año, y su accesibilidad;
- 2) características físicas, como tamaño, peso, densidad y poder calorífico;
- 3) aspectos de recolección, como flexibilidad de manipulación; y
- 4) factibilidad de todo el sistema, como la eficiencia de conversión, el potencial para la realización del sistema, la necesidad de ciertos tipos de energía, y la demanda actual.

Además, en la realización de proyectos se necesita considerar los factores socio-económicos que determinan actualmente el potencial de la aceptabilidad y la ejecución de proyectos.

Preliminarmente, también será tratado el potencial energético de residuos en la industria agrícola.

A continuación, sigue una descripción breve de las tecnologías, con un análisis de costos y luego se estima el potencial en términos de energía aprovechable,



#### 4.2.2. TECNOLOGIAS PARA CONVERTIR BIOMASA EN ENERGIA

##### 4.2.2.1. COMBUSTION DIRECTA

La combustión directa de la leña o de otra biomasa en la estufa de la cocina rural es la conversión de energía más antigua. Pero también hay otras aplicaciones de la combustión directa; por ejemplo, en leñotérmicas, donde el vapor generado por la combustión directa propulsa una turbina acoplada a un generador de electricidad.

En distintas partes del mundo se han desarrollado varios diseños de estufas eficientes de leña con el objeto de reducir el consumo mediante una combustión más efectiva. Pero la estufa y su operación, más que cualquier otro tipo de tecnología de uso final de energía, son casi irremediabilmente fijadas en el ambiente socio-cultural. Las costumbres y el tipo de la cocina tienen que ser tomados en cuenta. Por ejemplo, en Colombia el consumo no depende solamente del tipo de fogón sino de hábitos de comida y del distinto nivel de ingresos. El campesino de Antioquia prepara comidas más elaboradas que el de la Costa, donde el patrón de alimentación es muy sencillo con la consiguiente repercusión en el patrón de consumo.

En Colombia, distintas estufas son utilizadas para la leña (y el carbón), habiéndose catalogado tres tipos<sup>1/</sup>:

- (a) estufa cerrada, particularmente en las zonas altas de Cundinamarca y Boyacá;
- (b) estufa semi-abierta en zonas del Valle y Viejo Caldas;

---

<sup>1/</sup> Según la encuesta de energías no comerciales realizada en el ENE.

(c) estufa abierta en las zonas bajas.

Según lo dicho anteriormente, la eficiencia de las estufas debe estar entre 6 % (c) y 10 % (a). Dentro del ENE se utiliza una conversión media del 8 %.

La sección de infraestructura del ICA divulga planos de una estufa mejorada para carbón y leña, con explicaciones para la autoconstrucción (cuadro 4-2).

En términos de aplicaciones generales de un amplio rango de combustión directa cabe anotar que, por ej., la empresa Dynaterm en Bogotá construyó una planta de combustión directa en una plantación de flores. El vapor generado se utiliza para la esterilización del suelo. Aunque el combustible es carbón en este momento, según el constructor también se pueden utilizar desechos vegetales y se estaban realizando pruebas con tallos de flores.

## 4.2.2.2. GASIFICACION

Hay mucho interés en la gasificación y la pirolisis <sup>1/</sup> de sustancias como residuos agropecuarios y forestales, con el fin de producir combustibles para varios usos, como secado de granos o conversión a fuerza motriz. Hoy en día, existen plantas de gasificación de varios tamaños y están disponibles en el mercado (por ej.: Imbert, Alemania y NGC, Estados Unidos).

La mayoría está construída para materias primas específicas, como carbón vegetal y leña dura o leña blanda. La calidad de la biomasa como materia prima está determinada por el contenido de sustancias orgánicas, carbón y humedad asímismo por la forma geométrica.

Principalmente, hay 3 tipos de gasificación que se requieren para materias primas con distintas características químicas

- 1) gasificación ascendiente, o en la que el medio de gasificación (aire o agua o vapor) y la materia prima son llevados en flujo encontrado;
- 2) gasificación descendiente en la que el medio de gasificación y la materia prima son llevados en flujo unidireccional;
- 3) gasificación en lecho fluido

---

<sup>1/</sup> La pirolisis produce una serie de productos, como carbón vegetal, aceite y gases no condensibles. En el proceso de gasificación se genera solamente un gas, que se llama gas pobre, debido al valor calorífico bajo de un rango de 1,100 - 1,300 Kcal/m<sup>3</sup>.

Aquí se considera solamente la gasificación descendiente en plantas estacionarias, porque es especialmente apropiada para la gasificación de biomasa con un alto contenido de sustancias asfálticas, como leña y algunos residuos agrícolas. Se planean aplicaciones de gasificación tanto a escala pequeña, por ej., en el abastecimiento de gas a motores diesel o gasolina para riego descentralizado, como a escala grande, por ej., en conexión con plantas industriales agrícolas.

No hay datos confiables de las tecnologías pequeñas y de sus costos. Sin embargo, el Profesor P. Rogers, Harvard University (comunicación personal, Enero 1982) está preparando una lista al respecto. En base a primeras estimaciones, él calcula la economía de diferentes sistemas y deduce las siguientes conclusiones para el caso de la India:

- 1) Aunque el uso del carbón en base a leña es algo más costoso que el uso de leña en la opinión de expertos, se prefiere el carbón vegetal para la gasificación.
- 2) Se recomienda un procesamiento de residuos agrícolas a carbón vegetal anteriormente a la gasificación.
- 3) Hay la posibilidad de "self-energized irrigation", cuando el crecimiento del rendimiento, por ejemplo de arroz sin riego a aquél con riego, es suficiente, para lo que los residuos adicionales pueden proveer la materia prima necesaria para producir el gas ( a través de gasificación) para operar las bombas de riego.

En el caso de gasificación a escala grande, no se habla, en general, del uso del gas en motores de diesel y gasolina, como un combustible complementario, sino de una combinación de gasificación con motores especiales de gas. Como ejemplo, se discute un proyecto reciente de la fábrica de Imbert, Alemania. En base a la experiencia de más de 50 años se ha construido un sistema completo de generación eléctrica para un aserradero en la selva de Guyana, donde la materia prima consiste de residuos forestales. Desde noviembre de 1980 se han operado 2 plantas piloto móviles (145 KVA y 75 KVA) (en base a un contrato de aprox. 318 mil marcos alemanes c.i.f. Georgetown), con utilizaciones de 2,800 horas y 3,550 horas, respectivamente <sup>1/</sup>, y en este momento se está instalando una planta de 4.7 MW, consistiendo de 5 unidades, en base a un precio de contrato de aprox. 13.5 millones de marcos alemanes. Las plantas piloto proveen la electricidad necesaria durante el período de construcción del aserradero, del municipio y de las plantas mayores de generación eléctrica.

La materia prima consiste de residuos forestales y de un aserradero, que están siendo preparados como astillas de un tamaño promedio de menos de 10 x 6 x 15 cm. Para evitar problemas de operación se necesitan astillas limpias (sin arena) y de un bajo contenido de humedad de 20 - 25 % del peso. La arena en la planta de gasificación forma vidrio que causa temperaturas excesivas y otros problemas y la humedad excesiva disminuye el rendimiento y causa problemas de corrosión. En general, se necesitan aproximadamente 1.25 kg de materia seca <sup>2/</sup> para la generación eléctrica de 1 KWh.

---

<sup>1/</sup> Comunicación personal (Febrero de 1982) con el Señor D. Menichini, Delegado de la Commission European Communities in the Co-Operative Republic of Guyana.

<sup>2/</sup> Con un contenido de humedad del 20%

## 4.2.2.3 BIOGAS

La tecnología de producción del gas metano a partir de biomasa mediante procesos anaeróbicos es conocida en Colombia. Hay varios productores de plantas de biogas en el país, y por consiguiente, fue posible tomar datos de costos directamente de ellos, obteniéndose así resultados de gran fidelidad. A continuación, se realiza un análisis de costos de plantas de biogas, poniendo el énfasis en distintos escenarios en cuanto a suposiciones tecnológicas y al manejo de las plantas.

En el Cuadro 4-2 se aprecian datos de plantas construidas y planeadas:

CUADRO 4 - 3

## DATOS DE PLANTAS CONSTRUIDAS Y PLANEADAS

Planta No.	Volumen del digestor m <sup>3</sup>	Volumen del gas/día m <sup>3</sup>	Número de reses	Costos \$ (abr./82)	Costo específico \$/vol.digestor
1	23	11.5	17	200.000	8.695
2	40	20	37	280.000	7.000
3	60	30	65	420.000	7.000
4	115	60	1.200 cerdos	860.000 *	7.478
5	150	75	74	1.150.000	7.666

\* Incluye costos de una bomba para cargar la biomasa

Fuente: Discusiones con el señor Arturo Martínez Restrepo, constructor de plantas de biogas (firma ARMAR)

La planta más pequeña de 23 m<sup>3</sup>, por economías de escala, claramente tiene el más alto costo por metro cúbico de digestor. En las plantas mayores (Nos. 4 y 5) este costo aumenta ligeramente debido a algunas adiciones, como calefacción forzada, agitación

interna de la biomasa y almacenamiento externo del gas.

La calefacción en climas fríos se realiza por medio de calentadores solares, o utilizando parte del mismo gas. La agitación es indispensable en las plantas mayores de 100 m<sup>3</sup>. El gas se almacena externamente en tanques flotantes en agua o gasógenos, construídos en situ.

La consideración del costo de introducción de la boñiga en la planta y la remoción del efluente no se justifica en caso de que este trabajo se tuviese que hacer también sin la planta de biogas, por ej. en caso de limpieza del sitio del ordeño, compostamiento etc. Por tanto, se calculan los costos de operación con y sin esta mano de obra.

Para el beneficio del efluente como abono, se asumieron tres escenarios :

- (a) \$ 1.0/kg (beneficio "simbólico" por el abono de la finca propia)
- (b) \$ 2.5/kg (precio de la gallinaza)
- (c) \$ 4.5/kg (precio de la conejaza).

Según un constructor de plantas de biogas, el efluente de la planta de biogas alcanza el contenido de nitrógeno equivalente a la conejaza, hecho confirmado por un laboratorio oficial. En el presente análisis, se investiga el impacto de los tres supuestos sobre el costo anual, el valor presente de la planta y el costo del gas.

Con los escenarios con y sin mano de obra y los tres diferentes beneficios (\$1, \$2.5 y \$4.5 por kg. de efluente) se calculan para cada planta los siguientes 6 escenarios (1 - sí, 0 - no) :

<u>Escenario</u>	<u>Mano de Obra</u>	<u>\$1/Kg</u>	<u>Efluente \$2.5/kg</u>	<u>\$4.5/kg</u>
1	1	1	0	0
2	1	0	1	0
3	1	0	0	1
4	0	1	0	0
5	0	0	1	0
6	0	0	0	1

En el Cuadro 4 - 4 se presentan los resultados del análisis.

### Conclusiones

La planta de biogas puede ser rentable hasta producir utilidades, dependiendo ello en primer lugar del valor que se asigna al beneficio del efluente. La mano de obra no juega un papel tan importante.

Parece adecuado un precio de efluente de \$2.5/kg, también en el caso de que no sea vendido. En todos los casos tenemos el ahorro por no comprar fertilizantes químicos. En el Cuadro 4-3 se ha asignado el valor cero al costo del gas en todos los casos, en los cuales el costo anual o el valor presente en términos de costos es negativo, es decir, representa un beneficio.



Claramente se muestra, que las plantas grandes son más económicas que las pequeñas; en la planta de 23 m<sup>2</sup> el costo del gas para el escenario más conservativo (No. 1) es 475 \$/10<sup>6</sup> BTU - costo todavía aceptable dentro de las alternativas convencionales y seguramente sin competencia en regiones apartadas del país.

En el escenario No. 1 el costo del gas de la planta más grande es de 191 \$/10<sup>6</sup> BTU únicamente.

Parece claro, que el biogas como alternativa es viable, con mayor razón en las plantas grandes utilizadas en instalaciones industriales en las que el gas compite a costo razonable con los combustibles convencionales. Cabe anotar que en muchos casos la planta de gas viene además a solucionar un problema sanitario al cual no se ha asignado ningún costo en el presente análisis y que se reflejará en el costo del gas en forma favorable.

## CUADRO 4-3: ANALISIS DE COSTOS DE PLANTAS DE BIOGAS

ESCENARIO No.

Planta	Datos constantes	1	2	3	4	5	6	
23 M <sup>3</sup>	Costo Inversión: \$200.000	Mano de obra	16.393	16.393	16.393	-	-	-
	Efluente Anual: 8.935 Kg.	Benef. efluente	- 8.935	- 22.338	- 40.207	- 8.935	- 22.338	- 40.207
	Produc. Gas/año: 83.93.10 <sup>6</sup> BTU	Costos operación	15.458	2.055	- 15.814	- 935	- 14.338	- 32.207
	Inversión/año: 26.780	Costos/año total	42.238	28.835	10.956	25.845	12.442	5.427
	Mantenimiento: \$8.000	V.P. operación	115.462	15.349	-118.121	- 6.984	-197.096	-240.566
		V.P. total	315.462	42.129	81.879	193.016	92.904	40.566
		Costo gas/10 <sup>6</sup> BTU	475	324	123	291	139	0
40 M <sup>3</sup>	Costo Inversión: \$280.000	Mano de obra	32.787	32.787	32.787	-	-	-
	Efluente Anual: 19.447 Kg.	Benef. efluente	- 19.447	- 48.617	- 87.511	- 19.447	- 48.617	- 87.511
	Produc. Gas/año: 154.7.10 <sup>6</sup> BTU	Costos operación	24.540	- 4.630	- 43.524	- 8.247	- 37.417	- 75.311
	Inversión/año: 37.492	Costos/año total	62.032	32.862	- 6.032	29.245	75	38.819
	Mantenimiento: \$11.200	V.P. operación	183.299	- 34.583	-325.098	- 61.600	-279.432	-569.397
		V.P. total	463.299	245.416	- 45.098	218.399	517	-289.997
		Costo gas/10 <sup>6</sup> BTU	401	213	0	189	48	0
60 M <sup>3</sup>	Costo Inversión: \$420.000	Mano de obra	49.180	49.180	49.180	-	-	-
	Efluente Anual: 34.164 Kg.	Benef. efluente	- 34.164	- 85.410	-153.738	- 34.164	- 85.410	-153.738
	Produc. Gas/año: 232.10 <sup>6</sup> BTU	Costos operación	31.816	- 19.430	- 87.758	- 17.364	- 68.610	-136.938
	Inversión/año: 56.233	Costos/año total	89.054	36.808	- 31.520	38.874	- 12.372	80.700
	Mantenimiento: \$16.800	V.P. operación	237.646	-145.130	-655.499	-129.698	-522.475	-1022.844
		V.P. total	657.646	274.870	-235.499	290.302	- 92.475	-602.844
		Costo gas/10 <sup>6</sup> BTU	380	158	0	167	0	0
115 M <sup>3</sup>	Costo Inversión: \$860.000	Mano de obra	32.787	32.787	32.787	-	-	-
	Efluente Anual: 115.796 Kg.	Benef. efluente	-115.796	-289.490	-521.082	-115.796	-289.490	-521.082
	Produc. Gas/año: 464.10 <sup>6</sup> BTU	Costos operación	- 48.609	-222.303	-453.895	- 81.396	-255.090	-486.682
	Inversión/año: 115.154	Costos/año total	102.545	- 71.149	-302.741	69.758	-103.935	-335.528
	Mantenimiento: \$34.400	V.P. operación	-363.080	-1660.470	-3390.323	-607.979	-1905.369	-3635.222
		V.P. total	496.920	-800.470	-2530.323	252.021	-1045.369	-2775.222
		Costo gas/10 <sup>6</sup> BTU	221	0	0	150	-	-
150 M <sup>3</sup>	Costo Inversión: \$1.150.000	Mano de obra	32.787	32.787	32.787	-	-	-
	Efluente Anual: 121.545 Kg.	Benef. efluente	-121.545	-303.862	-546.952	-121.545	-303.862	-546.952
	Produc. Gas/año: 580.10 <sup>6</sup> BTU	Costos operación	- 42.758	-225.075	-463.165	- 75.545	-257.862	-500.952
	Inversión/año: 153.985	Costos/año total	111.227	- 71.242	-314.180	78.440	-103.877	-346.967
	Mantenimiento: \$46.000	V.P. operación	-319.376	-1681.175	-3496.911	-564.275	-1926.074	-3741.810
		V.P. total	830.624	-531.175	-2346.911	585.725	-776.074	-2591.810
		Costo gas/10 <sup>6</sup> BTU	191	0	0	135	0	0

Valores negativos (-) : Beneficios

Fuente: ARMAR y cálculos propios

Ministerio de Minas y Energía  
BPMETA

#### 4.2.3. LOS RECURSOS DE LA BIOMASA

##### 4.2.3.1. LA LEÑA

La leña representa el combustible más importante en el medio rural, con 8.8 millones de toneladas, correspondientes a 2928 miles de TEP consumidas en el año 1980 (véase capítulo 3). En cuanto al recurso, no existen investigaciones de la disponibilidad actual y futura para la leña como combustible en el sector residencial rural. Pero aparentemente, no en todas las regiones colombianas la deforestación es causada únicamente por el consumo excesivo de la leña. El campesino cubre sus necesidades con ramas y trozos de madera y menos mediante la tala de árboles enteros. La deforestación parece tener sus causas principales en actividades colonizadoras y agrícolas y en la explotación maderera.

En cuanto a la industria maderera, la madera para combustible ocupa el lugar más importante entre los productos del sector forestal. Su demanda representa el 58 % de la demanda total de madera. Pero aquí se trata de madera ordinaria procedente de residuos de otras elaboraciones, tales como ramas, trozos defectuosos o pequeños, desperdicios de maderas o de la producción leñosa, que se obtienen de las entresacas de las plantaciones artificiales.<sup>1/</sup>

---

<sup>1/</sup> Inderena - Canadá - Proyecto de Desarrollo Forestal. Costa Pacífica, Cali, Mayo 1975, y Berend Meuno Arnolli - Análisis de la Situación Forestal de Colombia - Proyecto de Investigaciones y Desarrollo Industrial Forestal - Col/74/005. 1977. De: Revista de Planeamiento y Desarrollo - Vol. X, No. 2 Mayo-Agosto 1978: La Reforestación en Colombia.

Dado que sobre la disponibilidad regional de la leña para la cocina rural no existe información alguna, a continuación únicamente se tratará de hacer una estimación del recurso de madera para combustible en la forma de los desperdicios de la industria maderera.

En el Mapa 4-1 se muestra la localización y distribución de bosques según su uso:

El 25 % del total de 36.4 millones de hectáreas constituye la reserva forestal protectora y cultural; el restante 75 %, o sea 26.9 millones de ha. tiene un potencial de producción maderera. Sin embargo, no toda la superficie boscosa puede considerarse como fuente potencial de recursos madereros, puesto que existen áreas, en las cuales no es económico adelantar exploraciones con fines comerciales. Por lo tanto, el área para aprovechamiento a nivel comercial a corto y mediano plazo se reduce a 5.6 millones de hectáreas, que se encuentran repartidas entre las reservas forestales del Magdalena Medio y el Sinú, y la reserva del Pacífico y Urabá, correspondiéndole a esta última el 73 % del área, o sea 4.088 millones de hectáreas.

Muchos desperdicios madereros se pueden usar para la producción de energía. Las deficiencias en el equipo utilizado por la industria maderera, la falta de entrenamiento del personal ocupado y el empleo de materia prima de dimensiones no apropiadas, ocasionan pérdidas entre el 59 % y 100 % por  $m^3$  de madera, como se muestra en el Cuadro 4-4.

Cuadro 4-4

## DESPERDICIOS DE MADERA EN LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACION

Industria	$\frac{m^3}{m^3}$ utilizados por de materia prima %	Residuos %
Aserraderos	49	61
Chapas	41	59
Triplex	33	67
Tanino vegetal	0,0	100
Carbón vegetal	33	67

Fuente: Inderena - Canadá, op. cit.

Estos desperdicios se podrían usar, por ejemplo, en plantas de gasificación para producir electricidad en áreas apartadas, lo cual es factible cuando existen centros de consumo a una distancia económicamente y técnicamente aceptable. Un proyecto de la Cooperación Técnica Alemana tiene como objeto la introducción de generadores de gas de leña para producir electricidad con base en los desechos de los aserraderos en la Costa Pacífica.

Tomando un rendimiento promedio de 21 To/ha-año<sup>1/</sup> del bosque húmedo tropical, y el valor energético de 3.6 Tcal/10<sup>3</sup> ton de la leña, entonces el potencial teórico anual de los desperdicios de la industria maderera (tomando el valor conservativo de 50 % de residuos) sería:

<sup>1/</sup> E.S. Bruening, "Was ist und was leistet der Urwald?" in: der Fischer Oeko-Almanach, Juni 1980, p. 288-297.

$$\begin{aligned} \text{PTA} &= 5.6 \times 10^6 \text{ ha} \times 21 \text{ ton/ha} \times 3.6 \text{ Tcal}/10^3 \text{ ton} \times 0.5 \\ &= 211.7 \times 10^3 \text{ Tcal.} \end{aligned}$$

El potencial teórico para el total de los 34.6 millones de hectáreas de bosques asciende (con las mismas suposiciones) a  $1307,8 \times 10^3$  Tcal.

Para producir 1 KWh por medio de gasificación de madera, se necesita 1.25 kg de leña (Imbert). Con base en este valor, se podrían producir 47040 Gwh anualmente de los desperdicios de la industria maderera, lo que corresponde a casi tres veces la generación bruta nacional en el año 1979 (17.998,7 Gwh).

Sin embargo, cabe mencionar aquí, que el potencial actualmente utilizable será sólo una parte muy pequeña de la cifra calculada, debido a restricciones del transporte de la materia prima, a la demanda alejada de los centros de producción, etc.

#### 4.2.3.2 RESIDUOS ANIMALES

En esta sección se discute el potencial energético de los residuos de ganado bovino y de ganado porcino. Suponemos que el mayor potencial energético de animales a partir de estos residuos se genera a través de la aplicación de la tecnología del biogas. Por tanto, se descuida por ahora el estudio de otros animales, como caballos, mulas y aves. Sin mencionarlo especialmente, se implica en los cálculos que otros residuos, como vegetales y humanos, podrían agregarse también como materia prima en las plantas de biogas.

##### (a) Residuos de Ganado Bovino

El Cuadro 4-5 señala la distribución de la población bovina de carne y de leche por departamento. En general, en las zonas frías los ganaderos se dedican a la producción de leche, y en los climas medios y cálidos su actividad está orientada hacia la producción de carne. Por eso, la subregión de los altiplanos en la región andina es la que ofrece mayor producción lechera por vaca. En ella se concentran las ganaderías especializadas en leche, y las mejores técnicas de alimentación, sanidad y manejo. El tipo de explotación va de extensivo a intensivo, y las ganaderías intensivas están localizadas cerca de los centros de consumo.

En general, en los climas cálidos y medios, las prácticas de manejo son extensivas. En vista de esta situación del manejo de la población bovina, la estimación del potencial

## GANADO BOVINO

10<sup>3</sup> M<sup>3</sup>

Región	Población Bovina Carne (10 <sup>3</sup> )	Leche (10 <sup>3</sup> )	Relación Ga- nado de Leche/ Ganado de carne (10 <sup>3</sup> )	Producción poten- cial de Biogas (m <sup>3</sup> /año) ++
I Antioquia (Urabá)	1.037.6(361)	475.5	(3.7) 0.46 (0.01)	38,568
I Atlántico	310.5	12.3	0.04	-
I Bolívar	1.631.9	9.4	0.01	-
IV Boyacá	256.1	428.6	1.67	34,764
II Caldas	331.7	127.1	0.38	10,310
II Chocó	40.3*		0	-
IV Caquetá	510.0 <sup>+</sup>	15	0.03	-
III Cauca	704.4 (10)	132.9	(1.0) 0.19	10,779
I Cesar	1.526.5	22.4	0.01	-
I Córdoba	3.358.0	12.3	0.004	-
IV Cundinamarca	674.2	948.5	1.41	76,932
I Guajira	312.9	5.8	0.02	-
IV Huila	652.4	257.1	0.39	20,853
I Magdalena	1.465.9	19.0	0.01	-
IV Meta	1.201.0	12.	0.01	-
IV Putumayo	64.0**	1.0	0.02	-
III Nariño	177.8 (20)	288.1	(0.2) 1.46	23,367
IV Norte Santander	535.2	42.6	0.08	-
II Quindío	55.4	35.4	0.64	2,871
II Risaralda	96.8	41.9	0.43	3,398
IV Santander	861.9	66.1	0.08	5,361
IV Tolima	907.8	308.0	0.34	24,981
III Valle	665.8 (20)	325.3	(0.2) 0.47	26,385
I Sucre	1.837.4	6.9	0.004	-
Arauca	301.2	2	0.01	-
Casanare	1.707.7	3.3	0.002	-
Vichada	172.2	1.2	0.01	-
Amazonas, Vaupes, Guanía	34.5**	0.5	0.01	-

\* Región Pacífica según ICA

+ El ICA estima un total de 525.000 animales sin una distribución en carne y leche. Estas cifras fueron estimadas por CTA.

\*\* El ICA da una cifra de 100.000 animales para el Putumayo, Amazonas, Vaupés y la Guainía con una nota que la mayoría está en el Putumayo. Esta distribución es estimada por la Cooperación Técnica Alemana.



del poder calorífico del estiércol de la población bovina debería enfocarse en la ganadería de leche. Ya que la ganadería de carne es extensiva en su mayor parte, solamente el estiércol de la ganadería de leche podría ser coleccionado en una parte determinada para que genere la materia prima para plantas de biogas, por ej. en el sitio donde se ordeñan las vacas. Por esta razón, el mejor potencial existe en los departamentos que tienen una relación alta entre la población bovina de leche y la de carne. Como se ha indicado en el Cuadro 4-5, estos departamentos son : Boyacá (1.67), Cundinamarca (1.41), Nariño (parte andina) (1.46), Quindío (0.64), Valle (0.47). Esto no quiere decir que en otros departamentos no podrían existir también algunas opciones y proyectos valiosos (especialmente e los Llanos); pero en términos de estimación de un potencial global, el enfoque tiene que estar en los departamentos en los cuales las relaciones son altas.

En base a datos de plantas de biogas construídas en Colombia, asumimos un valor promedio de 1.8 reses por m<sup>3</sup>/día de producción en la estimación de metros cúbicos potencialmente generado por la población bovina de leche y descuidamos diferencias regionales como el peso de las reses. Este valor no está establecido por un balance de materiales, pero sí tiene en cuenta que solamente una parte del estiércol podría coleccionarse en las fincas. Además, establecemos la hipótesis que el porcentaje máximo de la población bovina de leche que está actualmente disponible para la producción de materia prima para plantas de biogas

## CUADRO 4-6

## GANADO PORCINO

## Explotación Porcina \*

Departamento (Región)	Total Población 10 <sup>3</sup> (1)	Potencial de Biogas (M <sup>3</sup> /día) (2)	Potencial Actual <sup>+</sup> (10 <sup>3</sup> M <sup>3</sup> /año) (3)
Antioquia (II)	406 (23)**	20.302	1.852
Atlántico (I)	15 (19)	770	70
Bolívar (I)	94 (21)	4.715	430
Boyacá (IV)	160 (14)	8.035	733
Caldas (II)	49 (11)	2.465	245
Cauca (III)	43 (9)	2.155	197
Cesar (I)	50 (23)	2.540	232
Córdoba (I)	217 (26)	10.860	991
Cundinamarca (IV)	124 (9)	6.240	570
Choco (II)	11 (17)	560	51
Guajira (I)	30 (31)	1.520	139
Huila (IV)	39 (11)	1.980	181
Magdalena (I)	107 (40)	5.380	491
Meta (IV)	44 (19)	2.220	202
Nariño (III)	85 (9)	4.250	388
N. Santander (IV)	50 (10)	2.535	231
Quindío (II)	14 (15)	710	65
Risaralda (II)	23 (11)	1.160	106
Santander (IV)	83 (9)	4.175	381
Sucre (I)	48 (21)	2.420	221
Tolima (IV)	82 (11)	4.135	377
Valle (III)	73 (17)	3.690	337
Territorios Nales	40 (17)	2.045	187
		94.870	8.658

\* 1976, p. 806 (ICA, 1980)

\*\* Número promedio de cerdos de explotación tecnificada

+ Hipótesis sobre disponibilidad actual de estiércol, de un 25% y de una relación de 20 cerdos por m<sup>3</sup> Biogas/día.

se eleva a aproximadamente el 40%. La columna (4) del Cuadro 4-5 indica la producción anual de biogas por los departamentos mencionados arriba en base a estos supuestos.

(b) Residuos de Ganado Porcino

Si se divide la explotación porcina en las dos grandes clases : Nivel familiar y nivel tecnificado (o intensivo), las estadísticas del ICA indican que el 95% de las explotaciones son de nivel familiar (incluyendo el 80% de la población porcina del país) y que el 5% de las explotaciones a nivel tecnificado se ocupan del 20% de la población porcina. El número de cerdos por familia es de 3.3 en todo el país, y el de los cerdos por explotación tecnificada es de 16. El Cuadro 4-7 señala que el promedio de las explotaciones tecnificadas varía mucho por departamento, con promedios altos en Magdalena (40) y Guajira (31) y promedios bajos en Nariño (9) y Santander (9).

Se pueden usar los datos disponibles para convertir el número de animales en metros cúbicos de biogas. Un factor de experiencia es que se requieren 18-20 cerdos para generar 1 m<sup>3</sup>/día de biogas.\* Esta cifra implica el hecho de que sólo parte del estiércol está disponible para una planta. En base a este factor se puede estimar el potencial global de generación de biogas por uso de estiércol de cerdos. En el Cuadro 4-6 , columna (2) se indica el potencial diario en el país con aproximadamente 95.000 m<sup>3</sup>/día de biogas. Esto significa un total de alrededor de 3.46

millones de metros cúbicos por año. Desafortunadamente, hay que estimar el potencial actual en un nivel significativamente más bajo, ya que instalaciones de plantas de biogas no son posibles sin una cantidad suficiente de estiércol de cerdos. Como las estadísticas arriba indican, la gran mayoría de explotaciones familiares y tecnificadas no pueden proveer una cantidad de aprox. 150 - 200 cerdos necesarios para producir 8-10 m<sup>3</sup>/día de biogas usado por familia, valor asumido como consumo diario de una familia.

Se puede utilizar más del potencial teórico en el caso de que el estiércol de los cerdos sea coleccionado por una cooperativa de familias que construye y opera una planta de biogas. Pero entonces surge el problema tradicional de cómo distribuir el gas para el uso común.

Sin una base cuantitativa, se estima que se podría convertir del 20 al 30 por ciento del potencial teórico en biogas, para varios usos domésticos y comunes. Con una hipótesis del 25%, el potencial actual es de 23.720 m<sup>3</sup>/día, o 8.7 millones de metros cúbicos por año y, respectivamente, 38.9 Tcal por año en base a un valor calorífico de 4.500 Kcal/m<sup>3</sup> gas (columna (3), cuadro 4-6).

#### 4.2.3.3 RESIDUOS VEGETALES

En esta sección se estima el potencial energético de residuos vegetales dejados en el campo,\*\* bajo la hipótesis

---

\* Comunicación personal con el Sr. Martínez (actualmente un cálculo teórico requiere de aprox. 12 cerdos/m<sup>3</sup>/día).

\*\* No prestamos atención aquí a los residuos disponibles en las plantas agrícolas, como molinos de arroz.

de que estos residuos se podrían convertir en una forma utilizable por gasificación. Se supone que los residuos de arroz, maíz, trigo, cebada, algodón y frijol común valen la pena para efectuar una investigación del potencial energético. No se incluyen los residuos de azúcar y panela de caña, porque el bagazo es usado completamente y se asume que los residuos dejados en el campo, debido a su utilidad para el reciclaje de sustancias nutritivas, no son disponibles.

Se han hecho las siguientes suposiciones en el cálculo del poder calorífico para la cosecha de 1979 (en base a cifras del Sector Agropecuario 1979) (véase Cuadro 4-7 )

- 1) La cantidad de residuos es una proporción de la producción reportada por el Departamento de Agricultura :
- 2) De acuerdo con cálculos en los Estados Unidos ("Energy from Biological Processes", OTA, 1980), se asume un removimiento potencial de 20% sin una perturbación de la ecología. Los residuos en el campo reducen el potencial de erosión y proveen un reciclaje de sustancias nutritivas e los suelos. Es decir, la aplicación de fertilizantes químicos puede quedarse en un nivel corriente.
- 3) El poder calorífico de todos los residuos está fijado en 3.000 kcal/kg. Este es un valor relativamente bajo, pero es apropiado para las estimaciones.
- 4) Esto representa un total de aproximadamente 5.220 Tcal por año. Si se asume un potencial de recolección del 40%, el valor calorífico se dobla a 10.440 Tcal.



Las estimaciones del poder calorífico (Tcal) se pueden convertir vía gasificación a una energía utilizable. Aquí se asume una eficiencia de 50% en la conversión en las plantas de gasificación y un valor calorífico del gas pobre de aproximadamente  $1,250 \text{ Kcal/m}^3$ . Este valor es un poco bajo, pero es apropiado en las estimaciones preliminares. Con esta suposición se puede calcular la cantidad de gas disponible.

#### 4.2.3.4. RESIDUOS DEL CULTIVO DE CAFE

Para la cosecha de 1077/78 la producción de café verde está registrada con 10.765 miles de sacos (aproximadamente 654.9 miles de toneladas), producción de la cual se exportó alrededor del 70%. Se calcula que en aproximadamente 300.000 fincas en la zona andina se producen 1.3 millones de toneladas de pulpa en estado fresco, es decir, una tonelada de pulpa por hectárea de café, en una aproximación que todavía requiere de mayor precisión. Esta pulpa tiene un contenido de agua de aproximadamente 80%. En algunos casos se utiliza la pulpa como abono. Sin embargo, este uso resulta muy costoso por el alto contenido de humedad, y el gran volumen que representa, lo cual hace difícil su distribución en el área del café. Por lo tanto, en la mayoría de las fincas se bota la pulpa a los ríos y quebradas, lo cual aumenta la contaminación de las aguas. Una de las formas relativamente sencillas de utilización de la pulpa como abono y de reducción de su potencial de contaminación es la obtención de biogas por

tratamiento de la pulpa en una planta de biogas. Se podría usar el gas en el proceso de secado del café, y en usos domésticos de la finca y de las viviendas de los jornaleros, como iluminación y cocina. En vista del abastecimiento con pulpa solamente durante los períodos de las dos cosechas se necesita almacenar el gas producido durante las cosechas, o bien fosas para almacenar la pulpa, o bien ambas alternativas en combinación con la adición de otras materias primas.

Dado un contenido de sólidos de 20% en la pulpa, se estima la siguiente cantidad anual de biogas que se podría producir teóricamente en base a la pulpa:

$$\text{Gas (m}^3\text{/año)} = 1.3 \times 10^6 \text{ (ton)} \times \left( \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{ton}} \right) \times \frac{20}{100} \times \frac{0.2 \text{ m}^3}{\text{kg}} = 52 \times 10^6$$

(% sólidos)(generación de biogas)

Debido al hecho de que solamente una parte de las fincas tiene la cantidad de pulpa suficiente para construir y operar una planta de biogas durante todo el año, asumimos que el 30% de la pulpa generada anualmente podría utilizarse para la producción de biogas. Esto resulta en la producción potencial de:

$$\underline{15.6 \times 10^6 \text{ m}^3\text{/año}} \text{ de biogas al año}$$

Hay más posibilidades de convertir otros desperdicios de la producción de café como las cascarillas (véase Balance Energético de San Salvador, 1980). Pero debido a la falta de afirmaciones sobre el uso actual de las cascarillas en los secadores de las trilladoras, descuidamos este aspecto por ahora.



## 4.2.3.5 DESPERDICIOS DE INDUSTRIAS AGRICOLAS

En Colombia, se produce una serie de desperdicios de industrias agrícolas, como en los molinos de granos o en la industria azucarera. Se aprovechan parcialmente como combustibles en las mismas industrias, que los generan, por ej. bagazo de caña en ingenios y trapiches, así como en industrias independientes de la agricultura, por ej. cascarillas en ladrilleras. En el primer caso se ha investigado el uso del bagazo\*, mientras que no hay mucha información sobre el segundo caso. Por lo tanto, vale la pena investigar el potencial energético de los desperdicios de las industrias agrícolas convertidos por métodos químicos o biológicos en una forma energética para el uso en las mismas industrias, así como en otras industrias. Aquí, sin informaciones específicas, indicamos en el Cuadro 4 - 8 cuáles desperdicios se podrían utilizar para la gasificación (o combustión directa) y plantas de biogas para la generación descentralizada de energía. Hay otros procesos para utilizar los desperdicios, como hidrólisis para transformarlos a etanol. Pero la experiencia en la aplicación de ellos en este campo es aún menor que la que hay en la gasificación y generación de biogas.

Al lado de la industria azucarera, los sectores de interés especial son la industria molinera, la industria licorera y los aserraderos. En las dos primeras, la gasificación tiene potencial para proporcionar el gas como uso directo, por ej. en secadores, o de usar el gas en la generación de energía eléctrica. (Anteriormente se discutió el uso de la gasificación en Guyana). Pero el potencial más grande de hoy existe en el uso de plantas de biogas tanto para tratamiento de los efluentes (biomasa) de licoreras como para la generación del gas que se podría utilizar en la generación de energía necesaria en las plantas. El Cuadro 4 - 9 indica -aún en base a suposiciones muy conservativas- el potencial de autosuficiencia energética en la generación de vapor.

---

\* G. Anderle, Análisis Energético en la Industria de Alimentos y Bebidas, Informe de la Cooperación Técnica Alemana, Marzo 1982.

También este proceso reduce de una manera beneficiosa los problemas de contaminación significativa generados por esas industrias.

En resumen, vale la pena investigar todo el potencial energético de los desechos de la industria agrícola en base a las ideas preliminares arriba indicadas.

CUADRO 4 - 8

GENERACION DE ENERGIA POR GASIFICACION Y PLANTAS DE BIOGAS  
EN BASE A DESPERDICIOS DE INDUSTRIAS AGRICOLAS  
(Algunos Ejemplos)

P R O C E S O

	Gasificación (o combustión directa)	Planta de Biogas
	Cascarillas de	Efluentes
	. arroz, café, cocoa	. licoreras
Desperdicios :	Afrechos	. mataderos
	Desechos de algodón y maíz	. producción láctea
	Bagazo	. plantas de conservas
	Paja	. pesca
	Polvo y desechos de aserraderos	
	Desechos de (pre-) procesamiento de frutas	

---

## C U A D R O 4-9

## ESTIMACION DEL PODER CALORIFICO DE LA VINAZA DE UNA DESTILERIA

Producción: 50 m<sup>3</sup>/día alcohol  
 resulta en 500 m<sup>3</sup>/día vinaza  
 (relación 1:10 asume tecnología moderna; de no ser así, la relación es: 1:12 a 1:13)

DQO 70,000 g/m<sup>3</sup>  
 DQO 35,000 kg/día

Generación de gas: 80 % digerido  
 0.5 m<sup>3</sup>/kg DQO  
 resulta en: 14,000 m<sup>3</sup> gas/día

Generación de vapor: 7.25 kg vapor/m<sup>3</sup> gas  
 resulta en: 101.500 kg vapor

Uso de vapor: nueva tecnología:  
 2 kg vapor/ l de alcohol  
 apr. 1,500 kg de vapor pérdidas  
disponible: 100,000 kg vapor/50,000 l de alcohol

resulta en: casi autosuficiencia en términos  
 de uso de vapor

### 4.3 ENERGIA HIDRAULICA

#### 4.3.1 TECNOLOGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGIA HIDRAULICA

Para el aprovechamiento de la energía hidráulica en diferentes condiciones existen básicamente las siguientes alternativas :

- A. Turbina Pelton.- Para caídas grandes (hasta 2000 m.) Alta eficiencia hasta 90%, requiere tubería de presión.
- B. Mitchell-Banki (Cross-Flow) Turbina de impulso, fácil construcción, caídas medianas (5-80 m.). Eficiencia hasta 80%, bajo costo.
- C. Turbina Francis.- Desde caídas muy pequeñas hasta 500 m. Geometría y por lo tanto manufactura exigente.
- D. Turbina Kaplan.- Para caídas bajas. Paletas de hélice regulable, alta eficiencia.

Las otras posibilidades de utilizar la energía hidráulica son las ruedas de agua, especialmente apropiadas para el uso directo de energía mecánica y balsas generadoras, que utilizan la energía cinética de los ríos.

El diseño y la selección de una planta hidroeléctrica depende de las condiciones hidrogeográficas y de la situación relativa a los consumidores por un lado, y por el otro, de los objetivos en cuanto a la cantidad, la disponibilidad

y los costos de la energía, así como de las condiciones para la operación de la planta. La gran variedad de estos factores no permite una estandarización de las plantas. La eficiencia óptima únicamente es realizable con una planta de diseño individual, acondicionada a la situación local. Plantas standard solo son viables económicamente hasta una capacidad de 10 KW. Como regla aproximada se puede decir que los costos de la turbina aumentan con el caudal que ella aprovecha y que con el aumento de la capacidad instalada disminuyen los costos específicos por KVA.

Las condiciones económicamente aprovechables son (para capacidades de más de 10 KW) :

- una caída mayor de 2 m. con un caudal mínimo de 600 litros/segundo, o
- un caudal mayor de 25 litros/segundo y una caída de 50-60 m.

También son viables económicamente las centrales muy pequeñas (menores de 10 KW) que utilizan generadores de corriente continua (normalmente de automóviles). Un equipo para cargar baterías fabricado por C.CH.LG. Cia. Ltda., que utiliza una pequeña turbina Pelton tiene un precio FOB de 33.000 pesos (Septiembre de 1979). Aunque el costo/KW resulta muy alto (5.200 US\$), en términos absolutos es una solución aceptable para iluminación o la operación de pequeños electrodomésticos.

Las eficiencias indicadas por el producto de las turbinas en general son realizables con el caudal pleno; en caso de caudales menores (debido a variaciones hidrológicas), la eficiencia puede bajar considerablemente.

CUADRO 4-11

PLAN DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS  
PROYECTOS SELECCIONADOS

Departamento Municipio	Potencia KW	Caudal m <sup>3</sup> /seg	Caida m	Tipo de Turbina	Miles de US\$ costo total	% de costos de transporte	US\$ costo/KW	
<u>Boyacá</u>								
Paya	48.0	0.425	36.0	Francis	298.3	.7	6.214.3	13 <sup>1/</sup>
Pisba	36.0	0.30	27.0	Francis	235.8	1.05	6.549.4	14
<u>Meta</u>								
El Calvario	200	0.065	402.0	2 Pelton	643.8	7.4	3.219.1	7
<u>Nariño</u>								
Altaguer	2.000	1.40	202.2	2 Pelton	2.831.9	3.1	1.416.0	1
<u>Cauca</u>								
Santa Rosa	250	0.41	93.0	Cross-flow	651.4	5.0	2.605.6	6
Argelia	750	1.50	74.0	3 Cr.-flow	1.166.3	8.2	1.555.1	5
Alterno Sta.Rosa-Arg.	8.400	10.50	100.0	3 Francis	12.009.8	.8	1.429.7	2
López-Pto. Sergio	600	6.8	12.0	4 Cr.-flow	1.948.2	5.3	3.247.2	8
<u>Arauca</u>								
Tamo	1.800	5.0	49.0	2 Francis	2.713.9	4.5	1,507.7	4
<u>Vaupés</u>								
Mitú	650	30.0	2.5	2 Bulbo	3,144.8	5.9	4,838.1	10
<u>Casanare</u>								
Yopal-Aguazul	4.800	15.0	40.0	3 Francis	6.761.7	3.5	1.502.6	3
<u>Chocó</u>								
Juradó	800	3.8	26.5	2 Francis	4.028.4	6.1	5.060.5	11
Uguía	1.100	2.2	68.0	2 Francis	6.472.1	6.4	5.883.7	12
Bahía Solano-Nuquí	2.400	0.7	406.0	2 Pelton	9.604.0	7.0	4.001.7	9

Costos en dólares de 1980

1/ Numeración de las plantas por orden ascendente de costos por KW

Fuente: ICEL, "Situación, experiencias y perspectivas de las pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia"

## 4.3.2 RECURSOS

Un estudio sobre el potencial de energía hidráulica aprovechable para microcentrales no se ha realizado hasta ahora, debido a que para este fin se tiene que efectuar la enorme tarea de investigar los miles de ríos pequeños colombianos en cuanto a posibles sitios para la construcción de microcentrales, similar al Inventario de Recursos Hidroeléctricos (IRH) para centrales de más de 100 MW,

Para cada río pequeño se tendría que investigar la cabeza (altura de caída), el caudal y las condiciones geológicas y topográficas para estimar el potencial teórico. La observación del caudal que varía normalmente en el curso del año se debería realizar por varios años.

Si se asume que los 93.000 MW, estimados por el IRH<sup>1/</sup> están conformando el 80% de los ríos, se puede concluir que para plantas menores existe un potencial de por lo menos 25.000 MW, lo que es suficiente para la electrificación 6 veces del total de la población rural sin corriente eléctrica.<sup>2/</sup>

Este estimativo del potencial concuerda también en su orden de magnitud con los estimativos del ICEL, que fluctúan alrededor de 30 GW en aprovechamientos menores de 10 MW.

<sup>1/</sup> Inventario de Recursos Hidroeléctricos dentro del Estudio del Sector de Energía Eléctrica-ESEE.

<sup>2/</sup> 1.2 millones de hogares rurales sin electricidad, que ahora no están incluidos en el PNER (Plan de Electrificación Rural) y suponiendo una potencia de 3 KW/hogar.

La distribución regional de este potencial, de acuerdo con lo expuesto anteriormente, se puede asumir proporcional al potencial de los ríos grandes, obteniendo lo siguiente:

	%	MW	Región ENE (partes)
Magdalena-Cauca	38.1	9528	1, 2, 3
Orinoquía-Catatumbo	29.4	7338	4
Sierra Nevada-Guajira	.67	169	1
Atrato-Sinú	5.96	1493	1, 2
Vertiente Pacífico	12.96	3244	2, 3
Amazonía	<u>12.91</u>	<u>3228</u>	4
	100.00	25000	

Este es un estimativo muy general que refleja en aproximación las posibilidades de aprovechamiento de la energía hidráulica en micro- y minicentrales.

Sin embargo, cabe anotar, que el potencial aprovechable actualmente será menor, debido a factores como: recurso (caudal) no apropiado (demasiado pequeño o grande) para la demanda local, sitio de aprovechamiento muy alejado del centro de la demanda, régimen hidrológico desconocido o desfavorable, etc.



Una distribución tentativa en las regiones del ENE de este potencial da el Cuadro 4 - 12

CUADRO: 4-12 : Potencial Hidroeléctrico en las Regiones del ENE

Región ENE	%	MW	GWH (factor de planta: 0.5)
I	11	2750	12045
II	27	6750	29565
III	20	5000	21900
IV	20	5000	21900
Otros	22	5500	24090
	100	25000	109500

#### 4.4. ENERGIA SOLAR

En el ENE se ha realizado un detallado análisis técnico y económico de colectores solares para el calentamiento de agua residencial en ciudades, así como una descripción de celdas fotovoltaicas y secadores solares de granos, tecnologías relevantes para el área rural. También se incluyó un análisis de los recursos de energía solar en Colombia.

## 4.4.1. TECNOLOGIAS

(a) Calentadores solares con colectores planos

Con excepción de algunas regiones con climas muy calientes (en los cuales incluso la demanda por agua caliente es muy pequeña), casi todos los sistemas instalados en el mundo son sistemas mixtos, con una fracción de la energía suministrada por el sol y el resto de fuentes convencionales como gas o electricidad.

Existe un gran número de posibilidades para la construcción de colectores solares planos. Las características técnicas definen la eficiencia del colector y también su costo.<sup>1/</sup>

El costo del colector solar en Colombia varía entre \$4.000,- y \$ 9.000,- por m<sup>2</sup>.

En el ENE, se han calculado tarifas marginales mínimas, de la corriente eléctrica, a partir de las cuales se hacen rentables los sistemas solares para tres ciudades (suponiendo un costo de 7000 \$/m<sup>2</sup> de colector):

	Número de Familias			
Bogotá	2.37	2.79	2.27	1.96
Medellín	2.12	2.42	2.02	1.74
Barranquilla	1.98	2.27	1.88	1.64

Se nota que al aumentar la temperatura ambiental baja la tarifa marginal, debido a la mayor contribución del sistema solar.

1/ También las temperaturas de operación

En el ENE se llegó a la conclusión, que un mayor ahorro se alcanza con una operación intermitente de los calentadores convencionales que con la instalación de calentadores solares en casas de una familia, suponiendo un precio de 7000,- \$/m<sup>2</sup> de colector<sup>1/</sup>. Una instalación de calentadores en casas o edificios multifamiliares, por el otro lado, sí es económica en la actualidad.

Para regiones rurales, de otra parte, con un suministro deficiente o ausente de electricidad un colector sencillo (5000 \$/m<sup>2</sup>) puede ser la única posibilidad para calentar el agua económicamente. Sin embargo, se estima que la demanda por agua caliente en el campo es muy reducida.

#### (b) Celdas fotovoltaicas

A pesar de que se han diseñado muchos equipos que utilizan directamente la energía solar como neveras, bombas solares etc., muchos de estos dispositivos presentan dificultades en cuanto a su uso, puesto que

- (1) no están suficientemente desarrollados;
- (2) no serán producidos en el mediano plazo a escala industrial, y por consiguiente sus costos son elevados;
- (3) presentan dificultades en el mantenimiento.

---

1/ Este análisis se realizó únicamente para grandes ciudades.

Por otra parte, existen muchos dispositivos y equipos, que pueden ser alimentados con energía eléctrica. A esto se suma, que estos productos tienen una alta confiabilidad, servicio fácil y extenso y costos propios de la producción en masa.

Por consiguiente, la generación de electricidad a partir de la energía solar es una posibilidad extraordinaria, más aún si, como en el caso de las celdas solares, se trata de dispositivos de estado sólido de gran confiabilidad. El costo actual de las celdas solares en Colombia es de \$ 1.000/Wp<sup>1/</sup>, o sea, 17.000 US\$/KW. Se espera que en el futuro este precio bajará considerablemente.

Para aplicación en el medio rural, las celdas hasta el momento tienen un costo demasiado alto para competir con otras fuentes. En áreas remotas, sin embargo, se ven posibilidades de utilizarlas para la operación de equipos de radio y en el futuro para la iluminación y pequeños electrodomésticos, y para el bombeo de agua.

#### (c) Secadores solares de granos

El secado mediante energía solar es ampliamente aplicado en el país para productos como café, arroz, sorgo etc. Normalmente se trata de secado solar directo al aire libre. En zonas cafeteras se encuentran también dispositivos que permiten una protección rápida contra la lluvia, como secadores con cajones o plataformas móviles, desplazables en la noche o cuando llueve.

---

<sup>1/</sup> Información obtenida de Solar Colombia Ltda.

Existen varios diseños de secadores avanzados cuyas ventajas principales son:

- (1) Reducción del tiempo de secado
- (2) Se evita el contacto con polvo e insectos
- (3) Control de calidad y mejor rata de secado

Especialmente para secado de café a pequeña escala se podría utilizar un secador solar avanzado.

#### 4.4.2. RECURSOS DE ENERGIA SOLAR

La energía solar es el origen directo o indirecto de casi todos los recursos energéticos de que se dispone en la tierra. Las ventajas del aprovechamiento directo de la energía solar con su inagotabilidad, y su disponibilidad aparentemente universal y gratuita. Aún las inversiones para el aprovechamiento con tecnologías de conversión son muy altas, en comparación con equipos que usan fuentes convencionales.

Las desventajas de la energía solar son la intermitencia (día/noche), la baja densidad de potencia (  $1 \text{ KW/m}^2$  ) y la distribución desigual sobre la tierra.

En Colombia, por su situación tropical, tenemos una relativa uniformidad de la radiación en el curso del año. La irradiación global promedia en Colombia es de  $1600 \text{ KWh/m}^2 \cdot \text{año}$ , siendo este valor aplicable en la zona andina, mientras que en la Guajira y en el Chocó es de alrededor de  $1300 \text{ KWh/m}^2 \cdot \text{año}$ . En términos de superficie de calentadores solares por persona esto significa, que en departamentos como Nariño, Cauca, Cun-

dinamarca, Boyacá, Santander y Antioquia se requiere  $0.8 \text{ m}^2$  de colector por persona, mientras en zonas calientes es suficiente una superficie de  $0.5 - 0.6 \text{ m}^2/\text{persona}$ . El mapa 4-2 indica la distribución regional de la duración promedio anual del brillo solar en Colombia.

#### 4.5. ENERGIA EOLICA

##### 4.5.1. TECNOLOGIAS DE APROVECHAMIENTO DEL VIENTO

El molino de viento es una de las máquinas más antiguas de la humanidad, utilizado para moler granos o para el bombeo de agua. Los dispositivos más corrientes son de eje horizontal con ejes alineados con el viento y los menos utilizados son de eje vertical tipo Savonius. Existe una gran variedad de diseños de rotores, entre los más corrientes están:

- a) Rotores de aspas de lona o velas, utilizados mucho en el Mediterráneo, en islas como Creta o Mallorca;
- b) Rotores de aspas de láminas metálicas, muy esparcidos en todo el mundo. En la Sabana de Bogotá se observan rotores lentos, de alto torque de arranque y de funcionamiento adecuado para el bombeo de agua. Con la llegada de la electricidad al campo, resultaron más económicos los equipos eléctricos de bombeo, que las reparaciones de daños que sufrían los molinos.
- c) Rotores de aspas rígidas con perfil aerodinámico, utilizados en hélices de diseño moderno. Su diseño puede ajustarse para aplicaciones de altos torques y bajas velocidades (p.ej. bombeo) o aplicaciones de bajo torque y alta velocidad (p.ej. generación eléctrica).

El rotor vertical se caracteriza por ser omnidireccional y puede ser construído fácilmente de lámina de una caneca comercial.

La energía eólica sólo puede aplicarse en casos donde pueda tolerarse un funcionamiento aleatorio o donde se disponga de sistemas de almacenamiento, como, por ejemplo, tanques de agua o baterías eléctricas con capacidad adecuada.

Las aplicaciones de la energía eólica que han llegado a ser comerciales a gran escala son precisamente el bombeo de agua y la generación eléctrica para carga de baterías.

#### Costos

Para calcular el costo total de un sistema eólico deben sumarse al costo de la máquina el costo del transporte, la instalación, sistemas auxiliares y los impuestos.

El costo de transporte y de instalación de los molinos multiaspas puede ser bastante elevado debido a su gran tamaño y la relativa complejidad. Por el otro lado, en el caso de los molinos livianos modernos estos costos son bastante menores y en muchos casos pueden ser instalados por el mismo dueño (Gaviotas, Gavilán). La disponibilidad energética en un sitio determina las alternativas tecnológicas.

En el caso de la energía eólica, distintos factores conducen a la decisión de aplicabilidad como son:

- dificultad de transporte de combustible convencional
- área de pastoreo necesaria para mantener animales
- promedio de vientos
- promedio de radiación solar
- régimen hidrológico
- confiabilidad del abastecimiento eléctrico (especialmente en zonas rurales)
- la cantidad necesaria de energía (puede eliminar la energía eólica, ya que estos sistemas cubren rangos energéticos pequeños).

En general, los costos de los equipos eólicos son mayores que las alternativas eléctricas o de combustible convencional. En el caso de una comparación, la decisión de utilizar la alternativa eólica la determina la disponibilidad energética, la capacidad de operación, reparación y mantenimiento y/o de la seguridad o confiabilidad del equipo.

#### 4.5.2. LOS RECURSOS DE VIENTO

Colombia, debido a su situación geográfica, es pobre en viento como recurso energético. Esto hace desaconsejable la implementación de sistemas eólicos a gran escala y aún a mediana escala como en el caso de proveer de agua o energía eléctrica una pequeña comunidad, en donde sería absolutamente indispensable observar y analizar el viento durante un período suficientemente largo para cubrir posibles variaciones estacionales.



Para la pequeña escala, el viento sí puede constituir en Colombia una solución energética, para aplicaciones mencionadas en la sección anterior.

El potencial eólico del país fue estudiado por el ENE para las cuatro zonas geográficas:

- Costa Atlántica
- Costa Pacífica
- Región Andina
- Llanos Orientales, y
- Amazonía,

recolectando datos de 23 estaciones en total. En conclusión, estas zonas se caracterizan como sigue en cuanto a su potencial eólico:

(1) Costa Atlántica:

Alto potencial eólico en la región. Mediana estacionalidad.

(2) Costa Pacífica:

Bajo potencial eólico. No se nota estacionalidad.

(3) Región Andina:

En general existe un bajo potencial en las zonas bajas (Valle del Magdalena, piedemonte llanero, etc.). Por encima de los 1.000 mts. parece existir un potencial mediano aprovechable en utilidades de baja energía como bombeo de pequeñas cantidades de agua.

La estacionalidad en todos los sitios estudiados con excepción de Cúcuta es poco marcada. Dada la complejidad del sistema de vientos en la zona andina las dos primeras conclusiones anteriores son demasiado generales. Se deben realizar estudios más locales para apli-

caciones de la energía eólica en esta región.

(4) Llanos Orientales:

Régimen uniforme en toda la región. Marcada estacionalidad.

Alto potencial eólico en Diciembre, Enero, Febrero y Marzo. Mediano potencial el resto del año.

(5) Amazonía:

Muy bajo potencial eólico. No presenta estacionalidad.

## 4.6. RESUMEN DE LA ESTIMACION DE LOS RECURSOS

Los recursos de la biomasa y de la energía hidráulica se estimaron a nivel regional, con las restricciones de la información disponible. También se efectuó para estas fuentes una agregación a nivel de las regiones del ENE, en forma tentativa. Cabe anotar, que la división regional del ENE no es adecuada para la identificación de recursos renovables, debido a la gran inhomogeneidad climática, topográfica etc. de esas regiones; por tanto los valores en los Cuadros 4-13 y 4-14 tienen un carácter indicativo únicamente. La información más exacta a nivel departamental se encuentra en las secciones anteriores de este capítulo.

En el Cuadro 4-13 se da un resumen de los recursos de la biomasa, y en el Cuadro 4-14 se compara el potencial de los distintos recursos respecto a la generación de electricidad. Los factores de conversión son los siguientes:

Residuos animales	:	25 % (Biogas)
Residuos vegetales	:	10 % (Gas pobre)
Pulpa Café	:	25 % (Biogas)
Leña	:	aprox. 20 % 1.25 kg leña/1KWh (gas pobre)

En el caso de la energía hidráulica se asumió un factor de planta de 0.5.

Para la energía solar y eólica no es posible hacer una aproximación del recurso por regiones ENE, ya que ello depende mucho más de las condiciones locales.

La energía solar en Colombia, por su situación tropical, se presenta con una relativa uniformidad en el curso del año. La irradiación promedia anual varía entre 1300 KWh/m<sup>2</sup> año

(Chocó) y hasta  $2000 \text{ kWh/m}^2$  año en la Guajira. Para la zona andina se puede suponer un valor promedio de  $1600 \text{ kWh/m}^2$  año.

En términos generales, se puede decir, que Colombia es un país pobre en energía eólica, con excepción tal vez de la Costa Atlántica. Especialmente en la zona andina es difícil hacer una estimación general, ya que la intensidad y la dirección de viento aquí es muy variable, inclusive en áreas muy pequeñas. Por lo tanto, se deben realizar estudios locales para aplicaciones de energía eólica en esta región. La Costa Pacífica tiene un bajo potencial eólico sin estacionalidad. En los Llanos Orientales se presenta un régimen uniforme en toda la región con una marcada estacionalidad. La Amazonía posee un potencial eólico muy bajo y no presenta estacionalidad.

RESUMEN DE RESIDUOS ANIMALES Y VEGETALES

	Pobl. Bovina		Pobl. Porcina		Res. Vegetal.		Pulpa Café	
	Tcal. (mat.pr.)	$10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ (Biogas) *	Tcal. (mat.pr.)	$10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ *	Tcal. (mat.pr.)	$10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ + (Gas pobre)	Tcal. (mat.pr.)	$10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ ++ (Biogas)
Región I	-	-	23.2	2 574	1 766.2	706 480	2.0	230
Región II	496.4	55 147	20.8	2 319	272.8	109 120	49.2	5 460
Región III	544.8	60 531	8.4	922	519.8	207 920	47.0	5 230
Región IV	1 446.0	162 891	24.0	2 675	2 331.2	932 480	42.2	4 680
Otras	-	-	1.74	187	268.6	107 440	-	-
TOTAL		278 569		8 677		2 063 440		15 600

\* Supuesto de que el valor calorífico de biogas es  $4,500 \text{ kcal/m}^3$ , y su eficiencia de conversión 50%

+ Supuesto de que el valor calorífico es  $1,250 \text{ kcal/m}^3$ , y la conversión de la

++ igual que \* gasificación es 50 %.

Leyenda: mat.pr. = materia prima

4-52

CUADRO 4-14 : RESUMEN DE LOS RECURSOS DE LA BIOMASA Y DE LA ENERGIA HIDRAULICA EN TERMINOS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA (EN TCAL) <sup>1/</sup>

Región ENE	Población Bovina	Población Porcina	Residuos Vegetales	Pulpa de Café	Leña	Energía Hidráulica
I	-	5.8	176.7	0.5	2 023	10 358
II	124.1	5.0	27.3	12.3	21 380	25 425
III	136.2	2.1	52.0	11.75	11 266	18 834
IV	361.5	6.0	233.2	10.55	1 739	18 834
Otras	-	.435	26.8	-	4 045	20 714
Totales	621.8	19.335	516.0	35.1	40 453	94 165

<sup>1/</sup> Debido a distintos factores, como distancia grande del sitio de producción al lugar de consumo; difícil recolección y transporte de la materia prima y disponibilidad intermitente y/o estacional del recurso etc., el potencial realmente utilizable será mucho menor, especialmente en el caso de la leña y de la energía hidráulica. Sólo estudios de los recursos y de la demanda regionales y locales pueden dar resultados más confiables.

5. POSIBLE SUSTITUCION DE ENERGIAS CONVENCIONALES  
POR LAS ENERGIAS NUEVAS O RENOVABLES

Como ya se ha expuesto en las secciones anteriores, es muy difícil una evaluación de las posibilidades de sustitución en forma global, ya que para un análisis fundado se debería investigar la factibilidad técnica, económica y social en cada localidad o micro-región. De groso modo se puede decir, que cuando las condiciones de recursos, y respecto a la demanda son favorables, especialmente para áreas apartadas, las energías renovables, como pequeñas plantas hidroeléctricas, plantas de biogas y celdas solares pueden o podrán constituir alternativas viables y económicas. Po estas razones, se recomienda realizar estudios a nivel regional o local, como el estudio adelantado en el momento por una misión técnica italiana en la ciudad de Leticia y en los Territorios Nacionales.

En otros casos, se deben analizar más a fondo los costos de implementación de nuevas tecnologías instalando plantas piloto, como por ejemplo plantas de gasificación de residuos vegetales, con los cuales en Colombia hasta el momento no se tiene experiencia ninguna.

Como fuentes y tecnologías nuevas o renovables de mayor potencial en Colombia para sustituir las fuentes convencionales se han identificado en el presente estudio las siguientes:

<u>Fuente:</u>	<u>Demanda Final:</u>
Biogas	Cocina Iluminación, Nevera Bombeo de agua/riego Secado de granos Refrigeración Motores "dual-fuel" Agua caliente Electricidad
Gasificación de leña, Carbón de leña, y residuos vegetales (gas pobre)	Electricidad 10 KW Bombeo de agua/riego en motores Diesel Secado de granos
Micro-Centrales Hidroeléctricas	Electricidad
Molinos de viento	Bombeo de agua
Energía solar	Secado de granos Generación de energía eléctrica con celdas solares

Una de las comparaciones más frecuentes, no solamente en el caso de la introducción de tecnologías nuevas, es la comparación del suministro centralizado con el descentralizado de la energía eléctrica. En el suministro descentralizado, a su vez, tenemos las opciones de las fuentes nuevas.



Para fines de comparación, se realizó un análisis del suministro de electricidad centralizado y descentralizado. En el mapa 5-1 se observa el área de cubrimiento de la red eléctrica existente. Se observa, que la red eléctrica cubre el área de alta densidad de la población, mientras que las regiones apartadas escasamente tienen el servicio por medio de plantas diesel, en el momento, la única fuente de energía eléctrica. Actualmente, muchas plantas se encuentran fuera de servicio por falta de repuestos o por simple falta de fondos para adquirir el combustible. La capacidad total instalada de plantas diesel en el año 1979 era de 182.6 MW, sin contar el gran número de plantas particulares en las viviendas y fincas en zonas apartadas.

Con las salvedades expuestas y, para una demostración tentativa de la economía de las nuevas fuentes, se enfocarán dos casos de sustitución:

- 1) planta de biogas común para la generación eléctrica, y
- 2) planta de biogas en una finca de mediano tamaño.

En el Cuadro 5-1 usamos las cifras de DAINCO sobre algunas plantas eléctricas de diesel. Según el supuesto de que los motores de diesel se podrían modificar sencillamente para operar con una mezcla de diesel (1/3) y biogas (2/3), se calcula la cantidad de biogas necesario por día, y el nú-

mero mínimo de reses para conseguir la materia prima necesaria.

Bajo la hipótesis que la materia prima sea proveída, se estima el valor del ahorro anual de diesel (precio de diesel dado para el sitio de la planta), y se compara este valor con los gastos anuales de la planta de biogas.

La última columna presenta los costos anuales de las plantas de biogas que se necesitan construir para la producción del gas requerido en base a los costos del escenario 1<sup>1/</sup>. En cada caso vale la pena investigar la posibilidad de sustitución parcial de diesel por biogas. Sin embargo, aunque estos cálculos parecen indicar una economía favorable de sustitución por biogas de plantas comunes (bajo la hipótesis que la materia prima esté disponible), es cierto que muchos problemas, como de organización, de "pricing" de electricidad (en relación con el "input" de cada contribuidor de materia prima) y de distribución del abono resultante, necesitan ser investigados antes de proceder a la instalación completa de una planta común<sup>2/</sup>. Además, no se han tenido en cuenta los costos del ajuste mecánico de plantas diesel para la operación "dual fuel".

El segundo caso es una finca. Esta finca no está conectada a la red de electricidad y usa kerosene y leña para cocina, y tiene un motor pequeño de diesel (3 hp), para las activi-

---

1/ Véanse avalúos de costos de plantas de biogas, cap. 4

2/ R. Bhatia discute claramente los problemas respectivos en la India: "Renewable Energy Sources: The Community Biogas Plant", Paper presented at Harvard University, Dept. of City and Regional Planning, Nov. 1979.

dades de generación de electricidad, de molienda, trilla, etc. - El precio de diesel es de 70 Pes./gal. Para una decisión sobre la introducción de una planta de biogas, se estiman las demandas siguientes:

cocina	)	
nevera (nueva)	)	10 m <sup>3</sup> /día biogas
3 hp ( 300 W		iluminación
( 1,000 W		otros electrodomésticos
		molino
		etc.

En general, el motor de diesel opera por 4 horas por día, i.e. 12 hp-hrs. Dado un consumo estimado de 0.25 l diesel/hp-hr, el consumo de diesel en promedio es de 3 l/día. En vista de la sustitución potencial de 2 l de diesel por biogas (1 l diesel = 1.77 m<sup>3</sup> biogas), la demanda total para biogas por día se eleva a: 15 m<sup>3</sup>. Esto requiere una planta de apr. 30 m<sup>3</sup>, y de alrededor de 30 - 35 reses.

El valor del diesel sustituido es:

$$(1) \quad 2 \times 365 \times \frac{70 \text{ P}}{3.78} = 13,518 \text{ P/año.}$$

Dado un precio de 20 Pes/l kerosene, el valor de aprox. 2,0 l de kerosene/día para cocina<sup>1/</sup>, que se reemplazarían por biogas, resulta en un ahorro anual de 14.600 Pesos. El ahorro total anual se eleva a aproximadamente 28.118 Pes/año.

<sup>1/</sup> Con base en la encuesta del ENE: 0.085 gal./hab. día, véase Cuadro 3-1.

CUADRO 5-1  
REEMPLAZO DE DIESEL POR BIOGAS

Localidad	Pesos/ <sup>1/</sup> gal.ACPM	KW Capacidad Planta	Horas Servicio/día	GLN Consumo ACPM/día	Mezcla de Biogas* ACPM/ día	m <sup>3</sup> bio- gas/día	** Tamaño de plan- ta (m <sup>3</sup> )	+ Número de vacas	++ Ahorro en ACPM <sub>3</sub> P/día	P/año	Costos Anuales 10 <sup>3</sup> P/ Planta Biogas <sup>2/</sup>	
ARAUCA VILLANUEVA	60	12	LB	4	5.92	1.8	28	60	62	247	90	88
AMAZONAS LA CHORRERA	80	17	RB	6	8.88	2.7	42	85	100	494	180	95
VICHADA CAZUARITO	80	28		6	17.76	5.3	83	170	215	997	364	125
GUAINIA BARRANCOMINAS	60	56	LB	6	22.2	6.7	104	210	270	930	340	150
CAQUETA ALBANIA	46	60	LB	6	29.6	8.9	138	280	365	952	350	170
CASANARE AGUAZUL	55	120	GM	4	51.31	15.4	240	480	645	1,975	720	250
CASANARE PAZ DE ARIPORO	55	120	GM	3	39.48	11.5	180	360	480	1,484	542	195

1/ 1981 (parcialmente estimado)

2/ Escenario 1 (el más conservativo)

\* 30 % diesel, 70 % biogas (6.68 m<sup>3</sup> biogas = 1 gal diesel)

\*\* Hipotesis que la planta necesita apr. un volumen que es el doble del volumen de gas requerido

+ Y (#vacas) = 2.75 (m<sup>3</sup> gas) - 15

++ La cantidad de ACPM reemplazado por biogas es multiplicada por el precio de ACPM, al objeto de estimar el ahorro

Fuente: DAINCO y cálculos propios

Los costos anuales de una planta de biogas de este tamaño ascienden a aproximadamente 44.000 Pesos/año (escenario 1)<sup>1/</sup> y 27.000 Pesos/año en el escenario 4.

Si suponemos que la planta de biogas suministra también el combustible para la nevera nueva, este cálculo indica una mayor economía de la planta de biogas. Con el tiempo de operación diaria más largo (que 4 horas), la economía de estas plantas mejorará todavía más, especialmente también con la esperada escalada de precios de productos de petróleo.

Cálculos similares se pueden efectuar para otras fuentes, como micro-centrales o plantas de gasificación, y para otros usos, como riego, o las actividades en la industria agropecuaria. Especialmente, la aplicación de la gasificación de residuos agrícolas para operar bombas de riego parece apropiada en varias partes del país.

Finalmente, se debe mencionar también el aspecto importante de la conservación de energía en el medio rural. Puntos típicos son:

- (1) El mejoramiento de la eficiencia de estufas de leña
- (2) Mantenimiento continuo y adecuado de plantas o generadoras
- (3) Funcionamiento intermitente de calentadores de agua y de otros implementos domésticos convencionales consumidores de energía.

El ahorro de energía, con estas medidas de conservación, como calentadores de agua con operación intermitente, puede, en el momento, traer mayores beneficios que la sustitución por nuevas fuentes de energía.

---

<sup>1/</sup> Escenarios para distintos valores asignados al beneficio del efluente y a la mano de obra, según sección 4.2.2.3.

Energías no convencionales en áreas  
rurales Cooperación Técnica Alemana: estudio  
Nacional de energía Thomas Mach, Jochen  
Kuehner

333.796 M149e Ej. 1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA RECIBIDO	PRESTADO A	FECHA DEVUELTO
-------------------	------------	-------------------