

**UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL**

**(UCI)**

**GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS BIOMÁSICOS  
MEDIANTE LA TÉCNICA DE GASIFICACIÓN: ALTERNATIVA PARA LA  
REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS Y LA  
EMISIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO. COSTA RICA.**

**María José Cortés Ureña**

**Proyecto final de graduación presentado como requisito parcial para optar  
por el título de Máster en Liderazgo y Gerencia Ambiental**

San José, Costa Rica

Julio 2009

UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL  
(UCI)

Este Proyecto Final de Graduación fue aprobado por la Universidad como  
Requisito parcial para optar al grado de Máster en Liderazgo y Gerencia Ambiental

---

Dra. Carmen Alexa Roldán Chacón  
Profesora Tutora

---

Dr. Nolan Quirós  
Lector

---

María José Cortés Ureña  
SUSTENTANTE

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro primero a Dios por permitirme desarrollar mis capacidades y brindarme todo lo necesario para tratar de por medio de los conocimientos adquiridos conservar el planeta tierra.

Además agradezco a mis padres por apoyarme a lo largo de este proceso y a mis profesores por transmitirme sus conocimientos y experiencias.

## INDICE DE CONTENIDOS

I INTRODUCCIÓN .....	11
1.1 Justificación .....	14
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo general .....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
II MARCO TEÓRICO .....	17
2.1 Elementos y variables a considerar en el estudio.....	17
2.2. Marco referencial .....	19
2.2.1 Respuestas Internacionales ante la problemática del calentamiento ....	26
2.2.2 Costa Rica ante el calentamiento global.....	30
2.2.3 Residuos sólidos en el marco de la estrategia de cambio climático .....	32
2.2.4 Producción energética y uso de la biomasa en Costa Rica.....	35
2.3. Marco Institucional .....	38
III. MARCO METODOLÓGICO .....	40
3.1 Fuentes y sujetos de información .....	40
3.2. Métodos y técnicas de Investigación.....	41
IV DESARROLLO DE LOS CONTENIDOS .....	42
4.1. Manejo de los residuos sólidos biomásicos en Costa Rica, en función de la normativa aplicable a la materia y el impacto ambiental.....	42
4.2. La técnica de gasificación en la generación de energía a partir de residuos biomásicos .....	55
4.2.1 La técnica de gasificación: aplicaciones .....	63

4.3. .... Características y condiciones óptimas de manejo que deben cumplir los residuos sólidos biomásicos que serán sometidos a la técnica de gasificación con el propósito de generar electricidad..... 67

V CONCLUSIONES ..... 70

VI RECOMENDACIONES..... 72

VII BIBLIOGRAFÍA..... 74

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Gases que producen el efecto invernadero .....	21
Cuadro 2. Toneladas de biomasa generada durante el año 2006 .....	42
Cuadro 3. Resumen de la Legislación General Vigente de Residuos Sólidos .....	50

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Los registros de cambios ocurridos en la composición atmosférica durante el último milenio indican un rápido aumento de gases de efecto invernadero. ....	12
Figura. 2. Esquema del mecanismo de efecto invernadero. ....	20
Figura 4. Demanda Histórica de energía desde el año 1990 al año 2006	35
Figura 5. Sistema Eléctrico Nacional, MINAE. Generación de Energía Eléctrica por tipo de planta, 2006.....	36
Figura 6. Procesos de generación de biomasa.....	58
Figura 7 Diagrama de gasificador tipo descendente updraft.....	61
Figura 8. Composición de los gases resultantes de la gasificación .....	62
Figura 9. Esquema de proceso de gasificación de la biomasa. ....	63
Figura 10. Planta de gasificación, Andalucía España.....	65

**Lista de acrónimos**

CICAFE: Centro para la Investigación del Café

COOPEDOTA: Cooperativa de Dota

DSE: Dirección Sectorial de Energía

ENCC: Estrategia Nacional de Cambio Climático

FONAFIFO: Fondo Nacional de Financiamiento Forestal

GEI: Gases de Efecto Invernadero

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

IDEA: Instituto de Desarrollo Agrario de España

IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

MINAET: Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones

PCG: Potencial de Calentamiento Global

PICC: Plan Institucional de Cambio Climático ICE

PND: Plan Nacional de Desarrollo

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PRESOL: Plan de Residuos Sólidos

Programa CYMA: Programa Competitividad y Medio Ambiente

SETENA: Secretaria Técnica Nacional Ambiental

UNA: Universidad Nacional de Costa Rica

### **Abreviaturas y simbologías**

°C: Grados Centígrados

CFC's: Clorofloururocarbonos

CH<sub>4</sub>: Metano

CO: Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono

g: Gramos

H<sub>2</sub>: Hidrógeno

HFC's: Hidrofloururocarbonos

K: Kelvin

KW: Kilo Watts

m<sup>3</sup>: Metros cúbicos

MW: Mega Watts

N<sub>2</sub>O: Oxido Nitroso

O<sub>2</sub>: Oxígeno

ppm: Partes por millón

SF<sub>6</sub>: Hexafloruro de Azufre

Tj: Tetrajoules



## RESUMEN EJECUTIVO

Costa Rica declaró a inicios de los años noventa emergencia nacional en relación con la problemática de los residuos sólidos, transcurridos más de 15 años el tema sigue siendo prioritario en la agenda ambiental del país, tanto por ser causa de contaminación y deterioro ambiental, como por ser en lo que a materia de residuos orgánicos se refiere un emisor de gases efecto invernadero que contribuyen con el cambio climático.

Según datos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, año), el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ) atmosféricos han variado en gran medida y son los dos principales gases que generan el calentamiento global y el cambio en el clima. Una de las causas que ha fomentado este aumento es el uso de combustibles fósiles que incrementa las concentraciones  $\text{CO}_2$ , además el mal manejo de los residuos sólidos orgánicos acrecienta las concentraciones de  $\text{CH}_4$ .

En nuestro país tanto la legislación nacional como las instituciones no propician una Gestión Integral de Residuos eficaz, lo que ha ocasionado problemas ambientales y de salud debido al inadecuado manejo. En general no existen practicas intrigadas de revaloración, reciclaje y reutilización de los residuos orgánicos.

Ante esta situación, el uso de residuos sólidos orgánicos presenta condiciones interesantes en cuanto a cantidad y condiciones de aprovechamiento que la sitúan en un cuarto lugar de potencial aprovechable, para la producción de energía a través de técnicas como la gasificación. (ICE, Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2007), razón por la cual el Instituto Costarricense de Electricidad ha construido un gasificador con el propósito de investigar el potencial energético de diversas fuentes.

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo Desarrollado en Costa Rica para el periodo 2006-2010 uno de los grandes retos que enfrenta la política de ambiente y energía es reducir la dependencia de combustibles importados, aprovechar mejor las fuentes de energía renovable del país y llegar a producir el 100% de la electricidad del país a partir de fuentes de energía renovables. (MIDEPLAN PND 2007:80)

La gasificación se plantea como una tecnología viable para dar tratamiento a los residuos orgánicos procedentes del sector industrial y agrícola con el fin de dar tratamiento a los residuos y la vez generar energía renovable. Sin embargo no todos los tipos de biomasa pueden utilizarse para la gasificación, deben tener ciertas características específicas que deben evaluarse entre estas el porcentaje de humedad, densidad real y aparente, poder calórico y porcentaje y tipo de ceniza.

Por lo expuesto, este proyecto de graduación es relevante dentro del quehacer del ICE, beneficiario directo de sus resultados, por cuanto pretende analizar la aplicación de la técnica de gasificación en la generación de energía energía, y como alternativa para disminuir el impacto ambiental causado por los residuos orgánicos generados por varias empresas. Es recomendable que el ICE estudie la posibilidad de fomentar la instalación de gasificadores en empresas agrícolas o agroindustriales con grandes producciones de biomasa.

La investigación es de tipo exploratorio, haciendo uso de información secundaria con la que se construye el contexto de potencial aplicación de la técnica, y se valora la aplicación de ésta a diferentes biomásas existentes en el país.

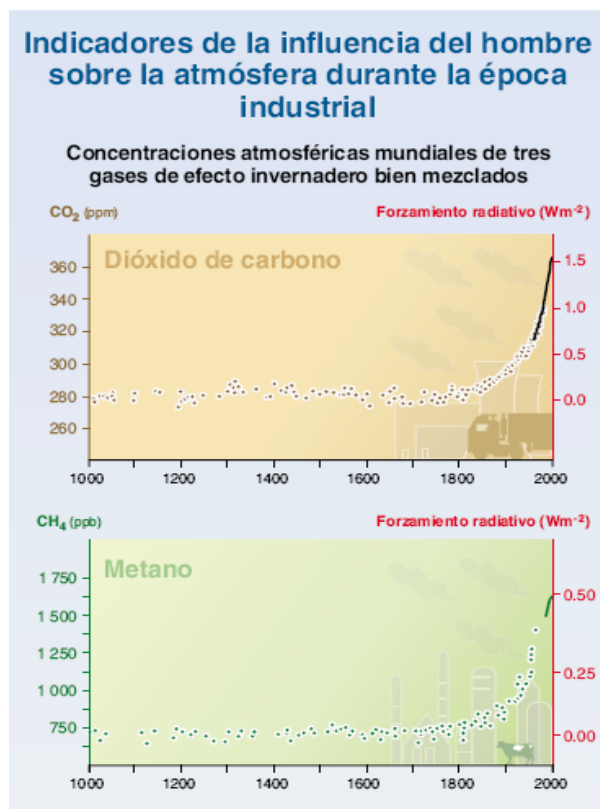
## I INTRODUCCIÓN

Hoy en día las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y porque ese aumento a intensificado el efecto invernadero natural, dando como resultado - en promedio - un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera de la Tierra que puede afectar adversamente a la diversidad biológica, incluida la especie humana. Esta preocupación da como resultado la aprobación en 1992 de Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el cual reconoce la necesidad de que todos los países desarrollados actúen de inmediato hacia estrategias de respuesta integral en los planos mundial, nacional y regional tomando en cuenta todos los gases de efecto invernadero, con la debida consideración a sus contribuciones relativas a la intensificación del efecto de Invernadero. (Convenio Marco de las Naciones Unidas 1992)

El convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático regula la aplicación de programas que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático, tomando en cuenta las emisiones antropógenas causadas por diferentes fuentes como el caso de la generación y descomposición de los residuos sólidos orgánicos y el uso de energía termoeléctrica. Para tal fin las partes se comprometen a adoptar políticas para limitar sus emisiones de gases de efecto invernadero, a través de acciones y tecnologías limpias que asienten un desarrollo sostenible. (Convenio Marco de las Naciones Unidas 1992)

De acuerdo a los datos de la Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés IPCC) las concentraciones de gases de efecto invernadero, en la atmósfera y su forzamiento radiactivo total, han aumentado generalmente a lo largo del siglo XX como resultado de las actividades humanas. Casi todos los gases de efecto invernadero alcanzaron niveles sin precedentes durante el decenio de 1990 y continúan aumentando. En términos del forzamiento radiactivo

causado por los gases de efecto invernadero emitidos por actividades humanas, el  $\text{CO}_2$  es el más importante de todos y el  $\text{CH}_4$  el segundo. De 1750 al 2000, la concentración del  $\text{CO}_2$  aumentó en un  $31 \pm 4$  por ciento, y la del  $\text{CH}_4$  en un  $151 \pm 25$  por ciento. (IPCC 2001:10)



**Figura 1.** Registros de cambios ocurridos en la composición atmosférica durante el último milenio indican un rápido aumento de gases de efecto invernadero. Fuente: IPCC, 2007

Si bien es claro que no se puede detener el desarrollo de los países, se deben tomar acciones con el objetivo de evitar la acumulación de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera y entre estas acciones esta la utilización de biomasa para la generación de energía. Esta acción permite sustituir derivados del petróleo por fuentes de energía que han sido producidas a partir del proceso de la fotosíntesis, por lo que su

producción prácticamente no tiene efecto neto en la emisión de CO<sub>2</sub>. (ICE, Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2007)

Adicionalmente, el uso de energía termoeléctrica representa una contribución muy pequeña de las necesidades de generación de nuestro país, en promedio para el periodo 1982- 2003 la utilización de energía térmica ha sido de un 4.4%, esta producción aumenta la emisión de CO<sub>2</sub>, principal gas causante del incremento de los gases efecto invernadero y existe la necesidad de fuentes alternas para la generación de energía con el fin de no depender de la generación termoeléctrica. (ICE, Plan de Generación de Energía Eléctrica, 2004: 20)

Paralelamente, otra fuente de gases de efecto invernadero son los residuos sólidos orgánicos que al descomponerse generan metano, y además causan contaminación de aguas subterráneas y superficiales. En este sentido, el Programa Estado de la Nación del año 2006 indica que los residuos que se generan en Costa Rica contienen una importante proporción de material biodegradable (49%-63%) y que se carece de una política nacional sobre desechos sólidos, problema que ha llegado a ser fuente de conflictos en distintas regiones, y al final estos son tratados en rellenos sanitarios o vertederos, causando contaminación ambiental.

Si bien el país cuenta con una cantidad importante de legislación que de una u otra forma regula el manejo de los residuos sólidos, ésta no contempla ni promueve la gestión integral de ellos, y además se carece de herramientas que favorezcan la prevención en la generación, la separación en la fuente y su valorización para que no sean considerados “basura” o simples “desechos”. (Revista Ambientico, 2008: 7)

En consecuencia, la literatura consultada muestra que el uso de residuos sólidos biomásicos presenta condiciones interesantes en cuanto a cantidad y condiciones

de aprovechamiento que la sitúan en un cuarto lugar de potencial aprovechable, para la producción de energía a través de técnicas como la gasificación. (ICE, Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2007).

Considerando que el Instituto Costarricense de Electricidad dispone de un gasificador que permite investigar el potencial energético de diversas fuentes para la producción de energía, este proyecto contribuye con el aporte de información para el desarrollo de proyectos de investigación que sustenten la promoción del uso de la técnica de gasificación en la generación de electricidad a partir de residuos biomásicos.

Por tanto la sumatoria de acciones preventivas, correctivas y de conversión, pueden contribuir significativamente, principalmente en los meses de verano cuando los embalses disminuyen el nivel de agua y se dificulta la producción de energía hidroeléctrica, con la atención de una demanda real de energías alternativas, mediante un uso óptimo de residuos sólidos orgánicos.

## **1.1 Justificación**

El Gobierno de Costa Rica ante la amenaza de cambio climático posiciona en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2006 – 2010, la Agenda de Cambio Climático como prioritaria a nivel nacional e internacional, priorización que se refleja en la Iniciativa de Paz con Naturaleza. La meta en el sector energético es reducir la dependencia de combustibles importados, aprovechar mejor las fuentes de energía renovable del país y llegar a producir el 100% de la electricidad del país a partir de fuentes de energía renovables. (Plan Nacional de Desarrollo 2006 – 2010: 78-80), y según la Estrategia Nacional de Cambio Climático algunos de los sectores que se identifican como sectores principales que causan contaminación del ambiente y que deben reducir prioritariamente sus emisiones de gases

corresponden al sector Energía, Transporte y de Residuos Sólidos. (MINAE, ENCC 2007)

Ante esta situación, se plantea la necesidad de investigar acerca de fuentes alternas para la producción de energía eléctrica en nuestro país, como es el caso de la biomasa, esta fuente permite sustituir derivados del petróleo por fuentes de energía que han sido producidas a partir del proceso de la fotosíntesis, por lo que su producción prácticamente no tiene efecto neto en la emisión de CO<sub>2</sub>. (MINAE, DSE 2006)

Además otras de las ventajas de este tipo de fuente para la generación de energía eléctrica, es que los combustibles de biomasa tienen un contenido insignificante de azufre y por lo tanto no contribuyen a las emisiones de dióxido de azufre que causan la lluvia ácida. La combustión de la biomasa produce generalmente menos ceniza que la combustión del carbón, y la ceniza producida se puede utilizar como complemento del suelo en granjas para reciclar compuestos tales como fósforo y potasio. Por otra parte reduce significativamente el problema de la disposición de basura, particularmente en áreas municipales y es un recurso disponible en Costa Rica, que no está afectado por fluctuaciones de precio a nivel mundial o a por las incertidumbres producidas por las fuentes de combustibles importados. (Textos científicos 2005)

Por otra parte el uso de fuentes renovables sigue interesando al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), como parte de su propósito de continuar generando energía eléctrica con fuentes limpias. Con este esfuerzo se evitará la generación de electricidad utilizando derivados de petróleo, cuyo precio enfrenta hoy un crecimiento constante a escala mundial. Además, permite la búsqueda de nuevas opciones energéticas con un menor impacto en el medio y económicamente rentables.

En este esquema, la investigación del uso de fuentes renovables interesa al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), siendo la meta del ICE para el 2021 llegar al 100% de la generación con fuentes renovables, empleando energías limpias, como es el caso de la biomasa, el cual es considerado como un recursos muy valiosa que se puede aprovechar en la producción de electricidad. (Grupo ICE, Revista rescatemos al Virilla, 2008).

Por tal razón el principal resultado del proyecto de graduación es realizar una investigación exploratoria con el fin de analizar el potencial de la técnica de gasificación para la producción de energía, reduciendo al mismo tiempo la contaminación causada por residuos sólidos orgánicos y por el uso de combustibles fósiles usados en la generación de electricidad.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo general***

Analizar la técnica de gasificación en la generación de energía a partir del uso de diferentes fuentes de biomasa y en consecuencia en la reducción de potenciales contaminantes ambientales.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- a) Documentar el manejo de los residuos sólidos biomasicos en Costa Rica, en función de la normativa aplicable a la materia y el impacto ambiental.
- b) Describir la técnica de gasificación en la generación de energía a partir de residuos biomásicos.
- c) Establecer las características y condiciones óptimas de manejo que deben cumplir los residuos sólidos biomasicos que serán sometidos a la técnica de gasificación con el propósito de generar energía.



## II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Elementos y variables a considerar en el estudio

De acuerdo a la Convención Marco de Cambio Climático, por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Por "gases de efecto invernadero" se entiende aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja. Una definición más amplia del cambio climático y su relación con los gases de efecto invernadero es la presentada en el Manual de Ciudadanía Ambiente Global del año 2005, el cual indica lo siguiente.

El efecto invernadero es un proceso natural por el cual los gases que están presentes en la atmósfera "atrapan" la radiación que la Tierra, a su vez, remite al espacio. Esta emisión de la Tierra es producto del calentamiento de su superficie por la radiación solar. Así, el efecto invernadero hace que la temperatura media de la Tierra sea alrededor de 33°C mayor que si este proceso no ocurriera. (PNUMA 2005:9)

La superficie terrestre, los océanos y los hielos son calentados por el Sol, y la energía que reciben es devuelta hacia la atmósfera como otro tipo de energía que, una vez en ella, es retenida momentáneamente por el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y otros gases como los clorofluorocarbonos, los hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, el óxido nitroso y el hexafluoruro de azufre, entre los más importantes (gases de efecto invernadero). (PNUMA 2005:9)

Como resultado, el planeta se mantiene lo suficientemente templado como para hacer posible la vida, pero una pequeña variación en este delicado balance de absorción y emisión de energías puede causar graves estragos. (PNUMA 2005:10)

Los productos de muchas actividades humanas contribuyen en forma sustancial al incremento del efecto invernadero: la quema de combustibles fósiles, la agricultura, la ganadería, la deforestación, algunos procesos industriales y los depósitos de desechos sólidos provocan el aumento de las concentraciones de estos gases con efecto invernadero en la atmósfera. Los desechos sólidos son entendidos como “sustancias u objetos muebles, sin uso directo, cuyo propietario requiere deshacerse de ellos o es obligado según las leyes nacionales”<sup>1</sup>. Se incluyen también los subproductos o restos de tratamientos. (Programa CYMA 2007: 52)

Por otra parte últimamente se implementó el término “Residuos Sólidos”, que se diferencia de los desechos por corresponder a sustancia u objeto que potencialmente podría revalorizarse mediante la reutilización o el reciclaje. (Programa CYMA 2007: 52)

De acuerdo a la literatura consultada los residuos orgánicos son aquellos de tipo biodegradables y tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente. Entre estos se encuentra la biomasa, que se define como la materia que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa deriva del material de vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animales. (MINAE 2007)

---

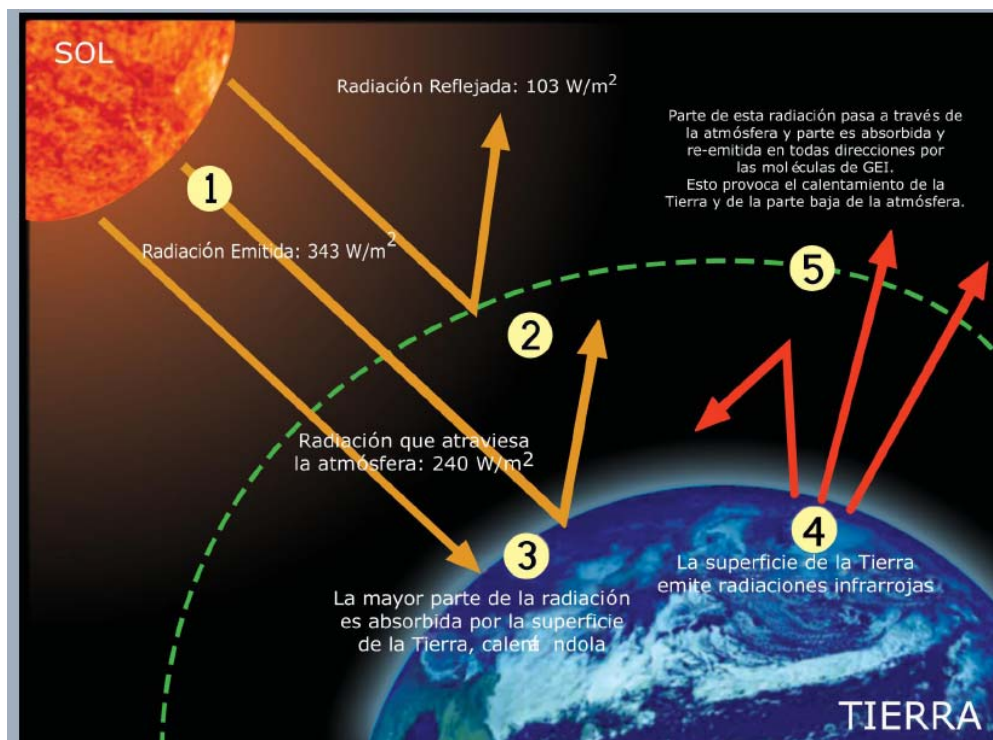
<sup>1</sup> Reglamento sobre Rellenos Sanitarios (Decreto Ejecutivo No. 27378-S de 9 de Octubre de 1998).

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

- a. **Biomasa natural:** se obtiene naturalmente e incluye la leña.
- b. **Biomasa residual:** procede de recursos generados en las actividades agrícolas, agroindustriales o forestales y normalmente se mantienen con contenidos de humedad inferiores al 80%.
- c. **Biomasa residual húmeda:** procede de las aguas residuales ya sean urbanas o industriales y también de los residuos ganaderos.
- d. **Cultivos energéticos:** son aquellos cultivos realizados tanto en terrenos agrícolas como forestales y que están dedicados a la producción de biomasa con fines no alimentarios. (MINAE, DSE 2007:52)

## 2.2. Marco referencial

El aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero hace que la capacidad de la atmósfera de retener parte de la energía reflejada por la Tierra aumente, lo cual produce finalmente el calentamiento. De acuerdo con la Figura No. 2, la Tierra recibe energía del Sol y la re-emite nuevamente hacia el espacio. La atmósfera retiene parte de la energía reflejada por la Tierra, lo que provoca una temperatura promedio del planeta de 15 °C. Si no existiera este efecto, la temperatura promedio sería de -18 °C. (PNUMA 2005:10).



**Figura. 2.** Esquema del mecanismo de efecto invernadero.

**Fuente:** Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Algunos de los principales gases con efecto invernadero aparecen detallados en la Cuadro N° 1. El potencial de calentamiento allí indicado es una medida del efecto comparado con el  $\text{CO}_2$  ya que no todos los gases absorben la radiación infrarroja de la misma manera ni todos tienen igual vida media en la atmósfera. Cuanto mayor sea esa capacidad, mayor será su *Potencial de Calentamiento Global*. (PNUMA 2005:11)

Tal como se indica en este cuadro, un gramo de algunos de los clorofluorocarbonos (CFCs) produce un efecto entre 6 mil y 7 mil veces mayor que un gramo de  $\text{CO}_2$ , pero como la cantidad de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera es mucho mayor

que la del resto de los gases de la tabla se toma esta sustancia como referencia. (PNUMA 2005:11)

Hay que tener en cuenta que los compuestos sintetizados por el ser humano, que no existían en la atmósfera naturalmente, son más difíciles de procesar por los sistemas naturales; por ello, sus emisiones tenderán a permanecer en la atmósfera más tiempo que las de aquellos de origen natural.

**Cuadro 1.** Gases que producen el efecto invernadero

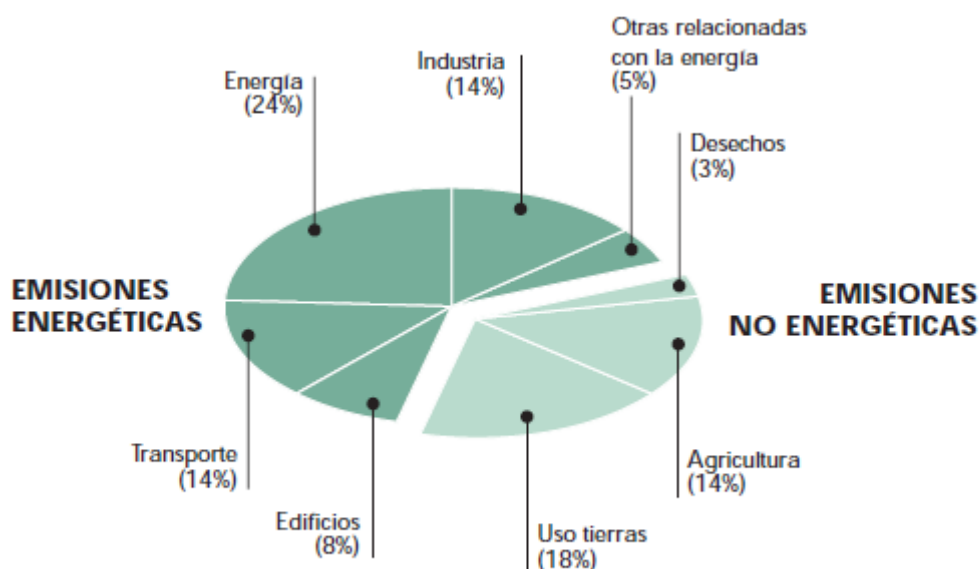
GAS	FUENTE EMISORA	PERSISTENCIA DE LAS MOLÉCULAS EN LA ATMÓSFERA (años)	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (PCG CO <sub>2</sub> = 1)
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Quema de combustibles fósiles, cambios de uso del suelo, producción de cemento	500	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	Producción y quema de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, manejo de residuos	7 - 10	21 - 23
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	Quema de combustibles fósiles, agricultura, cambios de uso de suelo	140 - 190	230 - 310
Clorofluorocarbonos (CFCs)	Refrigerantes, aerosoles, espuma plástica	65 - 110	6.200 - 7.100
Hidrofluorocarbonos (HFCs)	Refrigerantes líquidos	12	1.300 - 1.400
Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )	Aislantes eléctricos	3.200	23.900

**Fuente:** Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Cambio Climático: Manual de Ciudadanía Ambiente Global, 2005.

Según este cuadro un elemento de suma importancia para el presente proyecto es el potencial de calentamiento del metano gas generado en la descomposición de residuos orgánicos sin tratamiento, asimismo según el tipo de residuo que se trate

y el manejo realizado en el, se debe considerar la emisión de otros gases de efecto invernadero con un potencial de calentamiento aún mayor.

Como resultado de las actividades humanas, el nivel de gases invernadero en la atmósfera (con inclusión del anhídrido carbónico, metano, óxidos nitrosos y otros gases resultantes de los procesos industriales) va en aumento, presentándose en la Figura No 3 siguiente un resumen de sus fuentes, siendo las emisiones energéticas en su mayor parte, CO<sub>2</sub> (algunos gases no CO<sub>2</sub> industriales y de otras fuentes relacionadas con la energía). Las emisiones no energéticas son CO<sub>2</sub> (uso de tierras) y no CO<sub>2</sub> (agricultura y desechos) (Stern Review 2007)



**Figura 3.** Emisiones de gases invernadero en el 2000 por fuente: Emisiones totales en el 2000: 42 GtCO<sub>2</sub>e.

**Fuente:** Preparada por el Stern Review, a partir de información extraída de la base de datos en línea, versión 3.0, de la Herramienta de análisis de indicadores climáticos (CAIT) del Instituto de Recursos Mundiales.

La concentración atmosférica de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ha aumentado en un 31 % desde 1750. La concentración actual de  $\text{CO}_2$  no se había superado en los últimos 420.000 años y es probable que tampoco en los últimos 20 millones de años. (IPCC 2001:6)

El ritmo actual de crecimiento no tiene precedentes, al menos en los últimos 20.000 años. (IPCC 2001:6)

- Unas tres cuartas partes de las emisiones antropógenas de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera durante los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles de origen fósil. El resto se debe principalmente a cambios en el uso de la tierra, especialmente la deforestación.
- Los océanos y la tierra actualmente captan juntos la mitad de las emisiones antropógenas de  $\text{CO}_2$ . En la tierra, la absorción de  $\text{CO}_2$  muy probablemente superó las emisiones de  $\text{CO}_2$  a causa de la deforestación en los años noventa.
- El ritmo de aumento de la concentración del  $\text{CO}_2$  atmosférico fue de 1,5 ppm (0,4 %) por año en los dos últimos decenios. En los años noventa, el aumento anual varió de 0,9 ppm (0,2 %) a 2,8 ppm (0,8 %). Una gran parte de estas variaciones se debe al efecto de la variabilidad climática (por ejemplo, los fenómenos ENOA) en la absorción y emisión de  $\text{CO}_2$  por parte de tierras y océanos.
- La concentración del metano ( $\text{CH}_4$ ) en la atmósfera ha aumentado en 1.060 ppmm (151 %) desde 1750 y sigue aumentando.

La concentración de  $\text{CH}_4$  no se había superado en los últimos 420.000 años. El crecimiento anual de la concentración de  $\text{CH}_4$  fue más lento y se hizo más variable en los años noventa en comparación con los ochenta. Un poco más de la mitad de

las emisiones de CH<sub>4</sub> actuales son antropógenas (por ejemplo, utilización de combustibles de origen fósil, ganadería, cultivo del arroz y vertederos). (IPCC 2001:6)

El CO<sub>2</sub> es el gas dominante de efecto invernadero por influencia humana, que representa el 60% del total de los cambios en las concentraciones de todos los Gases de Efecto Invernadero muy resistentes mezclados de forma homogénea en todo el planeta. (IPCC 2001:32)

Por otra parte el metano (CH<sub>4</sub>) es un gas de efecto invernadero (GEI) que procede de fuentes tanto naturales (p.ej., los humedales) como influidas por el ser humano (p.ej., agricultura, actividades de gas natural y vertederos). Poco más de la mitad de las emisiones actuales de CH<sub>4</sub> son antropógenas. (IPCC 2001:34)

El gas es eliminado de la atmósfera por reacciones químicas. Desde 1983 se han hecho mediciones sistemáticas y representativas de la situación mundial de la concentración de CH<sub>4</sub> en la atmósfera, y el registro de las concentraciones en la atmósfera se ha extendido a épocas anteriores a partir del aire extraído de muestras de hielo y capas de neviza. El metano representa un 20% del total de todos los GEI muy persistentes y mundialmente bien mezclados. (IPCC 2001:34)

La evidencia respecto a las variaciones climáticas que se están produciendo es abundante, se encuentran ejemplos de sequías severas y prolongadas, de algunas regiones con aumentos y otras con disminución en las precipitaciones, y aumentos en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos como tormentas, huracanes y tornados. La magnitud de los impactos que habrán de ocurrir dependerá por un lado, de la evolución que se produzca en el nivel de las emisiones de gases de efecto invernadero en el planeta y, por otro, de las acciones que se desarrollen para su mitigación. (PNUMA 2005: 16)

En los diversos escenarios proyectados por el IPCC es posible esperar, entre otros impactos, los siguientes:



- Aumento de las temperaturas de entre 1°C y 6°C a lo largo de este siglo.
- Elevación del nivel de mar de entre 10 cm y 90 cm en el siglo y aumento de las inundaciones costeras.
- Cambios en los regímenes de precipitaciones.
- Aumento de periodos de sequía prolongada en algunas regiones.
- Aumentos en la frecuencia, duración e intensidad de eventos climáticos extremos.
- Incremento de la frecuencia y severidad de las olas de calor, más acentuadas en las zonas urbanas (debido al fenómeno de la burbuja de calor).

Las conclusiones del IPCC apuntan entonces, a dos órdenes de cambios esperados en el clima futuro: por un lado se prevén cambios de tipo paulatino: aumentos de la temperatura, aumentos o disminución de las precipitaciones y aumentos en el nivel del mar; por otro, se espera un aumento en la frecuencia de ocurrencia, en la duración y en la intensidad de eventos climáticos severos o extremos. (PNUMA 2005: 16)

El cambio climático es una seria amenaza para el mundo en desarrollo y un importante obstáculo para la reducción continuada de la pobreza en sus múltiples dimensiones. En primer lugar, desde un punto de vista geográfico, las regiones en desarrollo se encuentran en desventaja, puesto que, por término medio, son ya más cálidas que las regiones desarrolladas, además de experimentar una elevada variabilidad en la pluviosidad. Como resultado de ello, todo calentamiento adicional del planeta resultará en mayores costes y reportará escasos beneficios para los países pobres. (Stern review 2007)

En segundo lugar, los países en desarrollo –y, en particular, los más pobres– dependen grandemente de la agricultura (sector económico más directamente afectado por el clima), además de carecer de un sistema de salud adecuado y de

contar con servicios públicos de baja calidad. En tercer lugar, sus bajos ingresos y su vulnerabilidad dificultan en gran manera su adaptación al cambio climático. (Stern review 2007)

### ***2.2.1 Respuestas Internacionales ante la problemática del calentamiento***

La Primera Conferencia Mundial del Clima, realizada en 1979, reconoció al cambio climático como un problema importante y en 1988, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial establecieron el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). Su mandato consiste en evaluar el estado del conocimiento sobre el sistema climático global y el cambio climático, sus impactos ambientales, económicos y sociales y las posibles estrategias de respuesta en esta materia. A la fecha, sus acciones han contribuido a sistematizar la evidencia científica disponible sobre el cambio climático global y a facilitar el proceso de elaboración de una respuesta internacional para un problema que afecta a un bien ambiental común de escala global. (PNUMA 2005:20).

Por otra parte en la Primera Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, se firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, como parte de un conjunto de acuerdos ambientales entre los que se cuentan la Convención sobre Diversidad Biológica y la de Lucha contra la Desertificación, que acompañaron la Declaración de Río y la Agenda 21. Estos acuerdos constituyen hitos trascendentes en la búsqueda de un sistema internacional de gestión para los problemas ambientales de escala global. (PNUMA 2005:20)

El objetivo de la Convención es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias

antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. (Ley 7414 1992)

La Convención Marco, que entró en vigencia en 1994, incorporó cuatro principios centrales para el tratamiento del cambio climático:

- a. El principio que define al cambio climático como una preocupación común de la humanidad.
- b. El principio de las responsabilidades comunes, pero diferenciadas, de los países con diferentes niveles de desarrollo
- c. El principio precautorio, que privilegia la acción para enfrentar el fenómeno –aún en ausencia de certidumbre plena– debido a la gravedad de los riesgos que implica y la irreversibilidad de alguno de sus efectos.
- d. El principio de la equidad en la asignación de las cargas para la mitigación y la adaptación a la nueva situación, lo que incluye la obligación de los países desarrollados, principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero, de transferir tecnologías más limpias, otorgar asistencia financiera a los países en desarrollo para enfrentar el problema y especialmente para los compromisos adoptados para la mitigación de las emisiones. (PNUMA 2005:20)

La voluntad política de la comunidad internacional dirigida a mitigar el cambio climático global consiguió plasmarse en 1997 en el Protocolo de Kyoto. Entre los principales elementos que integran la arquitectura del Protocolo se cuentan:

- Compromisos cuantitativos que incluyen metas de emisión y compromisos generales.
- Implementación de políticas y medidas nacionales y de mecanismos de flexibilización, que contribuyan a hacer viable el cumplimiento de los compromisos.
- Minimización de impactos para los países en desarrollo, incluyendo la creación de un Fondo de Adaptación.
- Preparación de inventarios nacionales de emisiones para la generación de un sistema de información internacional.
- Sistema de aseguramiento del cumplimiento de los compromisos asumidos por las Partes. (PNUMA 2005:21)

Los gases de efecto invernadero cubiertos por el Protocolo de Kyoto son:

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Hidrofluorocarbonos (HFCs)
- Perfluorocarbonos (PFCs)
- Hexafloruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

Se estima que los primeros tres gases generan aproximadamente el 50%, 18% y 6%, respectivamente, del efecto del calentamiento global debido a las actividades humanas. Existen otros gases de efecto invernadero no cubiertos por el Protocolo de Kyoto. Algunos de ellos son cubiertos por el Protocolo de Montreal, ya que también contribuyen al adelgazamiento de la capa de ozono. (PNUMA 2005:21)

Los compromisos cuantitativos de limitación y reducción de emisiones, establecidos por el Protocolo, representan una reducción agregada que –para todos los países que tienen esa obligación– alcanza al menos al 5% de los niveles de emisión verificados en 1990. Esos niveles deben alcanzarse en el primer período de compromiso, establecido entre 2008-2012. (PNUMA 2005:21)

Sin embargo, la entrada en vigencia del Protocolo se ha visto demorada por los desacuerdos respecto de su implementación, que reflejan el diverso abordaje que los países hacen de la cuestión ambiental, la existencia de patrones de consumo diferenciados y culturas contrastantes y, a la vez, la existencia de intereses económicos divergentes, en un escenario internacional signado por enfrentamientos crecientes, problemas de seguridad, el aumento de la desigualdad, y en el que predominan estrategias nacionales contrapuestas, que dificultan el logro de acuerdos y relegan la importancia de la dimensión ambiental en la agenda internacional. (PNUMA 2005:21)

Las tecnologías y las prácticas destinadas a reducir las emisiones de GEI evolucionan constantemente. Muchas de las nuevas tecnologías apuntan principalmente a mejorar la eficiencia de la energía proveniente de los combustibles de origen fósil o del uso de la electricidad y la creación de fuentes de energía con bajo porcentaje de carbono, ya que la mayoría de las emisiones de GEI (en términos de CO<sub>2</sub> equivalentes) están relacionadas con el uso de la energía. (IPCC Mitigación 2001:24)

Entre las principales opciones de mitigación para el sector energía se identifican las fuentes de energía renovables, como la energía solar y la biomasa, siguen creciendo a medida que bajan los costos, pero la contribución total de las fuentes de energía renovables no hidroeléctricas a nivel mundial sigue siendo inferior al 2%. Para el año 2010, la combustión combinada de carbón y biomasa, la gasificación de la leña, el uso de sistemas fotovoltaicos más eficientes, las plantas generadoras de energía eólica en alta mar y los biocombustibles basados en el etanol son algunas de las tecnologías capaces de penetrar en el mercado. (IPCC Mitigación 2001:38).

La mejor opción de mitigación dependerá probablemente de las circunstancias locales, y es posible que una combinación de estas tecnologías sea capaz de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 350 a 700 MtC para el año 2020, en comparación con un nivel proyectado de emisiones de aproximadamente 4.000 MtC en ese sector. (IPCC Mitigación 2001:37)

### ***2.2.2 Costa Rica ante el calentamiento global***

Costa Rica es firmante de la Convención Marco de Cambio Climático la cual ha sido ratificada mediante Ley No. 7414 además, es firmante del Convenio Regional ratificado mediante Ley No. 7513, también del Protocolo de Montreal y otros instrumentos jurídicos que buscan reducir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. Por su parte, leyes como la Orgánica del Ambiente No. 7554 y la Forestal No. 7575, legislan sobre la contaminación del aire y la protección de los bosques como sumideros de carbono. Legislación como la Ley de Salud No.5395, Decretos No. 19049-S, 27378-S, regulan lo relativo a contaminación y específicamente lo atinente a residuos sólidos.

Con este amplio ordenamiento jurídico y una larga trayectoria de protección ambiental, el Plan Nacional de Desarrollo periodo 2006-2010 establece como uno

de los grandes retos que enfrenta la política de ambiente y energía, la reducción de la dependencia de combustibles importados, el uso de fuentes de energía alternativas y la producción de un 100% de la electricidad del país a partir de fuentes de energía renovables. (MIDEPLAN PND 2007:80)

En consecuencia, la agenda de cambio climático está posicionada al más alto nivel de compromiso nacional en el Plan Nacional de Desarrollo de Costa Rica (2007 - 2010), la iniciativa presidencial Paz con la Naturaleza y el Consejo de Gobierno nacional, que establecen el marco de acciones concretas del estado para la intervención ante el cambio climático que se plasman en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), habiéndose establecido lineamientos para alcanzar el objetivo de ser un territorio Carbono Neutral para el 2021. (MINAET 2008: 1)

La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) es una iniciativa gubernamental que persigue responder a la problemática mundial con enfoque nacional, con una fuerte participación de los diferentes actores y sectores. La Estrategia incluye cuatro principios fundamentales y cinco ejes de acción. Las bases fundamentales son responsabilidad compartida, oportunidad, amenaza y desarrollo de capacidad y legitimidad para incidir internacionalmente.

Los cinco ejes de acción incluyen 1) mitigación, 2) vulnerabilidad y adaptación, 3) métrica, 4) desarrollo de capacidades y transferencia tecnológica, y 5) educación y sensibilización. (MINAET 2008)

El eje de mitigación tiene como objetivo ser un país “neutro en emisiones de carbono” para el año 2021. La mitigación se implementará en 3 sub-ejes: reducir emisiones de gases por fuentes, captura y almacenamiento de carbono y mercados de carbono en los sectores: energía, transporte, agropecuario, industria, residuos sólidos, turismo, hídrico y cambio de uso de suelo. (MINAET 2008). Este eje busca desarrollar una cultura de mitigación de gases de efecto invernadero

(GEI) en donde los diferentes sectores generen acciones concretas. En una primera etapa las organizaciones y entidades realizan un inventario y reporte que permita establecer prácticas periódicas de medición, para, en una segunda etapa identificar oportunidades de mitigación en curso y futuras que aumenten el desempeño ambiental y la descarbonización de los procesos. (MINAET 2008: 3)

Como plataforma que facilita el desarrollo de la Estrategia se encuentra la existencia del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal responsable del programa de pago de servicios ambientales, instrumento económico que contribuye con la protección de ecosistemas, el establecimiento de áreas protegidas silvestres en un 23% del territorio las cuales son administradas por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, y el desarrollo de programas de calidad de aire en el Ministerio de Salud y de cambio climático en el Instituto Meteorológico Nacional, entre otros.

### ***2.2.3 Residuos sólidos en el marco de la estrategia de cambio climático***

De acuerdo con la ENCC (MINAE, 2007) los residuos sólidos son uno de los principales sectores que deben ser atendidos por cuanto se debe realizar un adecuado tratamiento para evitar la generación de metano que se produce cuando los mismos son descompuestos. En este esquema, los desechos se entienden como “sustancias u objetos muebles, sin uso directo, cuyo propietario requiere deshacerse de ellos o es obligado según las leyes nacionales”<sup>2</sup>. Se incluyen también los subproductos o restos de tratamientos. De acuerdo a la literatura consultada los residuos orgánicos son aquellos de tipo biodegradables y tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente. Últimamente se implementó el término “Residuos Sólidos”, que se diferencia de los desechos por

---

<sup>2</sup> Reglamento sobre Rellenos Sanitarios (Decreto Ejecutivo No. 27378-S de 9 de Octubre de 1998).



corresponder a sustancia u objeto que potencialmente podría revalorizarse mediante la reutilización o el reciclaje. (Programa CYMA 2007: 52)

Se estima que en Costa Rica se generan 4.500 toneladas diarias de residuos sólidos domiciliarios y que cerca del 30% de ellos se deposita sin ningún control en calles, ríos y lotes baldíos, lo que provoca estrangulamiento del alcantarillado, contaminación visual, variación del caudal de los ríos y deterioro ambiental. (Estado de la Nación 2006)

Los residuos que se generan en Costa Rica contienen una importante proporción de material biodegradable (49%-63%). Por esa razón, cualquier plan para el manejo de desechos debe tener como componente fundamental el tratamiento de este tipo de materiales. Si el sector municipal lograra tratar al menos el 50% de los residuos sólidos biodegradables y transformarlos en compost, se ahorraría 29 millones de dólares anuales por concepto de recolección, transporte y disposición. Sin embargo, actualmente en el país no se recupera ni siquiera el 10% de los materiales reciclables. (Estado de la Nación 2006). Los principales impactos que ocasionan la descomposición de los residuos orgánicos e el agua son los siguientes:(Ecorgánicas 2009)

- Producción de lixiviados y fenómenos de escorrentía con el consiguiente peligro de contaminación de los mantos acuíferos.
- Contaminación por descarga puntual de cuerpos de aguas superficiales utilizados como receptores.
- Contaminación por escorrentías hacia quebradas, sistemas de riego, embalses, lagunas, humedales, mar, etc.
- Contaminación de acuíferos subterráneos como consecuencia de percolación de lixiviados, provenientes de botaderos y rellenos sin control.

Como consecuencia de la contaminación de las aguas, los recursos hídricos superficiales disminuyen el oxígeno disuelto y aumentan los nutrientes como Nitrógeno y Fósforo, debido a las concentraciones de materia orgánica, ocasionando procesos de eutrofización, y la contaminación de los recursos hídricos subterráneos trae riesgos para la salud por contaminación con nitritos y otras sustancias químicas. (Ecorgánicas 2009)

Por otra parte los principales impactos ocasionados por la descomposición de los residuos orgánicos en el suelo corresponden a los siguientes: contaminación del suelo como consecuencia del vertido indiscriminado de residuos orgánicos, y se incrementa con la adherencia de plaguicidas a los mismos e intoxicación del suelo, incremento de la carga de microorganismos patógenos, erosión del suelo. (Ecorgánicas 2009)

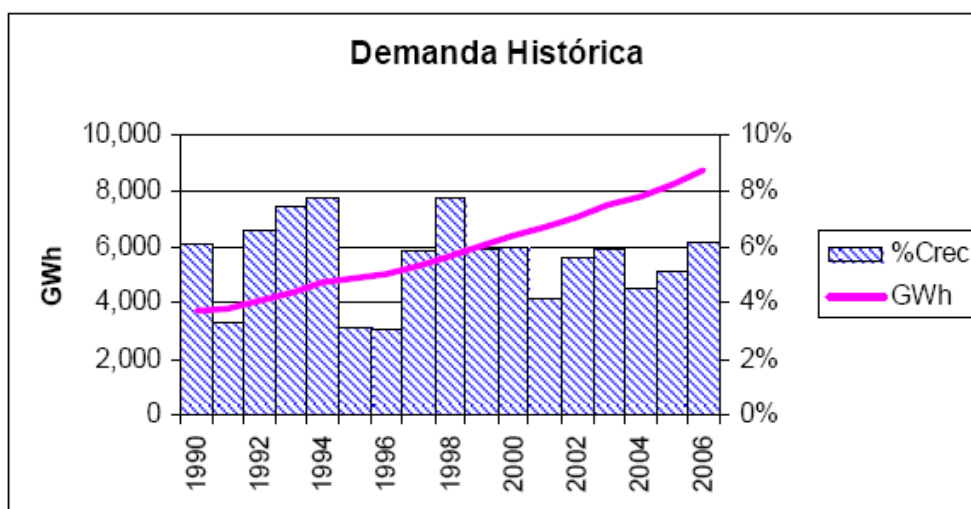
En condiciones anaeróbicas al descomponerse los residuos orgánicos se generan procesos biológicos de desintegración que produce un gas compuesto de aproximadamente un 50% de metano un gas de efecto invernadero. Una tonelada de metano es equivalente, en su potencial de calentamiento global a 56 toneladas de CO<sub>2</sub>, en un horizonte de 20 años (Programa CYMA 2006: 98), por lo que las emisiones de metano producidas por la descomposición de residuos orgánicos aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global.

Además genera malos olores como consecuencia de la descomposición de residuos orgánicos. Causan contaminación del aire por malos olores, humos, gases y partículas en suspensión por quemas y arrastre de los vientos y son un riesgo de combustión espontánea en botaderos a cielo abierto. (Ecorgánicas 2009)

El manejo inadecuado de los residuos orgánicos biodegradables también puede traer impactos ambientales dirigidos a la salud como proliferación de moscas, ratas, y malos olores.

#### 2.2.4 Producción energética y uso de la biomasa en Costa Rica

Desde el año 1990, la demanda eléctrica ha crecido constantemente a un ritmo anual promedio del 5.5%. En el año 2006 la tasa de crecimiento fue de 6.2%. En la Figura No. 4 se muestra la curva de la demanda de energía y las tasas de crecimiento, hasta el año 2006. (ICE Plan de expansión de generación eléctrica 2007)



**Figura 4.** Demanda Histórica de energía desde el año 1990 al año 2006

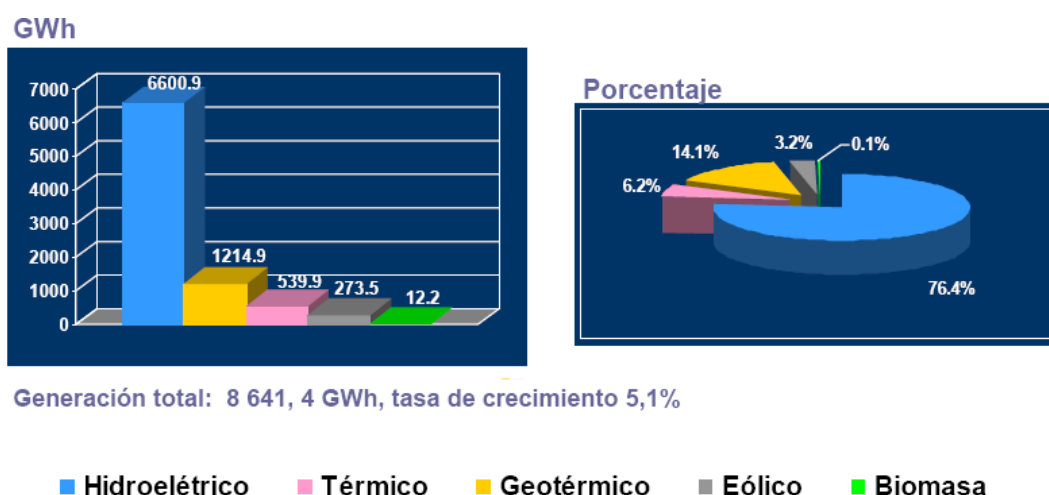
**Fuente.** Plan de expansión eléctrico del ICE, 2008-2012

Esta demanda se sostiene en su mayoría a través de la generación de energía eléctrica con fuentes renovables, las cuales abarcan un 76,4% de energía hidroeléctrica, 14,1% geotérmica, 3,2% eólica y un 0,1% a partir de fuentes biomásicas. El 6,2% restante corresponde a generación de energía a través de

fuentes no renovables, como la térmica. (Ver figura 5). (ICE Plan de expansión de generación eléctrica 2007)

Sin embargo el aumento de la demanda energética, ha conducido al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el cual es principal generador en Costa Rica, ha utilizar todas fuentes renovables viables hasta el momento para abastecer dicha demanda. Sin embargo la problemática principal se centra en que hasta ahora solo se aprovecha el 20% del potencial hidroeléctrico estimado para el país, debido a que la gran mayoría de este potencial se encuentra en zonas protegidas, igualmente ocurre con la producción de energía geotérmica, donde no es posible construir de acuerdo a lo que dicta la legislación nacional. (ICE Plan de expansión de generación eléctrica 2007)

Esto conlleva a que debido a las limitaciones para usar el potencial de fuentes renovables y a la escasa investigación de otras fuentes alternativas para la generación de energía eléctrica, el ICE produzca un mayor uso de fuentes termoeléctrica (combustibles fósiles). En el año 2006 un 6.2% del total de energía generada correspondió al uso de energía termoeléctrica.



**Figura 5.** Sistema Eléctrico Nacional, MINAE. Generación de Energía Eléctrica por tipo de planta, 2006. **Fuente:** ICE, Centro Nacional de Planificación Eléctrica, Análisis

Como se menciona anteriormente el consumo de toda energía fósil implica la producción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y existe una relación directa entre esta concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera y las emisiones antropogénicas. De ahí la importancia de investigar e implementar acciones para el uso de recursos renovables como la biomasa para la producción de energía eléctrica.

En algunos sectores productivos se aprovecha la biomasa como fuente de electricidad y calor para autoconsumo, con el fin de disminuir costos tanto en tratamiento de desechos, como en el consumo de electricidad para los diferentes procesos. Incluso algunas empresas le venden el restante al sistema eléctrico del Instituto Costarricense de Electricidad (Venegas 2009). Entre las distintas biomásas que actualmente se están utilizando para la producción de energía tenemos: la cascarilla de arroz, la boñiga, los coquillos de palma, broza de café, bagazo y hasta las aguas residuales. De las cuales su forma de aprovechamiento no son las mismas.

El sector cafetalero utiliza la cascarilla del café como combustible para sus calderas y hornos de secado, como lo hacen también las empresas arroceras con la cascara de arroz para los hornos donde se seca el grano. Además se puede mencionar que por medio del ingenio de muchos productores de azúcar, utilizan el bagazo para producir la energía necesaria para su producción (Venegas 2009).

Otra de las formas de aprovechar esta biomasa es por medio de los biodigestores como lo hacen muchos lecheros de nuestro país. Utilizan el biogás para calentar el agua necesaria para la limpieza de equipos de ordeño. Importante mencionar que en las plantas de tratamiento también se da la generación de biogás y por ende ha sido uno de los sectores que ha optado por el aprovechamiento del mismo para la producción de energía, con el fin de disminuir la dependencia de

combustibles fósiles para alimentar las calderas de la planta de tratamiento (Venegas 2009).

Otras de las formas que se aprovecha las biomasa para la generación de energía es a partir de la descomposición de residuos en rellenos sanitarios, donde por medio de el metano que se genera es posible abastecer a la comunidad del área de influencia directa del relleno, a partir de la utilización del biogás. Por último otro de los sistemas utilizados es el de gasificación que funciona a partir de la biomasa producida en los beneficios de café (broza y cascarilla) para producir un gas combustible, que servirá para la generación de electricidad, con el objetivo de satisfacer parcialmente las necesidades de electricidad en las cooperativas cafetaleras (Venegas 2009).

### **2.3. Marco Institucional**

El proyecto de graduación será de gran utilidad para el área de Investigación y desarrollo del Instituto Costarricense de Electricidad, la cual pertenece a la Unidad de Estratégica de Negocios Proyectos y Servicios Asociados (UEN PYSA) del Sector Eléctrico.

Dicha Unidad de Negocios trabaja por el desarrollo del país, en la construcción de proyectos y servicios asociados a la industria eléctrica, bajo el principio de desarrollo sostenible. Paralelamente el área de Investigación y Desarrollo impulsa y desarrolla proyectos que contribuyan a mejorar la confiabilidad, calidad y costo del servicio eléctrico que recibe el usuario final del ICE, promoviendo la identificación de necesidades de innovación tecnológica con la finalidad de desarrollar aquellos proyectos que estén alineados con las metas estratégicas de la UEN y del ICE Electricidad, y cuya comercialización, pueda atraer recursos sanos a la empresa. Debido a estas funciones es que dicha área tiene un gran interés por investigar el potencial de la técnica de gasificación y sus beneficios.

El Grupo ICE tiene la firme voluntad de participar en la investigación, desarrollo y utilización de todas las fuentes de generación eléctrica renovables y ambientalmente adecuadas, como pueden ser la energía hidroeléctrica, geotérmica, eólica, solar, biomásica, marinas, entre otras, como forma de mitigar o evitar los efectos nocivos causados por el uso de tecnologías de generación que producen gases efecto invernadero. La selección de las mejores opciones para el país se realizará considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales.

El objetivo del Programa de Cambio Climático es contribuir al logro del C neutral, a la prevención y adaptación al cambio climático de Costa Rica mediante políticas, proyectos y acciones del Grupo ICE que sean viables técnica, económica y ambientalmente, que permitan disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y que logren la captura de carbono y la minimización de los efectos negativos. (ICE, PCCC 2007)

Para el cumplimiento de este objetivo, el ICE desarrollo seis acciones estratégicas, la acción numero 2 corresponde al desarrollo y utilización de fuentes renovables de generación eléctrica. Parte de esta acción estratégica corresponde la producción de energía a partir de la utilización de fuentes biomásicas(ICE, PCCC 2007)

El programa de producción de energía a partir de la utilización de fuentes biomásicas del ICE se conforma de tres componentes: la producción de energía (biogás) para uso doméstico, la generación de electricidad a partir de biogás para uso industrial y la cogeneración de electricidad a partir de bagazo para uso industrial y conexión a la red eléctrica. (ICE, PCCC 2007)

La meta del ICE para el 2021 es llegar al 100% de la generación con fuentes renovables, empleando energías limpias, como es el caso de la biomasa, el cual es considerado como un recursos muy valiosa que se puede aprovechar en la producción de electricidad.

### **III. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Fuentes y sujetos de información**

Para la elaboración de la tesina se utilizarán fuentes de información de tipo primaria y secundaria. Los documentos consultados serán revistas especializadas, informes del ICE, informes de instituciones que trabajan con energías alternativas y estudios de países que generan electricidad con la técnica de gasificación.

Serán sujetos de información personal e investigadores del Instituto Costarricense de Electricidad que trabaja en el área de Investigación y Desarrollo de tecnologías alternativas para la generación de energía.

Por tanto de acuerdo con las fuentes de datos la investigación es de tipo exploratoria – descriptiva puesto que se centra en la recopilación de datos, con el fin de obtener antecedentes, evidenciar la problemática y profundizar en las teorías existentes acerca del uso de tecnologías limpias como la gasificación, como instrumento para reducir la contaminación causada por residuos orgánicos y como fuente alterna para la generación de energía renovable.

El estudio es un “metanálisis” que se sustenta en información disponible, para valorar la viabilidad de aplicación de la técnica de gasificación en el uso de energía eléctrica a partir de recursos biomásicos disponibles en empresas agrícolas e industriales.



### 3.2. Métodos y técnicas de Investigación

La investigación es de tipo exploratoria - descriptiva pues pretende examinar el tema que ha sido estudiado con el fin de que sirva como antecedente o preparación para otras investigaciones.

El método es de tipo analítico-sintético puesto que primeramente se analizará la legislación y problemática existente por el mal manejo de los residuos sólidos en Costa Rica, con el fin de evaluar si la técnica de gasificación es viable para solucionar dicha problemática y ser una fuente renovable para la producción de energía. Por tanto la investigación seguirá las siguientes fases:

**Fase 1: Manejo de los residuos sólidos biomásicos en Costa Rica.** Esta fase pretende evidenciar a través de información bibliográfica la problemática actual existente por el inadecuado manejo de los residuos sólidos biomásicos y a la vez realizar una investigación acerca de las soluciones que plantea la legislación actual.

**Fase 2: Técnica de gasificación.** En esta fase se describirán la técnica de gasificación, las reacciones que se generan y las características que deben cumplir los residuos sólidos biomásicos sometidos a la gasificación. Así como también las ventajas y desventajas de utilizar esta herramienta para la generación de energía renovable.

**Fase 3: Características y condiciones óptimas.** Esta fase consiste en definir las características que deben tomarse en cuenta para determinar que tipo de desecho es apto para la gasificación, según la teoría existente.

## IV DESARROLLO DE LOS CONTENIDOS

### 4.1. Manejo de los residuos sólidos biomásicos en Costa Rica, en función de la normativa aplicable a la materia y el impacto ambiental

En Costa Rica además de los residuos orgánicos generados en el sector doméstico, existe una gran producción de residuos biomásicos del sector agrícola e industrial. De acuerdo con la Encuesta de Oferta y Consumo Energético Nacional a partir de la biomasa, realizada por la Dirección Sectorial de Energía en el año 2006, existe una gran producción de residuos biomásicos que pueden analizarse con el fin de valorar su potencial energético. A continuación se muestra un cuadro con las principales biomásas generadas y la producción aproximada en toneladas durante el año 2006.

**Cuadro 2.** Toneladas de biomasa generada durante el año 2006

FUENTE	PRODUCCIÓN (TONELADAS)
Bagazo	1 290 000
RAC caña de azúcar	1 009 000
Broza del café	252 000
Cascarilla de café	25 000
Leña de café	290 000
Cascarilla de arroz	50 000
Pinzote de banano seco	158 000
Cáscara de coquito	34 000
Fibra de mesocarpio	104 000
Pinzote de palma seca	169 000
Aserrín	151 000
Burucha, otros residuos	26 000
Leña de madera	249 000
Pollinaza	806 000
RAC de piña	6.351 000
Corona de piña	20 000

**Fuente:** Encuesta de oferta y consumo energético nacional a partir de la biomasa en Costa Rica-2006/DSE

Como bien se ha mencionada anteriormente muchos de estos residuos generados no son tratados adecuadamente lo que causan contaminación ambiental y problemas de salud. En el caso de los residuos forestales son pocos aprovechados en Centroamérica. Se estima que un 40 % de cada árbol extraído para la producción maderera se deja en el campo (ramas, raíces) y otro 40 % en el aserradero (astillas, corteza y aserrín). (BUN-CA 2002)

Además muchos desechos agrícolas son dejados en el campo para su descomposición natural y una reintegración de nutrientes al suelo. Esta práctica contribuye para mejorar la estructura del suelo y la prevención de erosión. Sin embargo se acumulan los residuos en varios sitios debido a las grandes cantidades generadas. Los residuos de poda como ramas y troncos se han utilizado tradicionalmente como leña para la generación de energía térmica (por ejemplo la cocción en el sector residencial rural), el secado en los beneficios de café y en pequeños porcentajes en el sector industrial artesanal. La utilización de leña para cocción en Costa Rica es mucho menos común que en los demás países Centroamericanas por el alto grado de electrificación de red eléctrica. La leña de las plantaciones de café es la más utilizada como leña de combustión (EVD 2003) (BUN-CA 2002)

El manejo que reciben algunos de los Residuos Agrícolas que más se generan en Costa Rica es el siguiente:

**Banano:** Los desechos de la siembra, cultivo y cosecha de banano como vástagos, hijos, hojas y flor son dejados y se descomponen en la plantación. (EVD 2003)

**Caña de azúcar:** Hojas y cogollo que sobran como residuos de la cosecha de la caña de azúcar se dejan en el campo para que se descompongan. (EVD 2003)

**Piña:** Las hojas de la piña han sido dejadas al campo o quemado al aire libre. Hasta el 2003 no se aprovechaba de las hojas de piña, que llevan una fibra con una calidad excelente. Una vez secado, las hojas podrían ser quemadas en instalaciones de cogeneración para producir energía térmica y eléctrica. (EVD 2003)

Por otra parte en la agroindustria y la industria alimenticia también se producen cantidades importantes de residuos sólidos y líquidos. Se trata de desechos vegetales como cáscaras, pulpas o desechos animales como carnes, sangre y grasas. (BUN-CA 2002)

Algunos de los residuos generados y el manejo actual que se ofrece es el siguiente:

**Arroz, Cascarilla:** La cascarilla de arroz se obtiene como desecho en el proceso de descascarado del arroz. Un 20.4 % de la producción de arroz consiste de cascarilla que se ha separado del grano. Tradicionalmente se ha utilizado en combustión con el fin de calentar los calentadores de agua o para secar, o se ha mezclado para el uso de fertilizante. (EVD 2003)

En los años 1999-2000 aproximadamente 50 % de las 22 arroceras utilizaron la cáscara de arroz para la generación de calor en el proceso de secado de arroz. Un 23 % de las arroceras utilizaban solo diesel y bunker, los demás utilizaron cascarilla de arroz, diesel y bunker. (Steiner 2005)

**Banano, rechazo, pinzote, cáscara:** En las empacadoras de banano se generan como residuos el banano de rechazo y el pinzote. El banano de rechazo se vende en los mercados locales, se utiliza en fábricas procesadoras de puré y jugos, se

utiliza como forraje para animales o se bota a trincheras, entre otras cosas. El pinzote es distribuido en la plantación para su descomposición natural o es depositado en trincheras. En las industrias alimenticias, que procesan el banano rechazo, se genera la cáscara de banano que está utilizando en el caso de una compañía para la elaboración de compost y como alimento para animales (MINAE, DSE 2007).

**Caña de azúcar, bagazo y cachaza** El bagazo, que se obtiene como residuo en el molido de la caña de azúcar, normalmente es utilizado en las calderas de los ingenios para la producción de energía. La cachaza que es la torta del filtro generado en la producción de azúcar, se distribuye en el campo o se utiliza para la elaboración de compost (MINAE, DSE 2007).

**Café, pulpa y cascarilla:** La pulpa de café, que se obtiene del beneficiado de café como desecho, básicamente se convierte por composteo o lombricultura en abono orgánico. La cascarilla, otro residuo, se utiliza en los hornos para el secado de café sustituyendo la leña.

**Cítricos, cáscara** Los desechos de los cítricos se obtienen sobre todo en las industrias que procesan las frutas para obtener jugos concentrados. Según EVD, muchas veces las cáscaras son dejadas para su descomposición o son utilizadas como alimento animal. (EVD 2003)

**Leña, aserrín:** El aserrín se utilizó para la generación de energía térmica en algunas ladrilleras, pero a partir de 1995 fue sustituido por bunker por su poca rentabilidad. (Steiner 2005)

**Maíz, olote:** El maíz se ha planteado sobre todo en la Zona Atlántica Norte. La producción se ha reducido por la liberación de los precios e importaciones del

grano de maíz. El olote de maíz se obtiene en el desgranado de la mazorca y se utilizó en dos proyectos pilotos para sustituir diesel en el secado de maíz y en el otro caso como combustible para una caldera en una planta en Guápiles. Los dos proyectos fueron abandonados a consecuencia de la reducción de la producción de maíz a nivel nacional. En los últimos años, el olote se ha vendido para la elaboración de forraje para animales. (Steiner 2005)

**Palma Africana, Cascarilla de nuez y fibra del mesocarpio:** La palma africana esta cultivada por diferentes cooperativas y empresarios privados en la Zona Pacifico, en la región de Parrita y Quepos. El aceite de la palma africana se usa en la industria cosmética, alimenticia y en algunos casos como combustible (biodiesel) para tractores en fincas. Los residuos como la cascarilla de la nuez, la fibra seca del mesocarpio y la fibra del pinzote, se generan en el proceso de extracción de aceite de la nuez (coquito) y de la pulpa del fruto de la palma africana. Estos residuos han sido utilizados para producir energía térmica en las agroindustrias de extracción de aceite de la palma africana. Solo una empresa produjo energía eléctrica para su autoconsumo. (Steiner 2005)

Por otra parte si bien el país cuenta con una cantidad importante de legislación que de una u otra forma regula el manejo de los residuos sólidos, ésta no contempla ni promueve la gestión integral de ellos, y además carece de herramientas que favorezcan la prevención en la generación, la separación en la fuente y su valorización para que no sean considerados “basura” o simples “desechos”. (Ambientico 2008:7)

La legislación actual tiene una visión “sanitarista”, por lo que gran parte del esfuerzo institucional se dedica a controlar la disposición final de los residuos en vertederos y rellenos sanitarios a fin de evitar riesgos a la salud por su mal manejo, sin tomar en cuenta que estamos enterrando una gran cantidad de

materiales y recursos valiosos, a la vez que estamos contaminando el suelo, el aire y el agua, aparte de estar pagando una gran cantidad de dinero por su transporte y disposición final. Mientras tanto, las alternativas de la reutilización y el reciclaje son escasamente mencionadas en las leyes y los reglamentos actuales, y, aunque existen incipientes iniciativas en ese sentido, éstas no han surgido como resultado del marco legal vigente ni del impulso institucional (Ambientico 2008:7).

Para paliar esa situación, en los últimos 20 años han entrado en la corriente legislativa más de 15 proyectos de ley tendientes a regular, algunos en forma general y otras específicas, pero no necesariamente integral, el tema de los residuos. Sin embargo, la presentación del “Proyecto de ley general de residuos” (expediente N° 15.897) por parte del Ministerio del Ambiente, el 24 de junio de 2005, propició una discusión nacional sobre la urgente necesidad que existe en el país de contar con un nuevo marco legal que cambie en forma significativa la manera en que se están manejando los residuos (Ambientico 2008:7).

Dentro de las Leyes que regulan el tema de los residuos, la principal es la Ley General de Salud N° 5395 de 1973. Sin embargo, esta ley solamente contiene un capítulo dedicado a la materia con 7 artículos, que si bien fueron muy avanzados para su época, han sido de poca aplicación en la práctica. El principal objetivo del articulado es sentar las responsabilidades tanto del generador como del Ministerio de Salud y las municipalidades a fin de evitar o disminuir en lo posible la contaminación del aire, del suelo o de las aguas por el inadecuado manejo de los desechos. Para ello, prohíbe arrojar o acumular desechos sólidos en lugares no autorizados para el efecto, utilizar medios inadecuados para su transporte y acumulación y proceder a su utilización, tratamiento o disposición final mediante sistemas no aprobados por el Ministerio de Salud. (Programa CYMA 2007: 52)

De estos artículos se deriva la potestad del Ministerio de Salud de dictar reglamentos en la materia, entre los cuales están vigentes actualmente y son de interés para este estudio los siguientes:

- Reglamento de Manejo de Basuras;
- Reglamento de Rellenos Sanitarios;
- Reglamento Sobre el Manejo y Control de Gallinaza y Pollinaza;

Por su parte, la Ley Orgánica del Ambiente de 1996 contiene muy pocos artículos que tienen que ver con el tema de los residuos, que lejos de regular solo menciona en forma general y aislada. Así el artículo 60 obliga al Estado, las municipalidades y las demás instituciones públicas, a dar prioridad al establecimiento y operación de servicios adecuados en áreas fundamentales para la salud ambiental, tales como la recolección y el manejo de desechos.

El artículo 68 establece que en el manejo y aprovechamiento de los suelos, debe controlarse la disposición de los residuos que constituyan fuente de contaminación. Las actividades productivas deben evitar descargas, depósitos o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en el suelo. Asimismo, cuando no se puede evitar la disposición de residuos contaminantes deberán acatarse las medidas correctivas necesarias que determine la autoridad competente. Cuando corresponda, el Estado, las municipalidades y la empresa privada promoverán la recuperación y el tratamiento adecuado de los desechos. (Programa CYMA 2007: 53)

Además el “Plan Nacional de Manejo de Desechos de Costa Rica” elaborado el año 1991, mediante Decreto Ejecutivo No. 22932-S-MIRENEM de 24 de diciembre de 1994, fue declarado mediante el marco de referencia que rige las estrategias de solución integral de corto, mediano y largo plazo para el manejo adecuado de los desechos del país. Asimismo, estableció la necesidad de promover “una



estrategia nacional para el manejo de desechos, con criterios técnicos y científicos, tendiente a disminuir su producción”.

Lamentablemente, dicho Plan no tuvo el impacto deseado en el país y no sirvió como base para decisiones integrales en el manejo de desechos sólidos. Por consiguiente, la mencionada estrategia nunca fue elaborada. Sin embargo, el Plan tuvo algunos impactos positivos y definitivamente contribuyó al desarrollo del sector de gestión de residuos en el país. (Programa CYMA 2007: 53)

No obstante el Decreto Ejecutivo No. 19049-S, correspondiente al Reglamento de Manejo de basuras menciona en su artículo 56, los propósitos de la recuperación de los residuos entre los cuales se destaca de interés para el estudio la recuperación de valores económicos y energéticos. Además regula el acopio y almacenamiento temporal de estos residuos recuperables.

**Cuadro 3.** Resumen de la Legislación General Vigente de Residuos Sólidos

Ley	Resumen de artículos y temas relevantes para la Gestión Integral de Residuos
Ley General de Salud. Ley No. 5395 (1973)	<p><b>ARTÍCULO 278.-</b> Todos los desechos sólidos deberán ser separados, recolectados, acumulados, utilizados cuando proceda y sujetos a tratamiento o dispuestos finalmente, por las personas responsables a fin de evitar o disminuir en lo posible la contaminación del aire, del suelo o de las aguas.</p> <p><b>ARTÍCULO 279.-</b> Prohibición arrojar o acumular desechos sólidos en lugares no autorizados para el efecto, utilizar medios inadecuados para su transporte y acumulación y proceder a su utilización, tratamiento o disposición final mediante sistemas no aprobados por el Ministerio.</p> <p><b>ARTÍCULO 280.-</b> El servicio de recolección, acarreo y disposición de basuras, estará a cargo de las municipalidades.</p> <p><b>ARTÍCULO 281.-</b> Las empresas agrícolas, industriales y comerciales, deberán disponer de un sistema de separación y recolección, acumulación y disposición final de los desechos sólidos provenientes de sus operaciones, aprobado por el Ministerio cuando por la naturaleza, o cantidad de éstos, no fuere sanitariamente aceptable el uso del sistema público o cuando éste no existiere en la localidad.</p>
Ley Orgánica del ambiente. Ley No. 7554 1995	<p><b>ARTÍCULO 68.- Prevención de la contaminación del suelo.</b> Obliga a las personas, físicas o jurídicas, públicas o privadas, evitar la contaminación del suelo por acumulación, almacenamiento, recolección, transporte o disposición final inadecuada de desechos.</p> <p><b>ARTÍCULO 69.- Disposición de residuos contaminantes.</b> En el manejo y aprovechamiento de los suelos, debe controlarse la disposición de los residuos que constituyan fuente de contaminación. Las actividades productivas evitarán descargas, depósitos o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en el suelo. Cuando no se pueda evitar la disposición de residuos contaminantes deberán acatarse las medidas correctivas necesarias que determine la autoridad competente. Cuando corresponda, el Estado, las municipalidades y la empresa privada promoverán la recuperación y el tratamiento adecuado de los desechos para obtener otros productos o subproductos.</p>

**Continuación cuadro 3.**

<b>Plan Nacional de Desarrollo 2006 – 2010; MIDEPLAN</b>	<p>Como marco orientador del Gobierno establece, entre otros, la necesidad de dar “un tratamiento adecuado a los desechos sólidos, a través de mecanismos para reducir, reciclar y procesar los desechos sólidos”.</p>
<b>Reglamento para el manejo de basuras. Ejecutivo No. 19049-S 1989</b>	<p><b>ARTICULO 3.</b> Indica que el manejo de basuras comprende las siguientes actividades: Almacenamiento, Presentación, Recolección, Transporte, Tratamiento, Disposición sanitaria.</p> <p><b>ARTICULO 4.</b> Divide el manejo de basuras en ordinario y especial.</p> <p><b>ARTÍCULO 35.-</b> Afirma que la disposición sanitaria de las basuras correspondientes al servicio ordinario deberá someterse a las exigencias de la Ley General de Salud y a las normas que dicte el Ministerio de Salud, y realizarse de acuerdo con las técnicas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Relleno Sanitario</li> <li>b) Enterramiento</li> </ul> <p><b>ARTÍCULO 56.-</b> Indica que la recuperación de los residuos sólidos a partir de basuras, tiene dos propósitos principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Recuperación de valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en el proceso primario de elaboración de productos.</li> <li>b) Reducción de la cantidad de basura producida y que se dispondrá sanitariamente.</li> </ul> <p><b>ARTÍCULO 59.-</b> El acopio y almacenamiento temporal de elementos recuperables podrá efectuarse en bodegas, antes de su traslado al sitio de clasificación y empaque, siempre y cuando se observen condiciones sanitarias y de protección de los manipuladores y del ambiente.</p>

**Fuente:** Cortés M., 2009. (Elaboración Propia)

De acuerdo con la Ley General de Salud y el Código Municipal, las empresas agrícolas, agroindustriales e industriales deben utilizar el sistema de recolección, acarreo y disposición municipal, salvo que por la cantidad de los residuos o por su naturaleza no sea posible utilizar el sistema público o no existiere en la localidad, en cuyo caso éstas deben contar con su propio sistema de separación, acumulación, recolección y disposición final, el cual debe ser aprobado por el Ministerio de Salud.

Además de lo indicado en el apartado anterior existe alguna legislación específica con respecto a residuos agroindustriales. De conformidad con el Reglamento de Granjas Avícolas, éstas deben contar con un plan de manejo de desechos, que abarca desde la limpieza y desinfección de la granja, tratamiento de camas y desechos durante el ciclo productivo, almacenamiento, transporte y mercadeo de la pollinaza o gallinaza y su uso o disposición final. Las granjas avícolas deben contar con una bitácora para llevar el control sanitario del manejo de los desechos.

También por medio del Reglamento Sobre el Manejo y Control de Gallinaza y Pollinaza, se regula el tratamiento, transporte, uso, comercialización y control de la gallinaza y pollinaza derivados de la actividad de granjas avícolas.

Las granjas y empresas avícolas son las responsables de destinar su gallinaza o pollinaza, dándole tratamiento ya sea en sus propias granjas o por algún otro Procesador debidamente inscrito en el MINSALUD.

El Decreto No. 19365-MAG-MICIT de 17 de Noviembre de 1989 declara de interés nacional y de alta prioridad la investigación, la industrialización y aprovechamiento de los desechos sólidos y líquidos que se producen en el proceso industrial del beneficiado húmedo del café, practicado en nuestro país.

De los convenios y acuerdos internacionales firmados y ratificados por Costa Rica, uno de los más relevantes para la gestión integral de residuos sólidos son el Protocolo de Kyoto - la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

El Cambio Climático y la gestión integral de residuos sólidos esta muy firmemente vinculado con el Protocolo de Kyoto, que está regulando a nivel internacional las emisiones de gases que aportan al efecto invernadero y cambio climático.

El Protocolo de Kyoto, auspiciado por la ONU en su convenio sobre cambio climático tiene como objetivo que los países industrializados reduzcan sus emisiones un 8% por debajo del volumen de 1990, meta para la que el ejecutivo comunitario ha diseñado un plan de reducción gradual. Después de su ratificación, el Protocolo de Kyoto entró en vigor para los firmantes el 16 de febrero de 2005.

El objetivo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) es la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) a un nivel que no implique una interferencia peligrosa con el sistema climático, y que permita un desarrollo sostenible.

En el protocolo los países desarrollados (incluidos en el Anexo I de la Convención) se comprometen a reducir o limitar sus emisiones en un porcentaje determinado con respecto a las que tenían en 1990.

Costa Rica tiene la meta de ser un país con un balance neutro en emisiones de carbono. De tal manera, la meta para el tratamiento y disposición final de los residuos debe ser que las emisiones equivalentes en CO<sub>2</sub> estarán neutras. El Protocolo de Kioto ofrece a Costa Rica las oportunidades de tener aportes

financieros importantes por la venta de emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> evitadas que pueden financiar parte del tratamiento y disposición final de los residuos de forma adecuada. Respecto a la utilización de la biomasa, el Plan nacional de energía 2002-2016 del MINAE, cuyo principio principal consiste en que el sector energía contribuya al desarrollo sostenible, contiene metas importantes:

- Reducir la vulnerabilidad de la infraestructura energética y del abastecimiento externo
  
- Desarrollar proyectos con fuentes alternas, entre estos los siguientes:
  - un estudio del potencial nacional de las fuentes renovables no convencionales y un diagnóstico integral de la fuente biomásica (Institución responsable: MINAE DSE)
  - un estudio de factibilidad para la sustitución de combustibles fósiles por energías alternas (Institución responsable: RECOPE)
  - un estudio de factibilidad para la generación de electricidad con energía alterna (Institución responsable: ICE)
  - una capacidad de generación de energía eléctrica con fuentes nuevas y/o renovables de al menos un 15 % (Institución responsable: ICE)
  
- Contar con una metodología que incorpore el uso de fuentes alternas en la política de precios (Institución responsable: ARESEP)

Se puede resumir que el Plan Nacional de Energía quiere reducir el consumo y la dependencia de los hidrocarburos, lo que significa una oportunidad para las energías alternativas renovables. Es un indicio importante que la utilización de la biomasa y entre ella los desechos biomásicos puedan jugar un rol importante en los próximos años.

#### **4.2. La técnica de gasificación en la generación de energía a partir de residuos biomásicos.**

Las energías renovables se plantean actualmente como alternativa a las denominadas energías convencionales aunque no son energías nuevas. Son también denominadas energías blandas o limpias siendo su ventaja más significativa su respeto hacia el medio ambiente. (Construible 2009)

Sus características principales son:

- Son limpias no generan residuos de difícil eliminación.
- Su impacto ambiental es reducido. No producen emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera.
- Se producen de forma continua por lo que son ilimitadas.
- Evitan la dependencia exterior, son autóctonas.
- Son complementarias.
- Son alternativa viable a las energías convencionales
- Mejoramiento de la ecoeficiencia y maximización del uso sostenible de recursos renovables
- Reducción de la deforestación por sustitución de la leña
- Reducción de desechos y problemas asociados
- Mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero por sustitución de fuentes fósiles; o en su caso, evitar emisiones de estos gases por prácticas o manejos no adecuados
- Mejora de las condiciones higiénicas, problemas de olores y de la salud
- Reducción de la contaminación de cuerpos acuáticos y eutroficación
- Reducción de la propagación de sustancias tóxicas
- Generación de un valor agregado, fortalecimiento de las economías rurales, propicia opciones de trabajo, ganancias adicionales

- Reducción de los costos de energía, costos de fertilización y posibles multas por vertido a los ríos.
- Cumplimiento con normas más estrictas en el futuro (límites de emisión o vertido)
- Apoyo al cumplimiento de exigencias de sostenibilidad, directriz que se incrementa en los países industrializados (por “compras verdes”: mercadeo justo, producción orgánica, certificación ambiental, etc.), se busca a la vez mejorar la imagen corporativa de la empresa. (Steiner 2005)

Se entiende por biomasa al conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La energía de la biomasa corresponde entonces a toda aquella energía que puede obtenerse de ella, bien sea a través de su quema directa o su procesamiento para conseguir otro tipo de combustible tal como el biogás. (Comisión Nacional de Energía Chilena, 2007)

La energía de la biomasa proviene en última instancia del sol. Mediante la fotosíntesis el reino vegetal absorbe y almacena una parte de la energía solar que llega a la tierra; las células vegetales utilizan la radiación solar para formar sustancias orgánicas a partir de sustancias simples y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en el aire. El reino animal incorpora, transforma y modifica dicha energía. En ambos procesos de transformación se generan subproductos que no tienen valor para la cadena nutritiva o no sirven para la fabricación de productos de mercado, pero que pueden utilizarse como combustible en diferentes aprovechamientos energéticos. (Comisión Nacional de Energía Chilena, 2007)

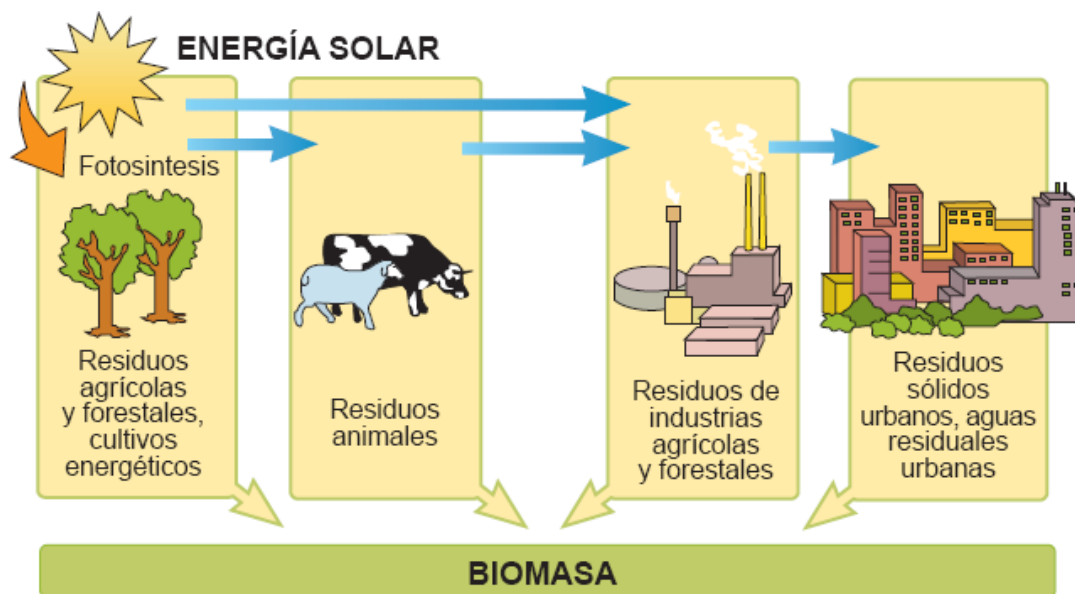
Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua, productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros



seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal. (Construible 2009)

La energía química que se almacena en las plantas y los animales (que se alimentan de plantas u otros animales), o en los desechos que producen, se llama *bioenergía*. Durante procesos de conversión tales como la combustión, la biomasa libera su energía, a menudo en la forma de calor, y el carbón se oxida nuevamente a dióxido de carbono para restituir el que fue absorbido durante el crecimiento de la planta. Esencialmente, el uso de la biomasa para la energía es la inversa de la fotosíntesis. (Textos científicos 2009)

Para el Protocolo de Kyoto, la biomasa tiene un factor de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) igual a cero. La combustión de biomasa produce agua y CO<sub>2</sub>, pero la cantidad emitida de dióxido de carbono fue captada previamente por las plantas durante su crecimiento. Es decir, el CO<sub>2</sub> forma parte de un flujo de circulación natural entre la atmósfera y la vegetación por lo que no representa un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Su uso contribuye a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera siempre y cuando sustituya a un combustible fósil. (Comisión Nacional de Energía Chilena, 2007)



**Figura 6.** Procesos de generación de biomasa.

El método utilizado para obtener calor partir de la biomasa o utilizar parte de su energía para lograr su transformación, es conocido como el método termoquímico. Hay tres tipos de procesos que dependen de la cantidad de oxígeno presente en la transformación:

- **Combustión:** se somete a la biomasa a altas temperaturas con un exceso de aire que depende de las características de los equipos y de la biomasa utilizada. Es el método más utilizado para la obtención de calor en industrias.
- **Pirólisis:** se somete a la biomasa altas temperaturas (alrededor de 500°C) sin presencia de aire con el fin de producir carbón vegetal y obtener a la vez combustibles líquidos semejantes a los hidrocarburos.

- **Gasificación:** se somete a la biomasa a muy altas temperaturas en presencia de agua suficiente para ajustar un 20% aproximadamente. El proceso emplea cantidades limitadas de oxígeno con lo que se obtiene monóxido de carbono e hidrógeno, esta mezcla conocida como gas sintético puede utilizarse para obtener electricidad y vapor. El gas sintético también puede hacerse reaccionar nuevamente con vapor de agua para formar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y más hidrógeno. (DSE 2006: 65)

Se denomina gasificación de biomasa a un conjunto de reacciones termoquímicas que se producen en un ambiente pobre en oxígeno, y que da como resultado la transformación de un sólido en una serie de gases susceptibles de ser utilizados en una caldera, en una turbina o en un motor, tras ser debidamente acondicionados. (IDEA 2007:6)

En el proceso de gasificación, la celulosa se transforma en hidrocarburos más ligeros, incluso en monóxido de carbono e hidrógeno. Esta mezcla de gases llamada gas de síntesis o “syngas”, tiene un poder calorífico inferior (PCI) equivalente a la sexta parte del poder calorífico inferior del gas natural, cuando se emplea aire como agente gasificante. (IDEA 2007:6)

El agente gasificante es un gas, o mezcla de ellos, que aporta calor para iniciar las reacciones, y oxígeno. La gasificación no es una tecnología desarrollada recientemente, sino que ha sido un recurso habitual en periodos de carencia o escasez de combustibles ligeros, ya que permite convertir sólidos (carbón, biomasa) en gases que pueden ser empleados en motores de combustión interna, calderas y turbinas. (IDEA 2007:6)

El rendimiento del proceso de gasificación varía dependiendo de la tecnología, el combustible y el agente gasificante que se utilice, en el rango de 70-80%. El resto de la energía introducida en el combustible se invierte en las reacciones

endotérmicas, en las pérdidas de calor de los reactores, en el enfriamiento del syngas, necesario para su secado (eliminación de vapor de agua) y filtración, y en el lavado (cuando es necesario eliminar los alquitranes). (IDEA 2007:6)

Existen diversas tecnologías de gasificación, que dependen del tipo de gasificado a utilizar, en el caso del presente proyecto de graduación se utilizará la de lecho móvil que, a su vez, se subdivide dependiendo del sentido relativo de las corrientes de combustible (biomasa) y agente gasificante. Cuando las corrientes son paralelas, el gasificador se denomina "*downdraft*" o de corrientes paralelas; cuando circulan en sentido opuesto, se denomina "*updraft*" o de contracorriente. (IDEA 2007:8)

Para obtener un buen rendimiento energético, los sistemas de gasificación constan de cuatro etapas como se describen a continuación:

- 1. Acondicionamiento de la biomasa:** En esta parte del sistema, los residuos son tratados para obtener una biomasa con un contenido de humedad máximo de 25%. Esto se logra sometiendo la biomasa a un proceso de secado, utilizando los gases calientes de la chimenea o secándola al sol. En esta etapa, se puede necesitar compactar la biomasa en forma de pellets o briquetas, para darle características físicas apropiadas para el proceso de gasificación. (López 2008:12)
- 2. Gasificación de la biomasa:** en esta etapa, la biomasa transportada al gasificador es transformada en gases combustibles por degradación térmica de la misma. Las reacciones químicas absorben energía en forma de calor (son endotérmicas) y requieren de una fuente de energía, la cual es suministrada por la misma biomasa. (López 2008:12)

La gasificación consta de cuatro etapas (ver figura N° 6):

- Secado:** Se elimina el agua superficial.
- Pirólisis:** Se produce un rompimiento termoquímico de los compuestos que forman la biomasa dando origen a hidrocarburos menores y alquitrán.
- Oxidación:** Las sustancias formadas entran en contacto con el oxígeno para oxidarse y formar  $\text{CO}_2$  y otros gases.
- Reducción:** Se generan serie de reacciones químicas, que produce que los compuestos y gases formados se reducen a estructuras químicas más simples como por ejemplo  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{H}_2$ . (López 2008:12)



**Figura 7** Diagrama de gasificador tipo descendente updraft

**Fuente:** catalunya.ingenieriasinfronteras.org

Dependiendo del tipo de biomasa utilizada se generan gases combustibles y no combustibles, en la siguiente figura se muestra la composición

aproximada de los gases que se genera como resultado de la gasificación de la biomasa.

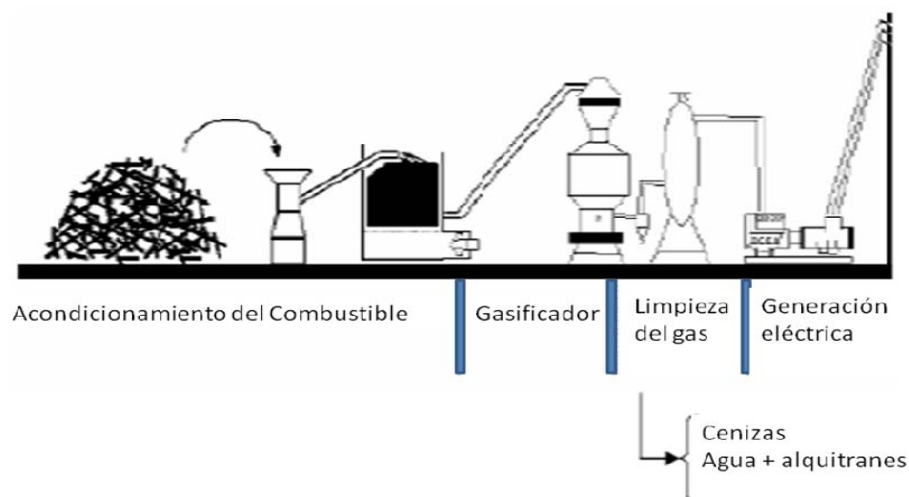
<b>Gases Combustibles</b>	<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	<b>17%</b>
	<b>Hidrógeno (H<sub>2</sub>)</b>	<b>9%</b>
	<b>Carbono (C<sub>2+</sub>)</b>	<b>1%</b>
	<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	<b>3%</b>
<b>No combustibles</b>	<b>Agua (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>8%</b>
	<b>Nitrógeno (N<sub>2</sub>)</b>	<b>47%</b>

**Figura 8.** Composición de los gases resultantes de la gasificación

**Fuente:** Guascor Ingeniería, 2007.

3. **Limpieza del gas producido:** El gas formado es pasado a través de tanques en donde la ceniza y el agua arrastrada son capturados. Se pueden utilizar diferentes tipos de técnicas para la eliminación del agua y la ceniza, por ejemplo por expansión del gas, por rocío con agua, por atracción electrostática, por movimiento browniano y otras más. Lo importante en esta etapa, es la obtención de un gas libre de partículas y alquitranes. (López 2008:12)
4. **Utilización del gas:** El gas limpio es luego enviado a un quemador, un generador, una turbina de gases o una celda de combustible, en donde la energía contenida en él es transformada en calor o electricidad según sea el requerimiento de la empresa. (López 2008:12)

En la siguiente figura se muestra por medio de un esquema los principales procesos descritos anteriormente que conllevan la generación de energía a partir de la biomasa. Como se observa en la figura durante el proceso de limpieza del gas se generan cenizas y una mezcla de agua y alquitranes. Dicha mezcla puede volver a incorporarse durante el acondicionamiento de la biomasa para volver a tratarse y las cenizas pueden utilizarse como abono orgánico, debido al alto contenido de nutrientes ricos para la fertilización del suelo.



**Figura 9.** Esquema de proceso de gasificación de la biomasa.

#### **4.2.1 La técnica de gasificación: aplicaciones**

En todo el mundo existen muchos equipos de gasificación, pero en Europa se ha desarrollado más esta tecnología. Podemos encontrar gasificadores en países como Suecia, Noruega, Alemania, Austria, Brasil, Argentina, España y otros más. (López 2008:12)

Según el libro Blanco europeo correspondiente a las energías renovables, del 26 de Noviembre de 1997, los principales objetivos de la Unión Europea en el sector energético son impulsar las energías renovables, lograr la mayor explotación del potencial disponible y la mayor contribución a la reducción del CO<sub>2</sub> (Guascor Ingeniería 2007)

El plan de acción sobre la biomasa, del 7 de Diciembre de 2005, pretende incrementar el uso de la biomasa e incluye medidas relacionadas con la electricidad, transporte y calefacción, destacando las medidas a favor de los biocarburantes. (Guascor Ingeniería, 2007)

En España por ejemplo se han desarrollado gran variedad de gasificadores para el uso de la biomasa lignocelulósica. Se encuentran plantas para la gasificación de biomasa forestal, hueso de aceituna, cáscara de almendra, orujillo, serrines y virutas de madera, cáscaras de frutos secos, cascarilla de arroz, astillas de madera y muchos más. En la figura N° 7 se observa una planta de generación eléctrica en Andalucía, la cual opera con diferentes tipos de biomasa en forma de pellets para asegurar la homogeneidad de la misma. (López, 2008:14). Está diseñado para operar a una temperatura nominal de lecho de 800 °C. El caudal nominal de biomasa es de 600 kg/h. (Universidad de Sevilla sf)





**Figura 10.** Planta de gasificación, Andalucía España.

**Fuente:** Universidad de Sevilla, Grupo de bioenergía

En Costa Rica, actualmente se implementa algunas acciones para la introducción de la tecnología de gasificación, una de ellas la encontramos en la industria cafetalera, en donde ciertas cooperativas del sector están interesadas en la tecnología de gasificación para hacer un uso más eficiente del recurso energético disponible y proporcionar el calor necesario para el proceso de secado del grano de café y tener la posibilidad de generar electricidad. Como referente en el desarrollo tecnológico de este sector, el CICAFFE está investigando la tecnología para en un futuro, trasladarla a sus asociados y utilizar la broza y la cascarilla como fuente energética para sus procesos industriales. (López, 2008:14).

Por ejemplo el ICE pretende brindar asesoría a Coopedota a través del proyecto construir un sistema de gasificación que funcione con la biomasa producida en el beneficio de café (broza y cascarilla). Dicha cooperativa produce en promedio

7.001 tn de broza anualmente; la no disposición y manejo adecuado de dicho material puede llegar a provocar un impacto ambiental negativo, ya sea por la contaminación de los mantos acuíferos, malos olores, plagas y enfermedades en dichas comunidades. (Solís 2009)

La implementación del sistema de gasificación vendría a suplir parcialmente los requerimientos de energía eléctrica de la cooperativa por medio de la disminución en la factura eléctrica a través de la utilización de los residuos lignocelulósicos del proceso de beneficiado. Así mismo, considerando que Coopedota R.L es una empresa que vela por la protección del medio ambiente, se plantea la posibilidad de disponer de sus desechos de una manera más eficiente y que promueva la conservación del ambiente en la Zona de los Santos. (Solís 2009)

Conocedor de las necesidades energéticas del país y con un aumento anual del 6% en la demanda de electricidad, el ICE desarrolló un gasificador para realizar investigación en los diversos tipos de biomasa lignocelulósica existente en Costa Rica y recomendar a los productores, los procesos más eficientes en el uso energético de dichos recursos naturales y renovables. (López 2008:14).

En Costa Rica, la tecnología de gasificación no es muy conocida y solo se realizan investigaciones en universidades e instituciones para adecuarla a nuestra realidad como una fuente de energía renovable y carbono neutro, conforme a las políticas gubernamentales. La biomasa, considerada hoy un desecho, podría convertirse muy pronto en un material con un costo y necesaria para satisfacer la demanda de energía y combustibles. (López 2008:15).

### **4.3. Características y condiciones óptimas de manejo que deben cumplir los residuos sólidos biomásicos que serán sometidos a la técnica de gasificación con el propósito de generar electricidad.**

Las características y condiciones óptimas de manejo que deben de considerar un cierto tipo de biomasa con el fin de utilizarla en la producción de energía se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos

#### **a) Contenido de Humedad**

Esta propiedad afecta directamente la eficiencia final en la combustión de la biomasa, ya que el contenido de agua existente en ella, será evaporado durante el proceso de gasificación disminuyendo la cantidad de energía disponible para el proceso de calentamiento.

Contenidos de humedad por debajo del 20% de humedad ya es factible considerar procesos como la gasificación, en donde la biomasa es transformada en un gas sintético formado por el monóxido de Carbono (CO) y el hidrógeno (H<sub>2</sub>). En caso de que la biomasa tenga un porcentaje de humedad mayor al 20% es necesario secar la biomasa antes de introducirla en el gasificador.

Un aspecto importante de la humedad es que afecta directamente el contenido de energía por kilogramo de biomasa. Entre mayor sea la humedad menor será la energía que podrá obtenerse durante la combustión. (MINAE, DSE 2006: 62)

#### **b) Poder calórico**

Esta propiedad se define como la energía que es posible obtener al quemar un kilogramo de una sustancia.

Se expresa de dos formas: el poder calórico superior, el cual considera que el agua obtenida durante el proceso de combustión es recuperada en forma líquida

por lo que se tiene una mayor cantidad disponible de energía, y el poder calórico inferior que considera que el agua se mantiene en el estado gaseoso, lo cual representa en mejor medida los procesos típicos de combustión en las industrias.

El contenido de agua afecta directamente el poder calórico. A mayor humedad menor el poder calórico inferior. (MINAE, DSE 2006: 63)

Por lo anterior, durante el almacenamiento de la biomasa, el poder calórico podría verse afectado debido a la exposición a lluvias. Asimismo, si se almacena por períodos largos su contenido energético podría disminuir debido a la oxidación del aire.

### **c) Contenido y caracterización de las cenizas**

Las cenizas también afectan el poder calórico ya que bajo este término se conoce a los residuos de la combustión, los cuales no contribuyen con la liberación de energía durante el proceso. (MINAE, DSE 2006: 64)

Por ejemplo, una biomasa con un contenido de ceniza del 4 por ciento, tiene un 3 por ciento menos de energía que la biomasa cuyo contenido de ceniza es del 1 por ciento.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es las características de la ceniza obtenida, ya que las mismas deben considerarse durante el diseño del horno.

Cenizas con bajo punto de fusión tienden a fundirse en las parrillas de los hornos bloqueando el paso de aire y afectando la capacidad de la cámara de combustión.

Asimismo, cenizas con altos contenidos de sílice son muy abrasivas y tienen impactos importantes en los costos de mantenimiento. (MINAE, DSE 2006: 64)

#### **d) Contenido de azufre**

Durante el proceso de combustión el azufre se transforma de óxido de azufre, que a su vez puede formar ácidos en presencia de agua, los cuales, causan corrosión en los equipos y el efecto conocido como lluvia ácida. (MINAE, DSE 2006: 64)

#### **e) Densidad**

La densidad es la relación entre la masa y el volumen. Existen dos tipos: la real y la aparente. En el primer caso se mide el volumen por desplazamiento de agua, por lo que se toma en cuenta el volumen real, mientras que en el segundo caso se utiliza el volumen aparente, o sea, que incluye el espacio vacío existente entre las fibras o partículas de la biomasa. (MINAE, DSE 2006: 65)

La densidad aparente debe ser considerada para determinar los costos de transportar la biomasa y en el diseño de los patios de almacenamiento.

Por tanto los residuos que tienen mayor viabilidad de gasificarse por sus características fisicoquímicas son aquellos que contienen un poder energético alto y un bajo porcentaje de humedad, algunos de los residuos biomásicos que cumplen con estas características son la pollinaza, leña de madera, burucha, aserrín, cascarilla de arroz y café, leña y broza de café, entre otros. Sin embargo es indispensable antes de considerar cualquier tipo de estos residuos para gasificación realizar la caracterización fisicoquímica detallada, ya que dependiendo de estas propiedades se deben considerar algunas medidas iniciales, como es el caso de secar la biomasa antes de gasificarse si el contenido de humedad supera el 20%.

## V CONCLUSIONES

- La falta de una Gestión Integral de Residuos eficaz en nuestro país ha ocasionado problemas ambientales y de salud que deben solventarse a través del uso de tecnologías limpias que fomenten la prevención, recuperación y reutilización. De acuerdo con la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) los residuos sólidos son uno de los principales sectores que deben ser atendidos por cuanto se debe realizar un adecuado tratamiento para evitar la generación de metano que se produce cuando los mismos son descompuestos.
- La gasificación puede valorarse como una alternativa viable para dar tratamiento a los residuos orgánicos procedentes del sector industrial y agrícola con el fin de dar tratamiento a los residuos y a la vez generar energía renovable. Según los estudios realizados la gasificación no aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero debido a que la combustión de biomasa produce agua y  $\text{CO}_2$ , pero la cantidad emitida de dióxido de carbono fue captada previamente por las plantas durante su crecimiento, es decir, el  $\text{CO}_2$  forma parte de un flujo de circulación natural entre la atmósfera y la vegetación por lo que no representa un incremento en las emisiones de  $\text{CO}_2$ .
- No todos los tipos de biomasa pueden utilizarse para la gasificación, deben tener ciertas características específicas que deben evaluarse entre estas el porcentaje de humedad, densidad real y aparente, poder calórico y porcentaje y tipo de ceniza. El conocer estas características me van a permitir determinar las medidas que deben realizarse para acondicionar la biomasa como es el caso del secado inicial de la misma, además de las dimensiones del gasificador, la frecuencia de incorporación de biomasa, el rendimiento energético final y la cantidad de ceniza generada.

- De acuerdo a los datos de la Panel Intergubernamental de Cambio Climático las concentraciones de gases de efecto invernadero, en la atmósfera y su forzamiento radiactivo total, han aumentado, a razón del uso de fuentes de energías no renovables que generan CO<sub>2</sub> y la inadecuada disposición de Residuos Sólidos por la emisión de CH<sub>4</sub>, los cuales son los dos principales gases de efecto invernadero que están causando el cambio climático. Está claro que deben tomarse medidas serias y efectivas para reducir este impacto, en el caso de Costa Rica aunque su dependencia al uso de combustibles para la generación de energía es poco significativa con respecto al uso de fuentes renovables, la meta de nuestro país según el Plan Nacional de Desarrollo es generar el 100% de energía renovable, por lo que se ha fomentado la investigación en fuentes limpias, el estudio de la biomasa es un ejemplo de esto, sin embargo se deben realizar mayores esfuerzos de integración de las empresas, recursos e incentivos para utilizar la gasificación para autoconsumo de energía.

## VI RECOMENDACIONES

- Esta tesina presenta la información base para valorar el uso de la técnica de gasificación, por tanto antes de que diversas empresas nacionales agrícolas o agroindustriales inviertan en la tecnología se debe analizar cada caso en específico y entre estos se deben valorar cada una de las características fisicoquímicas de la biomasa.
- Es recomendable que el Instituto Costarricense de Electricidad estudie la posibilidad de fomentar la instalación de gasificadores en empresas con grandes producciones de biomasa o bien instalarlos por regiones, con el fin de aumentar el volumen de biomasa y por ende la energía generada. Esta energía permitirá abastecer a las empresas e industrias de región por lo menos durante la época seca y a la vez utilizar el excedente en el Sistema Eléctrico Nacional.
- Con el fin de que las empresas generadoras de biomasa disminuyan los costos de transporte y almacenamiento de la biomasa para la generación de energía por medio de la gasificación, es preferible utilizar los residuos cerca del sitio de generación.
- La biomasa puede sufrir durante el almacenamiento, procesos naturales de oxidación y descomposición que provocan la pérdida de sus propiedades térmicas. Además, si la biomasa no es almacenada bajo techo, existe el riesgo de que aumente su contenido de humedad y por consiguiente se reduzca la cantidad de energía útil que se podrá obtener de ella. Por tanto es recomendable que las empresas agrícolas y agroindustriales reduzcan al máximo los tiempos de almacenamiento además de que esta se haga bajo techo.



- El planteamiento de la utilización de la biomasa como fuente de energía tiene que estar basado en la sostenibilidad, es decir, la empresa o región interesada en realizar procesos de gasificación, debe tener en cuenta que con este proceso se le da tratamiento a los residuos que esta genera además de generar energía para autoabastecimiento. Sin embargo todos estos beneficios están asociados a diversos costos de manipulación, almacenamiento, transporte y operación.
- Por otra parte es indispensable que la Dirección Sectorial de Energía como parte de un proceso integral educar y capacitar a los generados de biomasa, acerca de la problemática ambiental que los residuos que estos generan impactan al medio ambiente y la salud humana y el uso de la gasificación como una tecnología que viene a solventar esta problemática, con el fin de que estos se comprometan a mejorar y estudiar continuamente dicha tecnología.

## VII BIBLIOGRAFÍA.

### Literatura citada

- Biomass Users Network (BUN-CA). (2002). *Manuales sobre energía renovable: Biomasa / Biomass*, 1 ed. –San José, C.R., ISBN: 9968-904-02-3
- Castro Rolando. (2008). *Marco Legal moderno para la Gestión Integral de Residuos en Costa Rica*. Ambientico Revista mensual sobre actualidad ambiental: Heredia Costa Rica. Volumen 178: pág. 7.
- Carazo Ernesto, Ramírez Fernando, Roldán Carlos, Villegas Greibin. (2007). *Encuesta de Oferta y Consumo Energético Nacional a partir de la Biomasa en Costa Rica*, Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección Sectorial de Energía. San José, Costa Rica.
- Construible, España (2009). *Energías Renovables* (en línea). Madrid, España. Consultado el 13 de mayo del 2009. Disponible en <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?c=21&idm=162&m=21&n2=20&pat=20>.
- Ecorganicas, Colombia. (2005). *Energías Sostenibles* (en línea). Medellín, Colombia. Consultado el 13 de mayo del 2009. Disponible en [http://ecorganicas.com/Cont/index.php?option=com\\_content&task=view&id=43&Itemid=56](http://ecorganicas.com/Cont/index.php?option=com_content&task=view&id=43&Itemid=56)
- Estado de la Nación.(2008). *Décimo cuarto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. Capítulo 4: Armonía con la Naturaleza.
- Estado de la Nación. (2006). *Duodécimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. Capítulo 4: Armonía con la Naturaleza.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (2001). *Tercer informe de Evaluación Cambio Climático 2001: La base científica*. Págs: 3-6, 32,34.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (2001). *Tercer informe de Evaluación Cambio Climático 2001. Mitigación*. Págs: 24, 37, 38.

- Instituto Costarricense de Electricidad, Centro Nacional de Planificación Eléctrica. (2007). *Plan de Expansión de la Generación Eléctrica, periodo 2008 – 2021*. San José, Costa Rica.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). (2007). *Biomasa: Gasificación*. Madrid, España. Pág. 6-7.
- Instituto Costarricense de Electricidad, Centro Nacional de Planificación Eléctrica. (2004). *Plan de Expansión de la Generación Eléctrica, periodo 2004 – 2020*. San José, Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Electricidad. (2007). *Programa Institucional para el Cambio Climático (PICC)*. San José, Costa Rica.
- Ley 7414. *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, firmada por Costa Rica, el 13 de junio de 1992.
- López Alfaro Guillermo. (2008). *Biomasa como fuente de energía: Gasificación de Biomasa Vegetal*. Revista Energía. Edición 56: 11-15.
- Ministerio de Planificación (MIDEPLAN), Gobierno de Costa Rica. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo Jorge Manuel Dengo Obregón 2006-2010*. San José Costa Rica. Pág. 80.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). (2008). *Estrategia Nacional de Cambio Climático: Mercado de Carbono un Instrumento Económico para el C- Neutralidad de Costa Rica*, San José Costa Rica. Págs. 1-3
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), CR. (2007). *Estrategia Nacional de Cambio Climático (en línea)* Costa Rica. Consultado el 15 de abril del 2008. Disponible en <http://www.encc.go.cr/>
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), CR (1995). *Ley Orgánica del Ambiente* N° 7554.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), CR (1989). *Reglamento para el manejo de basuras*. Decreto ejecutivo No. 19049-S.
- Ministerio de Salud, C.R (1973). *Ley General de Salud*. Ley No. 5395
- Ministerie van Economische Zaken, EVD, Netherlands (2003). *Bioenergy in Central America*.

Osés Pablo. (2007). *Planta de Gasificación de Biomasa*. Guascor Ingeniería, España.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Oficina Regional para América Latina y el Caribe. *Cambio Climático: Manual de Ciudadanía Ambiente Global*. Impreso en México, enero 2005. Págs.: 9-11, 16, 21, 22, 25

Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA). (2007). *Plan de Residuos Sólidos (PRESOL): Diagnostico y Áreas Prioritarias*. San José, Costa Rica.

Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA). (2006) *Reporte Nacional de Manejo de Materiales*. San José, Costa Rica. Pág.98

Reto Steiner. (2006). *Utilización energética de residuos orgánicos en la industria bananera, cafetalera y azucarera en Costa Rica*. San José, Costa Rica.

Stern Review (2007). *La economía del cambio climático*. Págs.: 1-3

Solís Agüero Hortensia. Costa Rica, (2009). *Diseño y construcción de un gasificador para el aprovechamiento de la biomasa residual del proceso de beneficiado de café* (en línea). Consultado el 10 de junio del 2009. Disponible en [http://www.coopedota.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13%3Agasificador&catid=16%3Aproyectosejecucion&Itemid=74&lang=es](http://www.coopedota.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13%3Agasificador&catid=16%3Aproyectosejecucion&Itemid=74&lang=es).

Textos científicos. 2005. *Biomasa* (en línea). Consultado el 13 de mayo del 2009. Disponible en <http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa>

Universidad de Sevilla, Grupo de bioenergía, España. *Planta de gasificación* (en línea). Sevilla, España. Consultado el 10 de junio del 2009. Disponible en <http://www.grupobioenergia.com/>

Venegas Ismael. 2009. *Empresas utilizan desechos para producir su propia energía*. La Nación. San José, CR, abril. 27:18<sup>a</sup> Tesis de posgrado para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Life Sciences, Institut für Ecopreneurship

**Literatura Consultada:**

Vengas Ismael. (2009). *Empresas utilizan desechos para producir su propia energía*. La Nación. San José, CR, abril. 27:18<sup>a</sup>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (2001). *Cambio climático 2001: Informe de síntesis*, 2001.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (2001). *Tercer informe de Evaluación Cambio Climático 2001. Impactos, adaptación y vulnerabilidad*.