



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

LA BIOENERGÍA EN GUATEMALA

Edwin Rolando Sigui Morales

Asesorado por la Inga. Nora Leonor Elizabeth Garcia Tobar

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

LA BIOENERGÍA EN GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDWIN ROLANDO SIGUI MORALES

ASESORADO POR LAINGA. NORA LEONOR ELIZABETH GARCIA TOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos |
| VOCAL V | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|--|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADORA | Inga. Karla-María Lucas Guzmán |
| EXAMINADORA | Inga. Gladys Lorraine Carles Zamarripa |
| EXAMINADOR | Ing. Aldo Ozaeta Santiago |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

LA BIOENERGÍA EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 30 de enero del 2013.



Edwin Rolando Sigui Morales

Guatemala, 30 de Abril de 2014

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director de la Escuela
Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

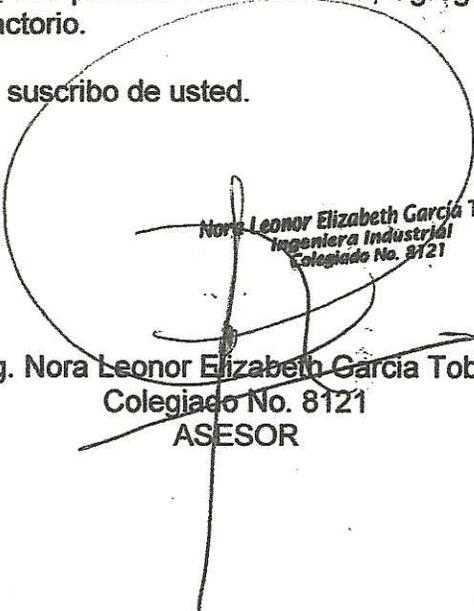
Estimado Señor Director:

Por medio de la presente informo a usted, que he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado LA BIOENERGÍA EN GUATEMALA, elaborado por el estudiante Edwin Rolando Sigui Morales con carné 2001-13314, previo obtener el título de Ingeniero Industrial

Habiendo determinado que dicho trabajo cumple con los requisitos establecidos de la Facultad de Ingeniería, y reconociendo la importancia del tema. Por todo lo anterior tanto el autor como el asesor somos responsables del contenido y conclusiones del presente trabajo de tesis y en consecuencia, por medio de la presente me permito APROBARLO, agregado que lo encuentro completamente satisfactorio.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Nora Leonor Elizabeth Garcia Tobar
Ingeniera Industrial
Colegiado No. 8121

Ing. Nora Leonor Elizabeth Garcia Tobar
Colegiado No. 8121
ASESOR



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **LA BIOENERGÍA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Rolando Sigui Morales**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Jaime Roberto Ruíz Díaz *Jaime Roberto Ruiz Díaz*
Ingeniero Industrial
Col. 5182
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2014.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

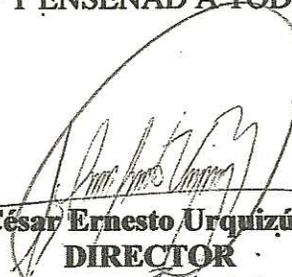


FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.141.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **LA BIOENERGÍA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Rolando Sigui Morales**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



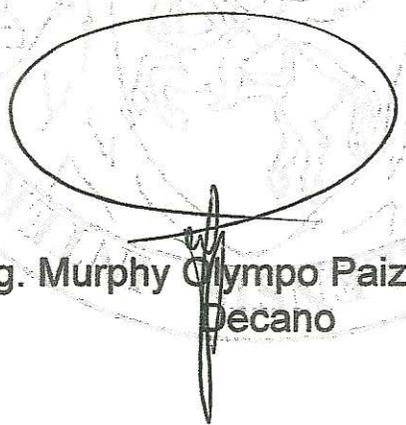
Guatemala, agosto de 2014.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial al trabajo de graduación titulado: **LA BIOENERGÍA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Edwin Rolando Sigui Morales** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, agosto de 2014

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su bondad y amor.
- Mis padres** Oswaldo Rolando Sigui y Ruth Noemí Morales Monroy, por su amor, y apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, y sus consejos a través de los años, así como su esfuerzo y sacrificio. Para ellos mi amor, cariño y respeto siempre. Este triunfo es para ustedes.
- Mi hermano** Josué Fernando Sigui Morales por todos los buenos momentos que pasamos juntos y por su apoyo durante todo este tiempo.
- Mi novia** Andrea Munguía, por su apoyo y comprensión en esta etapa final de mi carrera. Gracias por todo tu amor, cariño, paciencia y comprensión.
- Mis abuelas** Gloria Monroy y María Cristina Sigui, por sus consejos y muestras de cariño a lo largo de todo este tiempo.
- Mi abuelo** Saúl Morales, por todos sus consejos y muestras de afecto.

Mis tíos

Josué Morales, Saúl Morales, Samuel Morales, Max Sigui y Edelberto Sigui por todos los momentos que compartimos juntos y su apoyo.

Mis tías

Priscila Morales, Judith Morales y Eugenia Tobar, por sus cuidados, amor y cariño desde que era un niño.

Mis primos

Dulce Morales, Carlos Morales, Kimberly Morales, Juan Pablo Morales, Jazzmine Morales, Anael Sigui, Josselinne Morales, Karla Sigui, Nora Garcia, Astrid Sigui, por cada uno de los momentos que hemos compartido juntos. Pero especialmente a Claudia Morales (q.e.p.d), con quien a pesar de compartir muy poco tiempo estará siempre presente en mi corazón, ese lindo angelito me cuida y apoya desde el cielo.

Mis amigos

A cada uno de ellos por confiar y creer en mí, así como por su amistad y apoyo para seguir adelante, pero especialmente a Eliab Lemus, Rogelio Arroyo, Juan Carlos Jerez, Jaqueline Colindres, Cynthia Teni y Daniel Ávila ya que estuvieron siempre brindándome su apoyo y amistad incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi madre

Ruth Noemí Morales Monroy, por su apoyo incondicional a lo largo de estos años, así como por sus muestras de cariño y amor siempre, y sus consejos en todo momento. Eres una gran mujer. Todo mi amor, cariño y respeto para ti.

Mi padre

Oswaldo Rolando Sigui, por brindarme todo su amor y cariño siempre, así como por sus consejos y apoyo incondicional en cada momento de mi carrera y mi vida. Eres un gran ejemplo a seguir, respeto y amor para ti siempre.

La ingeniera

Karla Lucas, por su amistad, apoyo y consejos durante este tiempo.

La ingeniera

Nora Garcia, por su apoyo en todo momento durante la realización de este trabajo de graduación, así como por su amistad, cariño y consejos.

Mis amigas

Thelma y Norma, por su gran amistad, sus muestras de cariño, sus consejos y su apoyo durante el tiempo que realice las prácticas al lado de ellas.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN | XVII |
| | |
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1. Historia de la bioenergía..... | 1 |
| 1.2. Teoría de la bioenergía..... | 2 |
| 1.3. Fuentes primarias de la bioenergía | 4 |
| 1.3.1. Biomasa y bioenergía | 5 |
| 1.3.2. Biomasa energética aspectos generales | 7 |
| 1.3.3. Aspectos relevantes para el aprovechamiento energético de la biomasa..... | 9 |
| 1.3.4. Clasificación de los recursos de la biomasa | 11 |
| 1.3.4.1. Tipos de residuos | 13 |
| 1.3.4.2. Clasificación..... | 13 |
| 1.3.5. La energía solar en la generación de bioenergía en Guatemala | 20 |
| 1.3.5.1. Análisis del sistema de bioenergía | 22 |
| 1.3.5.2. Utilización | 24 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2. | POLÍTICAS PÚBLICAS DE BIOENERGÍA – BIOMASA EN GUATEMALA..... | 27 |
| 2.1. | Marco institucional..... | 27 |
| 2.2. | Políticas públicas | 37 |
| 2.3. | Generación de bioenergía – biomasa en Guatemala | 42 |
| 2.4. | Distribución de la bioenergía – biomasa en Guatemala | 44 |
| 3. | DESARROLLO DEL SECTOR CIENTÍFICO TECNOLÓGICO | 47 |
| 3.1. | Métodos biológicos o bioquímicos. Medición de bioenergía – biomasa..... | 47 |
| 3.2. | Capacidades | 47 |
| 3.2.1. | Científicas..... | 49 |
| 3.2.2. | Tecnológicas | 50 |
| 3.2.2.1. | Procesamiento y conversión de la biomasa en energía..... | 51 |
| 3.3. | Comunicación y colaboración | 66 |
| 3.3.1. | A nivel nacional | 67 |
| 3.3.2. | A nivel internacional | 70 |
| 3.4. | Interacción de sectores | 72 |
| 3.4.1. | Productivo | 72 |
| 3.4.2. | Ingenios azucareros | 73 |
| 3.4.3. | Universidades..... | 74 |
| 3.4.4. | Escuelas y colegios..... | 76 |
| 3.5. | Potencial bioenergía – biomasa | 77 |
| 3.5.1. | Disponibilidad del recurso natural | 79 |
| 3.5.2. | Cálculo de potencial | 79 |
| 3.6. | Impacto en la matriz energética | 81 |
| 3.7. | Educación y percepción pública..... | 83 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4. | DESARROLLO DEL SECTOR PRODUCTIVO BIOMASA – BIOENERGÍA..... | 87 |
| 4.1. | Aplicación de la biomasa..... | 87 |
| 4.2. | Costos de inversión de un proyecto energético..... | 95 |
| 4.3. | Perspectiva del crecimiento de la energía biomasa – bioenergía..... | 99 |
| 4.3.1. | Proyectos realizados | 100 |
| 4.3.1.1. | Gobierno..... | 102 |
| 4.3.1.2. | Privado | 102 |
| 4.3.2. | Proyectos en desarrollo | 103 |
| 4.3.2.1. | Gobierno..... | 104 |
| 4.3.2.2. | Privado | 104 |
| 4.3.3. | Proyectos en gestión | 105 |
| 4.3.3.1. | Gobierno..... | 105 |
| 4.3.3.2. | Privado | 106 |
| 4.4. | Red de distribución..... | 106 |
| 4.4.1. | Capacidad para venta de energía..... | 108 |
| 4.4.2. | Cálculo de costo por capacidad de generación según el tipo | 109 |
| 5. | ANÁLISIS AMBIENTAL POR USO DE ENERGÍA BIOMASA – BIOENERGÍA..... | 113 |
| 5.1. | Ahorro energético | 113 |
| 5.2. | Teoría y conceptos generales | 113 |
| 5.3. | Cálculos de ahorro por uso de bioenergía..... | 117 |
| 5.3.1. | Dióxido de carbono..... | 118 |
| 5.3.2. | Sumideros..... | 119 |
| 5.3.3. | Barriles de petróleo..... | 121 |
| 5.4. | Impacto potencial | 122 |

| | | |
|-----------------------|----------------------------|-----|
| 5.4.1. | Medio físico | 123 |
| 5.4.2. | Medio biótico | 126 |
| 5.4.3. | Medio socioeconómico | 128 |
| CONCLUSIONES | | 133 |
| RECOMENDACIONES | | 135 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 137 |
| ANEXOS..... | | 139 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|-----|
| 1. | Origen de la biomasa | 3 |
| 2. | Clasificación de las fuentes de biomasa | 12 |
| 3. | Representación del ciclo de la biodigestión | 21 |
| 4. | Biodigestor de sistema continuo | 22 |
| 5. | Biodigestor de sistema discontinuo | 23 |
| 6. | Biodigestor de bolsa doble tipo familiar..... | 25 |
| 7. | Estructura del mercado eléctrico nacional..... | 35 |
| 8. | Constitución del mercado de energía, según la Ley General de Electricidad (LGE) | 41 |
| 9. | Prensa con matriz anular | 55 |
| 10. | Prensa con matriz plana..... | 56 |
| 11. | Clasificación procesos termoquímicos | 61 |
| 12. | Tipos de pirólisis y sus productos | 63 |
| 13. | Productos obtenidos por medio de la gasificación a través de oxígeno y aire..... | 65 |
| 14. | Procesos de conversión de la biomasa..... | 66 |
| 15. | Estructura del Mercado Eléctrico Regional (MER) | 70 |
| 16. | Producción de energía por tipo de materia prima | 82 |
| 17. | Partes de un cogenerador | 91 |
| 18. | Horno industrial para el uso de combustión directa | 92 |
| 19. | Caldera de leña moderna de llama invertida..... | 94 |
| 20. | Ubicación geográfica de los ingenios azucareros de la costa sur de Guatemala..... | 101 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 21. | Ubicación geográfica de Ingenio Magdalena | 103 |
| 22. | Distribuidoras y región de cobertura | 108 |

TABLAS

| | | |
|-------|--|-----|
| I. | Clasificación de los recursos de biomasa | 20 |
| II. | Requisitos para considerarse agentes del Mercado Mayorista..... | 33 |
| III. | Políticas públicas relacionadas, para garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. | 38 |
| IV. | Producción de energía por tipo de combustible. | 43 |
| V. | Centros universitarios de investigación de Guatemala | 48 |
| VI. | Poder calorífico en (MJ/Nm ³) para los diferentes medios gasificantes..... | 64 |
| VII. | Estudios académicos relacionados a energías renovables. | 76 |
| VIII. | Potencial energético del país y nivel de aprovechamiento | 81 |
| IX. | Inversión requerida para la conversión de biomasa a energía, según el tipo de tecnología. | 97 |
| X. | Presupuesto para la instalación de una planta cogeneradora. | 98 |
| XI. | Proyectos de bioenergía a base de biomasa en Guatemala | 100 |
| XII. | Empresas distribuidoras de Guatemala y su consumo anual. | 107 |
| XIII. | Estimación de costos de centrales de bioenergía a partir del uso de biomasa | 110 |
| XIV. | Costos de operación y mantenimiento..... | 112 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|--------------------------|--------------------------------|
| cm | Centímetro |
| dBA | Decibeles |
| CO₂ | Dióxido de carbono |
| \$ | Dólar |
| GW | Gigavatio o Gigawatt |
| GWh | Gigavatio hora o Gigawatt hora |
| ° C | Grados Celsius |
| H₂ | Hidrógeno |
| J | Joule |
| kg | Kilogramo |
| kg/día | Kilogramo por día |
| kg/h | Kilogramo por hora |
| kg/kW | Kilogramo por kilovatio |
| kW | Kilovatio o kilowatt |
| kWh | Kilovatio hora |
| ≥ | Mayor o igual que |
| > | Mayor que |
| MW | Megavatio o Megawatt |
| CH₄ | Metano |
| m | Metro |
| m³/día | Metro cúbico por día |
| CO | Monóxido de carbono |
| % | Porcentaje |

Tm

Tonelada métrica

Tm/mes

Tonelada métrica por mes

GLOSARIO

| | |
|----------------------|---|
| Bagazo | Residuo de materia después de ser extraído su jugo. |
| Bioabono | Tipo de abono naturalmente biológico. |
| Biodiesel | Es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales tales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo. |
| Biodigestores | Es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar. |
| Bioenergía | Es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente es sacada de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos. |
| Bioetanol | Compuesto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que pueden utilizarse como combustible. |
| Biomasa | Es toda la materia orgánica originada por medio de un proceso biológico, o por la actividad del hombre. |

| | |
|--------------------------|---|
| Cogeneración | Se hace referencia a la generación simultánea de calor y electricidad, lo cual llega a resultar más eficiente que trabajar ambos procesos por separado. |
| Cogenerador | Propietario de instalaciones de producción de energía que utiliza para uso propio y tiene excedentes para la venta a terceros. |
| Comercializadores | Es la persona individual o jurídica cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía con carácter de intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo. |
| Compost | Abono orgánico 100% natural, de color café oscuro, de dulce aroma y rico en nutrientes. Se usa como tierra y abono para las plantas. |
| Distribuidores | Persona individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica. |
| Energía renovable | Es toda energía que se obtiene de fuentes naturales tácitamente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. |
| Fauna | Es el conjunto de especies animales que habitan en una región geográfica, que son propias de un período geológico. |

| | |
|-------------------------|---|
| Flora | Es el conjunto de especies vegetales que se pueden encontrar en una región geográfica, que habitan en un ecosistema determinado. |
| Fotosíntesis | Es la conversión de materia inorgánica en materia orgánica gracias a la energía que aporta la luz. |
| Generador | Persona individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que comercializa total o parcialmente su producción de electricidad. Dispositivo eléctrico que permite convertir energía mecánica en eléctrica. |
| Grandes usuarios | Es aquel cuya demanda de potencia excede al límite estipulado en el reglamento de la Ley General de Electricidad. |
| Heterogéneo | Todo lo que está compuesto por partes de distinta naturaleza. |
| Hidrólisis | Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula. |
| Homogéneo | Todo lo que está formado por partes con una serie de características comunes. |
| Lignina | Es un polímero de naturaleza aromática con alto peso molecular, es el tercer componente fundamental de la madera. |

| | |
|-------------------------------|---|
| Matriz energética | Es la distribución donde se analiza la procedencia, la importancia y el uso de las diferentes fuentes energéticas de un país o región. |
| <i>Pellet</i> | Se refiere a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido. |
| Proceso | Secuencia de actividades que deben de ser realizadas para producir un bien. |
| Purines | Cualquiera de los residuos de origen orgánico, que tienen impacto medioambiental. Son generalmente residuos resultado de una mezcla de orina y agua. |
| Recurso renovable | Es un recurso natural que se puede restaurar por procesos naturales a una velocidad superior a la del consumo por los seres humanos. |
| Residuo fitosanitarios | Substancias destinadas a prevenir directamente la acción de formas de vida animal o vegetal perjudiciales para la salud pública y también para la agricultura. |
| Servidumbre | Es la denominación de un tipo de derecho real que limita el dominio de un predio denominado fundo sirviente en favor de las necesidades de otro llamado fundo dominante perteneciente a otra persona. |
| Sumidero de carbono | Depósito natural o artificial de carbono. |

RESUMEN

Actualmente en Guatemala existe la oportunidad de desarrollar proyectos energéticos a través de energía renovable que puedan satisfacer las necesidades, no solamente industriales en particular, sino que de igual manera las necesidades energéticas del país en general. La bioenergía se utiliza principalmente en los ingenios azucareros, ya que ellos cuentan con una gran cantidad de biomasa como el bagazo de caña, la cual puede ser quemada en calderas, llegando a producir vapor, no únicamente para uso interno de los ingenios, sino que también para vender el excedente del mismo al sistema eléctrico por medio de contratos.

Dependiendo el tipo de biomasa que se obtenga así será el proceso que se aplicará a la misma para la generación de bioenergía, existen determinados procesos dependiendo si la biomasa que se trabajará será húmeda o seca, esto dependerá de la concentración de humedad que llegue a contener la misma.

Desde el punto de vista estatal, no se cuenta con un registro con respecto a proyectos que se encuentren en ejecución o en construcción en el país con respecto a este tipo de energía renovable, el tema de la bioenergía no cuenta con información clara y precisa, ya que no se tiene control del potencial que pueden existir en todo el territorio nacional.

El uso en mayor medida de este tipo de energía renovable, ayudará a modificar considerablemente la matriz energética, lo cual representara una disminución en cuanto al uso de los combustibles fósiles, y a la vez se reducirán las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

OBJETIVOS

General

Documentar y caracterizar el uso de la generación de bioenergía y la biomasa según tipos en Guatemala.

Específicos

1. Elaborar un documento que sirva como punto de partida para nuevas investigaciones y proyectos.
2. Proporcionar una base de información para uso en Guatemala con el fin de discutir y aprender sobre proyectos de desarrollo, basados en la ciencia para biocombustible avanzado y bioenergía.
3. Plasmar información que respalde la colaboración de investigación y desarrollo entre el Gobierno de Guatemala y la entidad privada, que ayude a crear condiciones para nuevas tecnologías de producción nacionales de biocombustible y biomasa.

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo es el de documentar el uso de la bioenergía y la biomasa según su clasificación, dependiendo del tipo de desecho que se desee trabajar; asimismo, identificar los tipos de tecnologías basados en la ciencia para la producción de este tipo de energía renovable, y de igual forma las soluciones que se dan para la producción de la misma. También es sumamente importante conocer más a profundidad aspectos relevantes sobre el tema, por lo que es de suma importancia, involucrarse en todo lo relacionado con el mismo, desde su origen hasta su situación actual, y de igual forma los beneficios, ventajas y desventajas que se pueden llegar a obtener por el uso de este tipo de energía renovable.

Se desea dejar este documento como base para que exista una fuente factible relacionada con la situación de la bioenergía en Guatemala y pueda ser utilizada con el propósito de implementar nuevos proyectos en las diferentes regiones del país. Teniendo esta información plasmada, se busca la manera de beneficiar a estudiantes o futuros investigadores que muestren interés por el tema, ya que podrán contar con un apoyo para poder plantear y resolver cualquier inconveniente o duda que tenga con respecto al tema.

El presente trabajo de investigación se encuentra estructurado en cinco capítulos, correspondiendo el primero los antecedentes, donde se presenta la historia de la bioenergía, teoría de la bioenergía, las fuentes primarias de la bioenergía y la clasificación de los recursos de la biomasa.

El segundo capítulo se encuentra referido a las políticas públicas de bioenergía y biomasa en Guatemala, se incluye el marco institucional, las políticas públicas, la generación y distribución de la bioenergía en Guatemala.

El tercer capítulo hace referencia al desarrollo del sector científico tecnológico, en el cual se tienen los métodos biológicos o bioquímicos, capacidades, comunicación y colaboración, interacción de sectores, potencial de bioenergía y biomasa, impacto en la matriz energética, educación y percepción pública.

El cuarto capítulo se enfoca en el desarrollo del sector productivo de la bioenergía, el mismo contiene aplicación de la biomasa, costos de inversión de un proyecto energético, perspectiva de crecimiento de la energía por biomasa y red de distribución.

Finalmente, el quinto capítulo que hace referencia al análisis ambiental por uso de bioenergía, se incluye ahorro energético, teoría y conceptos generales, cálculos de ahorro por uso de bioenergía e impacto potencial.

Asimismo, se presentan las conclusiones y recomendaciones, a las que se llega por medio de la investigación y la comparación con la situación actual de este tipo de energía renovable en el país.

1. ANTECEDENTES

1.1. Historia de la bioenergía

La bioenergía es el tipo de energía que se llega a generar a partir de la biomasa, la misma ha sido utilizada por la humanidad por miles de años, la principal fuente de biomasa que se ha empleado durante este tiempo ha sido la leña, ya que se tiene un fácil acceso a la misma y la obtención no requiere esfuerzo o utilización de maquinaria especial.

A nivel doméstico se puede mencionar que la bioenergía de biomasa ha sido utilizada por pequeños agricultores, indígenas y comunidades rurales, y se puede apreciar que hasta la fecha aún sigue siendo utilizada en gran parte por los actores, para generar energía que requieren sus propias necesidades. La biomasa la obtienen en las cercanías de sus lugares de vivienda. La utilización de la bioenergía a pequeña escala o bien a escala local, es y ha sido siempre una manera sostenible de producción de energía en las comunidades.

La biomasa ha sido el principal combustible empleado por el hombre, y el más importante hasta la revolución industrial, donde ya se agregaron nuevas fuentes de combustibles para las diferentes actividades tanto industriales como domésticas. Era utilizada para cocinar, calentar los hogares y también para alimentar las máquinas de vapor, entre otros usos que se le daba. Con el paso del tiempo, dado que las máquinas requerían una mayor cantidad de energía, el carbón paso a substituir a la biomasa como el principal combustible para ponerlas en marcha a mediados del siglo XVIII.

A partir de ese momento se empezaron a utilizar e implementar nuevas fuentes energéticas, por lo que el uso de la biomasa fue bajando considerablemente, sin embargo, aún continúa jugando un papel destacado como fuente energética en diferentes aplicaciones tanto industriales como domésticas, esto debido a que se encuentra comprendida entre los diversos tipos de energías renovables.

Es considerada una clara opción a futuro, dado su carácter renovable y no contaminante, así como el papel que puede llegar a jugar al momento de generar empleo y activar la economía de algunas zonas rurales.

1.2. Teoría de la bioenergía

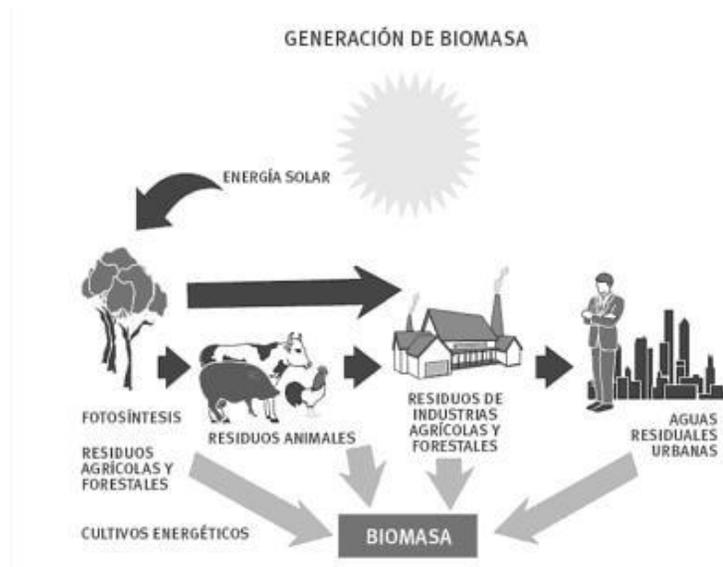
La bioenergía es una fuente de energía no fósil, por lo que entra en la clasificación de la energía renovable, hace referencia a los productos de biomasa que se han convertido a forma líquida, sólida o gaseosa, según la materia prima básica y la tecnología empleada para la generación de la misma. Es la generación de energía procedente de la vida, por medio de diferentes procesos y la suma de la energía propia que se puede llegar a obtener de los materiales orgánicos o biomasa y la energía misma que aportan los animales y el ser humano en su labor o trabajo.

La bioenergía puede contribuir al desarrollo de áreas rurales, a la fijación de población de forma más homogénea y al crecimiento del empleo gracias a la diversificación de las actividades vinculadas con el sector forestal, agrario e industrial; es una actividad productiva cuyos efectos beneficiosos se despliegan al reducir el abandono de las áreas rurales, facilitar la renovación demográfica y en definitiva, crear riqueza y mejora neta de bienestar.

La biomasa es una fuente de la bioenergía, la cual se enfoca para denominar a la materia orgánica originada a través de un proceso biológico espontáneo o provocado, que se incorpora a procedimientos artificiales que utiliza el hombre para obtener bienes de consumo, como combustible o energía. Por lo tanto se llama así al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de los recursos biológicos.

La biomasa se utiliza para diferentes fines, entre los que se pueden mencionar la generación de calor, electricidad o transporte. La misma se puede considerar como una energía solar almacenada, ya que las plantas utilizan dicha energía para capturar dióxido de carbono y agua por medio de la fotosíntesis. Abarca una amplia variedad de materias vegetales, que van desde los desechos agrícolas, forestales y urbanos hasta los cultivos plantados específicamente para producir biocombustibles, como el bioetanol y el biodiesel.

Figura 1. **Origen de la biomasa**



Fuente: CASTELLS, Xavier Elías. *Biomasa y bioenergía*.p.98.

1.3. Fuentes primarias de la bioenergía

Para la producción de la bioenergía, se deben de tener claras las fuentes para la elaboración de la misma, y en este caso la fuente principal y más importante durante todo este proceso son los residuos o desechos obtenidos de los diferente sectores, conocida como la biomasa, la cual luego podrá ser transformada en bioenergía a través de diferentes procesos, dependiendo las características de la biomasa obtenida.

Los tipos de desechos que presenta una mayor potencial son los residuos forestales, ya que de ellos se aprovecha el máximo y en algunos casos los mismos se obtienen sin necesidad de intervención humana, lo cual ocurre en el proceso de biomasa natural. Actualmente la mayor fuente para producir bioenergía a través de la biomasa se encuentra en los ingenios azucareros, los cuales aprovechan al máximo el bagazo de la caña de azúcar en tiempo de cosecha, para generar por medio de plantas cogeneradoras energía para uso local.

Se puede decir que sin residuos es imposible obtener la biomasa y por consiguiente no se puede realizar el proceso correspondiente para la generación de la bioenergía, dado que es la materia prima para iniciar cualquier tipo de conversión hacia la obtención de energía.

Entre las fuentes principales para la obtención de la biomasa se pueden mencionar los bosques, los sectores agrarios, las fincas de vacas y cerdos, y en una cantidad menor las zonas urbanas, dado de que todos estos sectores se llegan a obtener diferentes tipos de biomasa para luego poder convertirla en bioenergía de acuerdo a las condiciones y características de la misma.

1.3.1. Biomasa y bioenergía

La biomasa se define como el segmento biodegradable de los productos, subproductos y residuos procedentes de la agricultura, de la actividad forestal y de las industrias. Se puede decir que es toda la materia orgánica originada por medio de un proceso biológico, o por la actividad del hombre, y que presenta ciertas características dependiendo de donde se llegue a originar.

Esta energía almacenada en las plantas y animales, se encuentra en fuentes naturales y tiene como principal característica que es inagotable, ya que cumple con ciclos de recirculación y aprovechamiento. Dicho ciclo puede ser apreciado de la siguiente manera, las plantas llevan a cabo la fotosíntesis, lo cual se realiza utilizando energía solar para formar sustancias orgánicas, posteriormente los animales al momento de alimentarse por medio de las mismas las transforman en residuos de carácter energético, los cuales luego son expulsados al medio ambiente y por medio de diferentes procesos son aprovechados para producir energía.

Una definición más exacta con respecto a la biomasa según la Unión Europea (UE) es la siguiente: “Biomasa es la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura, silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales”.

Dicha definición presenta un carácter muy amplio, ya que se engloba una diversidad de fuentes energéticas que comparten determinadas características, pero que difieren entre sí en cuanto a las tecnologías para su obtención y aplicación para la producción de energía.

La biomasa libera frecuentemente su energía en forma de calor, la misma puede ser utilizada directamente (combustión de la madera para generar calor y cocinar), o indirectamente (convirtiéndola en combustible como el etanol a través de la caña de azúcar). La energía neta disponible en la biomasa para combustión es aproximadamente de 8 MJ/kg para la madera verde, 20 MJ/kg para la materia vegetal seca en horno y 55 MJ/kg para el metano.

La biomasa es una fuente de energía renovable en la que Guatemala debe invertir, teniendo en cuenta tanto las ventajas que conlleva a la hora de las soluciones ambientales, empleo y ahorro energético. Es la única que puede ser aprovechada tanto para la producción de biocombustibles (bioetanol, biodiesel) como para la producción de electricidad (como fuente de energía).

Se debe tener en consideración que la biomasa es más barata y eficiente en relación a los otros tipos de energías renovables, la producción de electricidad mediante el uso de biomasa representa grandes ventajas, las cuales la hacen única respecto al resto. Entre estas ventajas se pueden mencionar:

- Es la fuente renovable más beneficiosa para el medioambiente y multiplica la reducción de emisiones frente a los combustibles fósiles.
- Se puede cultivar y potenciar su desarrollo productivo, por lo que es la fuente renovable que más empleo genera por unidad de energía producida, sobre todo en zonas agrícolas.
- Posee ventajas medioambientales muy significativas. En este sentido, la biomasa presenta un balance positivo en captura de emisiones de CO₂, ya que los cultivos forestales actúan como sumideros masivos de este gas invernadero.

El término de bioenergía se utiliza de manera general para hacer mención al tipo de energía renovable que puede ser obtenida a través de la biomasa y utilizada para diversas actividades tanto domesticas como industriales.

Es indispensable el empleo de procesos de conversión termoquímicos (combustión directa, gasificación), bioquímicos (fermentación), fisicoquímicos (extracción y prensado) o una combinación de ellos, para que la bioenergía obtenida pueda ser empleada en una variedad de aplicaciones tanto térmicas, eléctricas o como carburantes. Dichos procesos de conversión dependerán en gran medida de las características que pueda presentar la biomasa que será utilizada, como por ejemplo el grado de humedad que presente la misma.

En las últimas décadas el uso de la bioenergía se ha visto incrementado considerablemente, con el fin de reducir los altos costos que se generan con respecto a la utilización del petróleo y sus derivados, así como la seguridad en el suministro eléctrico y los objetivos planteados relacionados con la sostenibilidad medioambiental, lo cual ha dado lugar a que en la actualidad, la biomasa se haya convertido en la principal fuente de energía renovable. Así mismo debido a que es una de las fuentes de energía renovable más confiable, eficiente y limpia y dadas las expectativas de desarrollo técnico de los procesos de conversión es previsible un crecimiento importante de su aprovechamiento en las próximas décadas.

1.3.2. Biomasa energética aspectos generales

Aunque las propiedades de la biomasa como fuente de energía son conocidas desde hace tiempo, la relevancia y atención de la que es objeto es muy reciente. Básicamente el nivel de importancia que ha adquirido la biomasa en los últimos años, se enfoca en tres factores sumamente importantes.

El primero de ellos hace referencia a la sustitución de los combustibles minerales y fósiles por un recurso renovable, especialmente lo relacionado con la reducción de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono. Esto hace énfasis en la necesidad de asegurar un suministro de combustible que reduzca la dependencia de los combustibles minerales, tanto desde el punto de vista estratégico como económico, debido al carácter no renovable de los mismos, y el incremento de precio de los mismos debido a los mercados de crudo.

El segundo factor que implica la atención hacia la bioenergía concierne con la potencialidad dada por las actividades relacionadas con la obtención de la biomasa y la producción de la energía, a partir de la misma se pudiera llegar a fortalecer el crecimiento en las áreas rural en diferentes aspectos, específicamente para las comunidades involucradas directamente con las actividades mencionadas. De esta forma el aprovechamiento energético de la biomasa adquiere un protagonismo creciente en la búsqueda de alternativas que permitan el desarrollo social y económico de las áreas rurales del país.

Para poder facilitar tanto las actividades de obtención de biomasa y producción de energía, los productores de bioenergía necesitaran contar con los recursos forestales o agrarios necesarios para poder crear el proceso y mantenerlo con el transcurso del tiempo, de una manera constante.

Y por último el tercer factor a tomar en cuenta hace referencia a la necesidad de asegurar un suministro de combustible que reduzca la dependencia de los combustibles minerales, indeseables desde el punto de vista estratégico como económico, esto debido a los constantes incrementos en los precios del crudo.

1.3.3. Aspectos relevantes para el aprovechamiento energético de la biomasa

Para poder apreciar la viabilidad económica de un proceso de bioenergía a través de la biomasa, resulta imprescindible evaluar ciertas características y parámetros técnicos que determinar, se puede mencionar la elección del proceso de conversión más apropiado en relación con el grado de disponibilidad y la calidad del materia biológico a utilizar; de igual forma se puede hacer mención de la rentabilidad del producto final frente a las alternativas a las cuales se pretende substituir.

Como se ha mencionado la biomasa presenta ciertas características dependiendo el origen de la misma, por lo que se deben de tomar en consideración al momento de seleccionar el proceso de conversión.

Hablando de la selección del proceso de conversión y la calidad del material biológico a utilizar, se deben de tomar en cuenta consideraciones relacionadas con el proceso en sí, tales como:

- Recolección, transporte y manejo de la biomasa

Debido a la naturaleza de los recursos energéticos, los procedimientos de recolección, transporte y manejo del material biológico, resultan elementos imprescindibles en el análisis y determinación de costos de inversión y operativos para todo proceso de conversión energética.

La distancia entre la fuente de la biomasa y la planta de procesamiento debe de ser lo más corta posible para así de esta forma poder optimizar los recursos.

- Humedad de la biomasa

Para poder llevar a cabo el proceso de conversión de biomasa en bioenergía, se debe de controlar el límite de contenido de agua en la materia a utilizar, la humedad que debe de estar presente no debe de sobrepasar el 30%, ya que un leve porcentaje mayor de humedad dificultara el proceso.

Cuando se da el caso de que la humedad es mayor a la cantidad indicada, deben de implementarse ciertos procedimientos adicionales de acondicionamiento antes de que pueda ser utilizado para el uso energético, lo que aumenta los costos de procesamiento. Entre más humedad contenga la biomasa, menor es el valor calorífico.

Se puede concluir que cierto material de biomasa con nivel de humedad relativamente bajo aumentara la eficiencia de la combustión, por lo que se obtendrá un resultado más óptimo y acorde a lo esperado.

- Densidad aparente de la biomasa

Se define como el peso por unidad de volumen del material, el combustible con alta densidad aparente es más chico y más pesado, por lo tanto necesita equipos pequeños y llega a durar más tiempo en la combustión. Los materiales de baja densidad aparente necesitan de espacios más grandes para su almacenamiento y son mucho más difíciles de transportar.

Cuando se presenta el caso de que existe una baja densidad aparente, disminuye el rendimiento energético por unidad de volumen, lo cual puede presentar problemas en el proceso de combustión y elevar considerablemente los costos.

- Composición química y estado físico de la biomasa

Se determinará el tipo de biocombustible o subproducto energético que se pueda generar por medio de la composición química, en tanto que a través del estado físico de la biomasa, se indican los procesos aplicables a cada categoría en particular.

Dado que existe una amplia variedad de desechos para poder producir la biomasa, cada uno de los mismos deben de ser analizados separadamente, para lograr obtener de esta manera un resultado más óptimo y no trabajar con determinado tipo de residuo como si fuera otro completamente diferente, lo cual daría un resultado totalmente diferente al que se esperaba inicialmente.

1.3.4. Clasificación de los recursos de la biomasa

Los recursos de la biomasa se pueden clasificar con base a su proceso, esto quiere decir si han sido o no transformaciones realizadas por el hombre, esta clasificación se puede dividir en:

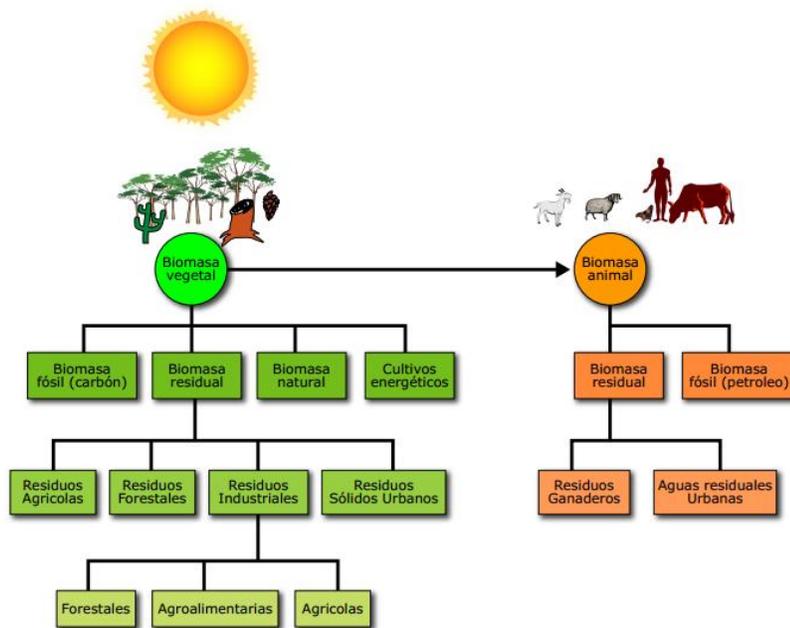
- Biomasa natural: para este tipo de biomasa los recursos son los que se producen en los ecosistemas naturales, y el proceso se da sin intervención alguna del hombre.
- Biomasa residual: para este tipo de biomasa los recursos que se toman en cuenta son los forestales, agrícolas y urbanos.
- Cultivos energéticos: cabe mencionar que estos son realizados con el fin de su completo aprovechamiento energético, caracterizados por una gran producción de materia viva en determinado tiempo.
- Excedentes agrícolas: están constituidos por los productos agrícolas desechados o los desechos que se obtienen de dicha actividad.

De igual forma la amplia diversidad de materia prima que comprende la biomasa se puede clasificar según su empleo, dicha clasificación se pueden apreciar de la siguiente forma:

- Biomasa para usos tradicionales tales como la cocción de alimentos o la calefacción doméstica.
- Biomasa para procesos modernos de generación de energía a gran escala, como lo son las plantas energéticas o los procesos de valoración de residuos urbanos, agrícolas y forestales.

En la figura 2 se puede apreciar, de manera gráfica una clasificación más detallada con respecto a la clasificación de la biomasa, dependiendo su origen.

Figura 2. **Clasificación de las fuentes de biomasa**



Fuente: <http://educasitios2008.educ.ar>. Consulta: diciembre de 2012.

1.3.4.1. Tipos de residuos

Para poder producir la biomasa existen diferentes tipos de residuos que pueden ser utilizados como materia prima para llevar a cabo el proceso. Dependiendo del tipo de residuo que se tenga, así será la aplicación que se le dará al mismo, y su clasificación será la indicada basándose en el material a trabajar.

Entre los tipos de residuos que se pueden trabajar se encuentran los siguientes:

- Forestales
- Ganaderos
- *Pellet*
- Sólidos urbanos
- Agrícolas
- Cultivos energéticos

1.3.4.2. Clasificación

Los tipos de residuos pueden ser clasificados de la siguiente manera, según la categoría a la que pertenezcan:

- Residuos forestales

La madera ha sido considerada históricamente como la fuente más importante de bioenergía, y la misma ha tenido varios usos tanto domésticos como industriales. Actualmente la materia orgánica leñosa se utiliza como fuente de energía, combustible y aplicaciones térmicas.

Este tipo de residuos son una importante fuente de biomasa, se llega a considerar que de cada árbol extraído para la producción maderera solo es utilizado un porcentaje próximo al 20%, desaprovechando casi un 40% que es dejado en el campo en las ramas y raíces del mismo, teniendo estas últimas un potencial energético mayor que el que comercialmente se utiliza. El otro 40% se obtiene del proceso de aserrín, en forma de astillas y corteza. La mayoría de estos desechos son utilizados para generación de calor, en sistemas de combustión directa.

Los residuos como la leña y el carbón vegetal han sido utilizados en procesos tradicionales como la cocción de alimentos, los desechos del campo, en algunos casos son utilizados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayoría no es aprovechada debido al alto costo del transporte.

Los residuos forestales pueden obtenerse de igual forma como residuos por medio de determinados procesos industriales previos, por lo que los mismos pueden clasificarse según su lugar de obtención de la siguiente manera:

- Residuos forestales primarios

Este tipo de residuos son idóneos de ser aprovechados en el ámbito industrial, una parte importante de ellos se utiliza como materia prima en diversos productos comercializables como por ejemplo la fabricación de madera, mientras que otra parte es destinada de manera inmediata al aprovechamiento energético a través de los diferentes procesos de conversión existentes.

El proceso para su gestión desde la obtención de los recursos hasta su conversión en energía, representa un alto costo, y para ser eficiente se precisa una muy buena planificación así como el uso de tecnologías avanzadas. Debido a sus características físicas, principalmente en relación con su volumen y su baja densidad aparente, su transporte también resulta costoso y requiere de grandes áreas para su almacenamiento.

Los residuos que se emplean para la producción de bioenergía dentro de esta clasificación son los siguientes:

- Ramas procedentes de trabajos de poda.
 - Restos que se derivan de trabajos de corta.
 - Leñas no maderables, es decir, partes mal formadas de los troncos.
 - Cultivos energéticos leñosos.
- Residuos forestales indirectos

Son residuos que se obtienen de la industria primaria de la madera, de esta forma una parte de los residuos obtenidos del ámbito forestal no son incorporados a los productos correspondientes, sino que permanecen como residuos y son aptos para el aprovechamiento como combustible orgánico.

Dichos residuos se derivan de las industrias de primera transformación, las cuales procesan directamente el material leñoso, entre este tipo de industrias se pueden mencionar los aserraderos. De igual forma se pueden mencionar las industrias de segunda transformación, las cuales procesan los productos de las de primera transformación para su conversión en productos comercializables.

- Residuos forestales recuperados

Los mismos surgen del aprovechamiento y la recuperación de residuos leñosos en actividades ajenas al sector industrial, como por ejemplo restos de demoliciones o construcciones, residuos domésticos y cajas de madera y contenedores. La explotación energética de este tipo de desechos se encuentra un poco rezagada con respecto al resto de los mismos. Aproximadamente 55% de estos residuos son utilizados como combustible.

Son más costos y difíciles de utilizar, ya que suelen estar contaminados y resulta más complejo separar en función de su origen. Muchos factores afectan la viabilidad de este tipo de residuos, entre ellos se pueden mencionar el tamaño y la condición de los materiales, su contaminación, su ubicación y concentración, así como los costos de adquisición, transporte y procesamiento.

- Residuos ganaderos

Son residuos heterogéneos compuestos por heces de animales, restos de alimentos o residuos fitosanitarios entre otros. Se clasifican en estiércoles y purines. Dado que el promedio diario de las evacuaciones equivale a un porcentaje que oscila entre el 3% y el 7% del peso del animal, su volumen de producción es considerable.

Normalmente las evacuaciones han sido utilizadas como abono, para así de esa forma mejorar la calidad de la tierra, sin embargo la intensificación de la producción ganadera ha llevado a una sobrepoblación de espacios ganaderos reducidos, lo que implica que la cantidad de residuos y desechos sea mayor que la deseada para poder llevar a cabo el proceso.

- Residuos agrícolas

La actividad agrícola genera residuos, así como los productos que no cumplen con los requerimientos para ser comercializado, y de igual forma los restos que se generan de las podas o limpieza que se realiza para mejorar la producción de las cosechas. Un ejemplo común de este tipo de residuos es el bagazo de la caña de azúcar.

Dado que los residuos agrícolas son un subproducto, y por tanto dependen de lo que se decide cultivar y se cosecha en un territorio específicamente y período determinado, resulta complicado planificar su producción. Este tipo de residuos pueden estar en mal estado debido a plagas o enfermedades en los cultivos que los originan.

Este tipo de residuos constituyen una de las fuentes con mayor potencial de desarrollo para uso energético, de igual forma conllevan importantes beneficios medioambientales, económicos y sociales.

- Residuos urbanos

Se derivan de la basura doméstica que no puede ser reciclada, este tipo de residuos puede recibir distintos tipos de tratamientos de conversión, ya que pueden ser incinerados o tratados para obtener compost. Los procesos de tratamiento de estos residuos son beneficiosos puesto que contribuyen a la mejora de la calidad del medio ambiente, y los gases que despiden son aprovechados con fines energéticos. Entre estos residuos se puede mencionar residuos alimenticios, papel, cartón y madera entre otros.

Representan un problema cada vez mayor debido a su continuo crecimiento. Aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía. Los mismos pueden dividirse en dos grandes grupos los cuales son:

- Residuos sólidos urbanos

Están formados por una gran variedad de sustancias, lo que exige que antes de que puedan ser utilizados con fines energéticos, deben de pasar por un minucioso proceso de separación, en el cual se apartan materiales como el vidrio, plásticos o metales, los cuales no sirven como fuente de energía

- Aguas residuales

Se encuentran constituidas por los afluentes líquidos que genera el ser humano en sus actividades diarias, se puede englobar dentro de lo que se denomina como biomasa animal, por medio de diferentes procesos se puede llegar a obtener un residuo el cual se denomina lodo de depuradora, dicho residuo se puede procesar para llegar a obtener biogás, el cual puede ser utilizado como combustible.

- Residuos industriales

Es muy amplio el número de sectores industriales que generan residuos orgánicos; sin embargo, en muchos de ellos, la producción real es muy escasa, ya que, por lo general, dichos residuos se utilizan como subproductos o aporte energético y, cuando no tienen utilidad o bien proceden de pequeñas industrias, se incorporan frecuentemente a los residuos sólidos urbanos.

Por estos motivos solo se consideran de interés como fuente de energía los residuos de sectores industriales que, en principio pueden generar mayor cantidad de residuos de naturaleza orgánica, en los que su eliminación supone un costo adicional en la empresa y que su valor sea escaso.

- Cultivos energéticos

Son aquellos destinados específicamente para la producción de energía de alguna de sus formas, se busca que la biomasa derivada de estos cultivos sea aprovechable casi en su totalidad para la producción de energía. Los cultivos deben de ser de crecimiento rápido y con características favorables para la producción de bioenergía, con una alta productividad, un bajo costo de producción, resiste a las plagas y sequías.

Los mismos pueden clasificarse en función al tipo de biomasa que le corresponde de la siguiente manera:

- Cultivos oleaginosos: se utilizan principalmente en la elaboración de biodiesel, los cultivos que se pueden mencionar son la palma aceitera, la soja y el girasol.
- Cultivos alcoholígenos: son cultivos utilizados para la producción de bioetanol, presentan un alto contenido en azúcar y almidón, se pueden mencionar la caña de azúcar, el maíz, el trigo, la yuca y la remolacha.
- Cultivos lignocelulósicos: abarcan los cultivos leñosos como el eucalipto, deben de poder establecerse en cualquier terreno para poder satisfacer la demanda de producción de biomasa para los combustibles, y de igual forma han de presentar un rápido crecimiento.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los diferentes recursos de biomasa que se pueden llegar a obtener, en la misma se presenta una pequeña lista detalla de una forma más específica de los tipos de residuos que pueden formar parte de cada uno de los recursos existentes.

Tabla I. **Clasificación de los recursos de biomasa**

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

Fuente: <http://comunidad.eduambiental.org>. Consulta: diciembre de 2012.

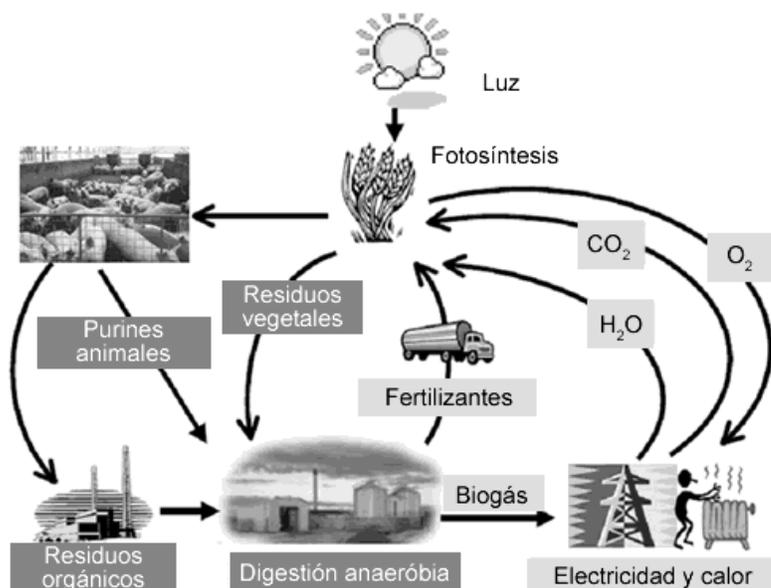
1.3.5. **La energía solar en la generación de bioenergía en Guatemala**

La energía solar es sumamente importante para la generación de bioenergía, ya que la misma es de gran ayuda para que la biomasa natural pueda llevar a cabo la fotosíntesis.

Asimismo, como parte de la generación de bioenergía a través de la energía solar, se pueden mencionar los biodigestores, los cuales consisten en un proceso biológico complejo, el cual se desarrolla por medio de microorganismos anaerobios, lo cual quiere decir que trabajan en ausencia de oxígeno transformando la materia orgánica en biogás o gas biológico, y de igual forma se puede llegar a obtener un tipo bioabono rico en nutrientes, dicha materia está constituida por la fracción de residuo que no alcanza a fermentarse.

El biogás está compuesto principalmente por metano y anhídrido carbónico, sin embargo, contiene una gran variedad de gases presenta en pequeñas cantidades.

Figura 3. **Representación del ciclo de la biodigestión**



Fuente: <http://biodigestores.org/>. Consulta: diciembre de 2012.

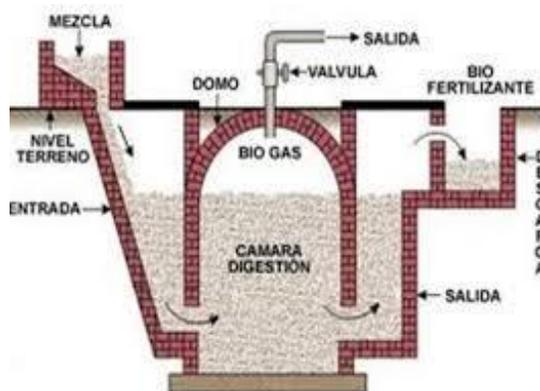
1.3.5.1. Análisis del sistema de bioenergía

Para este tipo de energía renovable existen diferentes sistemas de biodigestión, dichos sistemas se pueden clasificar según el proceso de carga de la materia en sistemas continuos, sistemas discontinuos y sistemas de dos etapas.

- Sistemas continuos

Se caracterizan por que el flujo de materia que ingresa es constante, la disposición de biomasa para alimentar estos sistemas es prácticamente diaria. Básicamente se utilizan para el tratamiento de aguas residuales, en general son plantas muy grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación. Por lo tanto este tipo de plantas son más bien instalaciones tipo industriales, donde se llega a generar una gran cantidad de biogás, el que a si vez se aprovecha en ciertas aplicaciones industriales.

Figura 4. Biodigestor de sistema continuo



Fuente: <http://www.labioguia.com/>. Consulta abril de 2013.

- **Sistemas discontinuos**

Poseen la característica que el flujo se mantiene por tiempos prolongados dentro de la cámara de biodigestión, el mismo se cargan solamente una vez en forma total, y la descarga se realiza una vez que se haya terminado de producir biogás completamente. Se realiza en contenedores cerrados de diferentes tamaños, una vez cargados no se puede extraer o añadir más sustratos hasta que el proceso finaliza en su totalidad.

Este tipo de sistemas admiten mayor carga de materiales poco diluidos, por lo que el requerimiento de agua es menor que en los sistemas continuos, sin embargo el proceso es un poco mas prologando que los mencionados anteriormente.

Figura 5. Biodigestor de sistema discontinuo



Fuente: <http://galicia.isf.es/>. Consulta abril de 2013.

- Sistema de dos etapas

Este sistema consiste en dos biodigestores en serie, en cada uno de ellos se realizan diferentes etapas de degradación, en el primero se aplican elevados tiempos de retención y como resultado se desarrolla la hidrólisis y la etapa acidogénica de la materia orgánica. En el segundo biodigestor, con una serie de tiempos de retención más bajos se termina el proceso de descomposición y por ende la producción del biogás.

1.3.5.2. Utilización

- Área rural

Se calcula que en Guatemala se han construido alrededor de 800 biodigestores tipo familiar, según datos proporcionados por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) pero estos no han sido operados correctamente, y se ha aprovechado más el beneficio del bioabono que propiamente el energético, ya que no se realiza el proceso completo y todo lo relacionado con el biogás se pierde.

Es más accesible contar con los biodigestores en esta área, ya que se tiene un fácil acceso a la materia necesaria para la producción de biogás o bien bioabono, ya que se necesitan aproximadamente entre 40 y 60 libras de excrementoso de biomasa al día para poder producir ocho horas continuas de biogás. Es por ello que una gran cantidad de los biodigestores instalados están localizados en las fincas de vacas y cerdos, ya que de esta manera no se incurre en gastos al momento de transportar los desechos al lugar donde se aplicaran los diferentes procesos al mismo.

En la siguiente figura se puede apreciar la instalación de un biodigestor que se encuentra en operación para una finca familiar, el mismo se encuentra inconcluso, ya que le hace falta la colocación del techo y una cerca periférica para mantenerlo aislado del entorno y evitar que pueda generar algún tipo de contaminación al medio ambiente, por algún tipo de fuga.

Figura 6. **Biodigestor de bolsa doble tipo familiar**



Fuente: <http://bioreactorcrc.wordpress.com/2011/03/31/biodigestor-de-bajo-costo/>. Consulta noviembre de 2014.

En las zonas rurales, se emplea en gran medida la leña como una fuente para cocinar, la cual se llega a obtener de los residuos de ciertos árboles localizados en campos agrícolas y bosques de la región. Lo cual en muchos casos ayuda a los pobladores a obtener una mayor cantidad de biomasa y darle el uso adecuado, ya que en determinadas regiones los desechos no son aprovechados al máximo y se llega a perder un gran potencial energético que se encuentra al alcance de las personas, sin necesidad de llegar a invertir en la obtención de la misma.

- Área urbana

A diferencia del área rural, en el área urbana el uso que se le da a los biodigestores es mínimo, ya que no se cuenta con un fácil acceso a los residuos necesarios que son utilizados como materia prima, y transportar los diferentes desechos desde los lugares donde se originan hasta las instalaciones donde se planea construir los biodigestores resulta muy elevado, por lo que esto es una limitante existente al momento de querer implementar este tipo de tecnología en la zona urbana.

Sin embargo, existen ciertos sectores dentro del área urbana donde se puede implementar este tipo de bioenergía. Pero en la mayoría de los casos los residuos que se generan son muy escasos en comparación con la cantidad que se necesita para poder poner en marcha este tipo de bioenergía, por lo que el beneficio que se espera obtener en cuanto al sector eléctrico se refiere, resulta mínimo y poco efectivo.

Algunos sectores que cuentan con biodigestores son los que se relacionan directamente con las granjas de cerdos, pero el uso y aprovechamiento que se le da a los mismos es menor si se hace en comparación a los que se encuentran en las áreas rurales del país, un factor que influye en que no se puedan instalar los mismo en las zonas urbanas, es la falta de espacio es las instalaciones y la contaminación que pueda llegar a generar al entorno industrial o bien doméstico del sector.

2. POLÍTICAS PÚBLICAS DE BIOENERGÍA – BIOMASA EN GUATEMALA

2.1. Marco institucional

“La Ley General de Electricidad, Decreto Número 93-96 y su Reglamento, Acuerdo Gubernativo Número 256-97, norman el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad, de acuerdo a principios y enunciados que son aplicables a todas las personas individuales o jurídicas, con participación privada, mixta o estatal, independientemente de su grado de autonomía y régimen de constitución.”¹

El sector eléctrico de Guatemala desarrolla sus actividades en el contexto de dos marcos institucionales: el Marco Institucional Local y el Marco Institucional Regional. Mientras el primero define el contexto operativo del mercado eléctrico doméstico, el segundo define el contexto operativo del mercado eléctrico que se instauró en Centroamérica.

“La Ley General de Energía determina con suma claridad los aspectos asociados a la rectoría, la regulación y la coordinación comercial de las actividades del subsector y la sustenta con un marco institucional conformado por tres entidades. Ministerio de Energía y Minas (MEM), la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), y el Administrador del Mercado Mayorista (AMM).”²

¹ MEM/DGE/Plan Indicativo del Subsector Eléctrico.

²Ibis

Por otra parte también existen entidades que encargadas del sector ambiental y la conservación de los recursos naturales, como el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Dicha entidad tiene a su cargo todas las autorizaciones sobre los estudios de evaluación de impacto ambiental que se requieren para la ejecución de proyectos.

- Ministerio de Energía y Minas (MEM)

“Es el órgano del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al subsector eléctrico y aplicar la Ley General de Electricidad y su reglamento.”³De igual forma es el encargado de otorgar autorizaciones para la instalación de centrales generadoras, servicios distribuidores y distribución final de la electricidad, y la constitución de servidumbres indefinida en los bienes de dominio público y privado.

“Su misión es propiciar y ejecutar las acciones que permitan la inversión destinada al aprovechamiento integral de los recursos naturales, que proveen bienes y servicios energéticos y minerales velando por los derechos de sus usuarios y de la sociedad en general.”⁴

Dentro del Ministerio de Energía y Minas se encuentra una dependencia conocida como la Dirección General de Energía (DGE), que tiene como propósito formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos promoviendo el empleo de energías renovables y el uso eficiente de los recursos energéticos para mejorar la calidad de vida de la población guatemalteca a nivel general.

³Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96, Título I, Capítulo I, Artículo 3, pág. 2.

⁴ Ministerio de Energía y Minas (MEM). Disponible en <https://www.mem.gob.gt>. Consulta: 14 de abril de 2014.

Es el que se encarga de proporcionar las autorizaciones que permitan a los desarrolladores de proyectos hacer uso de bienes de dominio público y velar por que se cumpla con lo establecido en la ley, para evitar que se violen aspectos que puedan llegar a perjudicar los mismos. Entre sus principales objetivos se pueden mencionar los siguientes:

- Promover la diversificación de la oferta energética, con enfoque en las fuentes de energía renovable.
- Crear las condiciones adecuadas para promover la inversión de capital nacional y extranjero dentro del sector energético y minero.
- Promover el consumo eficiente y productivo de los recursos energéticos y mineros.

El Ministerio de Energía y Minas para dar cumplimiento y seguimiento a lo que establece la Ley General de Electricidad y sus reglamentos, tiene las siguientes áreas de competencia:

- Otorgar autorizaciones definitivas para utilizar bienes de dominio público para la instalación de centrales generadoras con potencia superior a 5 MW.
- Inscribir a los agentes y grandes usuarios para que puedan realizar operaciones comerciales en el Mercado Mayorista.
- Elaborar informes de evaluación socioeconómica para costear total o parcialmente proyectos de electrificación rural.
- Determinar la procedencia de constituciones de servidumbre de utilidad pública para la conducción de energía eléctrica.
- Promover el desarrollo de proyectos de energía renovable.
- Calificar proyectos de fuentes renovables de energía, al amparo de la Ley de Incentivos.

“Es un órgano que tiene asignadas las siguientes funciones generales, según el marco establecido en la Ley del Organismo Ejecutivo.”⁵

- Estudiar y fomentar el uso de fuentes nuevas y renovables de energía.
 - Cumplir y hacer cumplir la legislación relacionada con el reconocimiento superficial, exploración, explotación, transporte y transformación de hidrocarburos.
 - Proponer y cumplir las normas ambientales en materia energética.
 - Ejercer las funciones normativas y de control y supervisión en materia de energía eléctrica que le asignen las leyes.
 - Formular la política, proponer la regulación respectiva y supervisar el sistema de exploración, explotación y comercialización de hidrocarburos y minerales.
 - Emitir opinión en el ámbito de su competencia sobre políticas o proyectos de otras instituciones públicas que incidan en el desarrollo energético del país.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)

“Fue creada por la Ley General de Electricidad contenida en el Decreto No. 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, publicada en el Diario Oficial el 21 de noviembre de 1996 como órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, con independencia funcional para el ejercicio de sus funciones.”⁶

⁵Ministerio de Energía y Minas (MEM). Disponible en <https://www.mem.gob.gt>. Consulta: 11 de abril de 2014.

⁶ Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). Disponible en <https://www.cnee.gob.gt>. Consulta: 11 de abril de 2014.

Su misión es la de velar por el cumplimiento de la Ley General de Electricidad y su Reglamento, regulando a favor de la eficiencia, estabilidad y sostenibilidad del subsector eléctrico en Guatemala para aprovechar al máximo las capacidades energéticas del país.

“Es un órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, con independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones, y tiene a su cargo las siguientes funciones:

- Cumplir y hacer cumplir la Ley General de Electricidad y su Reglamento en materia de su competencia, e imponer las sanciones a los infractores.
- Velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicadores y concesionarios, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas ilegales contra la libre competencia, así como prácticas abusivas o discriminatorias.
- Definir las tarifas de transmisión y distribución, sujetas a regulación de acuerdo a la Ley General de Electricidad, así como la metodología para el cálculo de la misma.
- Dirimir las controversias que surjan entre los agentes del subsector eléctrico actuando como árbitro entre las partes cuando estas no hayan llegado a un acuerdo.
- Emitir normas técnicas y fiscalizar su cumplimiento de acuerdo a lo establecido por la Ley.
- Emitir las disposiciones y normativas para garantizar el libre acceso y uso de las líneas de transmisión y redes de distribución de acuerdo a lo dispuesto en la ley.”⁷

⁷Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96, Título I, Capítulo II, Artículo 4, p. 2.

- Administrador del Mercado Mayorista (AMM)

El mercado mayorista se instauró en 1998, como un órgano encargado del conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía, que se efectúan a corto y largo plazo entre agentes del mercado. Su funcionamiento está regulado por la Ley General de Electricidad, su Reglamento y el Reglamento Administrador del Mercado Mayorista Acuerdo Gubernativo No. 299-98.

“La administración del mercado mayorista está a cargo de un ente privado, sin fines de lucro denominado Administrador del Mercado Mayorista (AMM), cuyas funciones son:

- La coordinación de la operación de centrales generadoras, interconexiones internacionales y líneas de transporte al mínimo de costo para el conjunto de operaciones del mercado mayorista, en un marco de libre contratación de energía eléctrica entre generadores, comercializadores, incluidos importadores y exportadores, grandes usuarios y distribuidores.
- Establecer precios de mercado de corto plazo para la transferencia de potencia y energía entre generadores, comercializadores, distribuidores, importadores y exportadores, cuando ellas no correspondan a contratos de largo plazo libremente pactados.
- Garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica en el país.”⁸

⁸Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96, Título III, Capítulo I, Artículo 44, p. 10.

“El objetivo del Administrador del Mercado Mayorista es asegurar el correcto funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado y de las interconexiones.”⁹

“Los productos y servicios que se compran y venden en el Mercado Mayorista son:

- Potencia eléctrica.
- Energía eléctrica.
- Servicios de transporte de energía eléctrica.
- Servicios complementarios.”¹⁰

Podrían considerarse como agentes del Mercado Mayorista todos aquellos generadores, comercializadores, distribuidores, transportista y grandes usuarios, que según el Reglamento de la Ley General de Electricidad, cumplen con los requisitos que se muestran en la tabla II.

Tabla II. **Requisitos para considerarse agentes del Mercado Mayorista**

| Participante | Requisitos |
|-------------------|--|
| Generadores | Potencia máxima ≥ 10 MW |
| Comercializadores | Comprar o vender bloques de energía ≥ 10 MW |
| Distribuidores | $\geq 20,000$ usuarios |
| Transportistas | Potencia firme conectada ≥ 10 MW |

Fuente: elaboración propia, con base a información proporcionada por la AMM (Administración del Mercado Mayorista).

⁹ Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo Número. 299-98, Título II, Capítulo I, Artículo 14, p. 8.

¹⁰ Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo Número. 299-98, Título I, Capítulo II, Artículo 3, p. 5.

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Es el órgano del Estado al que le corresponde formular y ejecutar las políticas relativas a su ramo, cumplir y hacer que se cumpla el régimen referente a la conservación, protección, sostenibilidad y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales en el país, y el derecho humano a un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado, debiendo prevenir la contaminación del ambiente y disminuir el deterioro ambiental.

Al mismo le corresponde proteger los sistemas naturales que dan sustento a la vida en todas sus manifestaciones y expresiones, fomentando una cultura de respeto y armonía con la naturaleza y protegiendo, preservando y utilizando racionalmente los recursos naturales, con el fin de lograr un desarrollo generacional, articulando la labor institucional, económico, social y ambiental, con el propósito de forjar una Guatemala competitiva, solidaria y equitativa.

“Su misión es la de coordina, cumplir y hacer que se cumplan las políticas y el ordenamiento jurídico concernientes a la prevención de la contaminación, conservación, protección y mejoramiento del ambiente para asegurar el uso racional, eficiente y sostenible de los recursos naturales.”¹¹

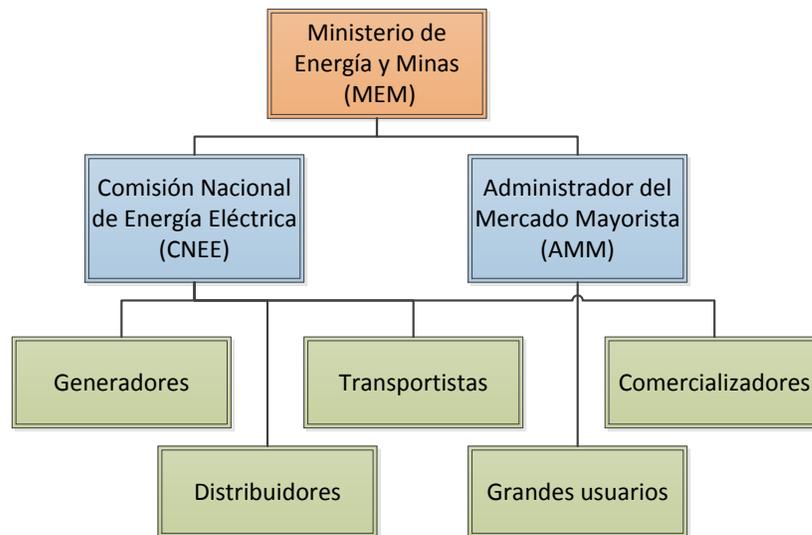
Con respecto al desarrollo de proyectos de energía renovable, el MARN tiene entre sus funciones: “Controlar la calidad ambiental, aprobar las evaluaciones del impacto ambiental (EIA), practicarlas en caso de riesgo ambiental y velar porque se cumplan, e imponer sanciones por el incumplimiento de las mismas.”¹²

¹¹ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Disponible en <https://www.marn.gob.gt>. Consulta: 7 de abril de 2014.

¹² Ley de Creación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Decreto No. 90-2000, Artículo 3.

En la figura 7, se puede apreciar jerárquicamente la estructura del mercado eléctrico nacional.

Figura 7. **Estructura del mercado eléctrico nacional**



Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el MEM.

Previo a la creación de la Ley General de Electricidad (LGE), los entes que funcionaban como Agentes de Mercado eran, el Instituto Nacional de Energía Eléctrica (INDE) el cual tenía a su cargo la electrificación del área departamental-rural, y la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) que tenía a su cargo el área central.

De igual forma el sector eléctrico, poseía una estructura de mercado monopólico, conformado por 17 Empresas Eléctricas Municipales (EEM) de distribución, transmisión y distribución de electricidad a lo largo del territorio nacional.

Las leyes que le dan contexto al marco institucional que rige toda la temática de las Energías Renovables en Guatemala son las siguientes:

- Ley General de Electricidad.
- Ley de Hidrocarburos.
- Ley de Comercialización de Hidrocarburos.
- Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.
- Ley de Área Protegidas.
- Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.
- Ley de Alcohol Carburante.
- Esquema del sector energético.

Las actividades relacionadas con las Energías Renovables, se encuentran introducidas en la estructura institucional conformada por las siguientes instancias:

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).
- Ministerio de Energía y Minas (MEM).
- Ministerio de Economía.
- Ministerio de Agricultura.
- Comisión Nacional de Biocombustibles.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP).
- Unidad de Gestión Socio Ambiental (dependencia del MEM).
- Dirección General de Energía (DGE).
- Departamento de Energías Renovables (dependencia de la DGE).
- Dirección General de Hidrocarburos (DGH).
- Unidad de Biocombustibles (dependencia no oficial de la DGH).

2.2. Políticas públicas

La Dirección General de Energía tiene como visión cooperar al desarrollo energético para fortalecer el crecimiento económico y social del país, para lo cual tiene como misión contribuir al desarrollo energético sustentable, impulsando el suministro y utilización tanto eficiente como competitiva de la energía eléctrica, obtenida de los diferentes tipos de energías renovables, con la finalidad de apoyar directamente la sustentabilidad económica, social y ambiental del país.

Una de las principales funciones de la Dirección General de Energía es la de velar por el estricto cumplimiento de las leyes y reglamentos pertenecientes a sus funciones y atribuciones, formulando y coordinando las políticas de Estado y programas indicativos de las diversas fuentes energéticas.

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha tomado acciones técnicas, con el fin de estimular el aprovechamiento de las fuentes alternas de energía, entre las que destacan las siguientes:

- Creación del centro de información y promoción de recursos renovables para la conservación de los mismos.
- Programa de identificación, localización y evaluación del potencial energético renovable.
- Programa de promoción de proyectos energéticos.

Las diferentes políticas públicas relacionadas para garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, así como las instituciones responsables de que las mismas se respeten y cumplan bajo las disposiciones de ley, se pueden apreciar en la tabla III.

Tabla III. **Políticas públicas relacionadas, para garantizar la sostenibilidad del medio ambiente**

| Políticas públicas relacionadas | Instituciones responsables |
|--|--|
| Políticas forestales de Guatemala. | <ul style="list-style-type: none"> • INAB • MAGA |
| Política nacional de cambio climático. Política Energética y Minera 2008-2012. | <ul style="list-style-type: none"> • MARN • MEM • CONRED |
| Política Marco de Gestión Ambiental. | <ul style="list-style-type: none"> • MAGA • MARN • INAB |
| Política Nacional y Estrategias de Desarrollo del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (1999). | <ul style="list-style-type: none"> • CONAP • INAB • MEM • MARN |
| Política nacional para el manejo integral de los desechos y residuos sólidos. | <ul style="list-style-type: none"> • CONAP • INAB • MAGA |

Fuente: <http://www.segeplan.gob.gt>. Consulta: diciembre de 2012.

A parte de las políticas mencionadas en la tabla anterior, las cuales se enfocan en la sostenibilidad del medio ambiente, se deben tener en consideración las políticas públicas cuyos resultados se encuentran relacionados con los beneficios que resulten de la implementación de proyectos energéticos que se puedan encontrar en fases de generación y provisión del servicio eléctrico, así como también los proyectos que ayuden a combatir el nivel de pobreza en las región determinadas.

Las normas jurídicas fundamentales que regulan el desarrollo de las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de la electricidad, para optimizar el crecimiento del subsector eléctrico y satisfacer las necesidades sociales y productivas de los habitantes del país, y con ello mejorar el nivel de vida de todos los guatemaltecos, así como garantizar que el servicio sea continuo y de calidad, mediante un desarrollo sostenible son las siguientes:

- Constitución Política de la República de Guatemala.
- Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96 y su Reglamento de la Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo 256-97.
- Reformas al Reglamento de la Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo 68-2007.
- Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo 299-98.
- Normas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
 - Normas de coordinación y operatividad.
 - Normas de coordinación comercial.
- Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto No. 52-2003, y su reglamento, Acuerdo Gubernativo 211-2005.
- Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto No. 52-2003.
- Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo 69-2007.
- Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto Número 68-86.
- Política Nacional Forestal.

La Ley General de Electricidad norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad independientemente del recurso que se utilice para su generación. La ley fundamental en materia de electricidad se sustenta a través de los principios que a continuación se detallan:

- Es libre la generación de electricidad y no se requiere para ello autorización o condición previa de parte del Estado, más que las reconocidas por la Constitución Política de la República de Guatemala y las leyes del país.
- Es libre el transporte de electricidad, también es libre el servicio de distribución privada de electricidad.
- Son libres los precios por la prestación del servicio de electricidad, con la excepción de los servicios de transporte y distribución, sujetos a autorización.

Considerando la adecuada aplicación de la Ley General de Electricidad, se desarrollaron normas en forma reglamentaria, el Ministerio de Energía y Minas emitió el Reglamento de la Ley General de Electricidad de la República de Guatemala. En este reglamento se detalla de manera más específica y profunda todo lo referente a la Ley General de Electricidad. La norma conceptualiza términos generales, define entidades fiscalizadoras y establece las normas.

La estructura del Reglamento de la Ley General de Electricidad de la República de Guatemala es la misma que la de la Ley General de Electricidad, la diferencia radica en el nivel de detalle, ya que la Ley General de Electricidad cuenta con 82 artículos y 7 artículos de disposiciones transitorias, mientras que el Reglamento cuenta con 144 artículos y 13 de disposiciones transitorias.

La Ley General de Electricidad, determina que el Mercado de Energía está constituido por el Mercado Mayorista (mercado libre) y el Mercado Regulado, como se puede ser apreciado en la figura 8.

Figura 8. **Constitución del mercado de energía, según la Ley General de Electricidad (LGE)**



Fuente: Dirección General de Energía. MEM. Guía del subsector eléctrico y de las energías renovables. p.8.

La Ley de Incentivos para el Desarrollo de Energía Renovable, tiene como objetivo el promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y atraer la inversión tanto del mercado nacional como extranjero a proyectos de esta categoría a través del establecimiento de incentivos fiscales, económicos y administrativos.

Entre los beneficios a los cuales se hace mención, se puede encontrar la exoneración de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado (IVA). Así también es posible obtener una exclusión del Impuesto Sobre la Renta (ISR) por 10 años. Este incentivo tendrá vigencia a partir de la fecha en que el proyecto inicia la operación comercial.

2.3. Generación de bioenergía – biomasa en Guatemala

La generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica, ya sea esta química, mecánica, térmica o luminosa entre otras en energía eléctrica. Para la generación de la misma se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, las cuales ejecutan alguna de las transformaciones mencionadas y constituye el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

Según un estudio realizado por el Ministerio de Energía y Minas en el 2011, la generación con recursos renovables se incremento en un 39,8% y la generación de energía con recursos no renovables únicamente aumento un 17,8%. Con base en ello, se puede concluir que la política energética ha sido fundamental para la modificación del desarrollo de la matriz energética, lo cual arroja resultados positivos, ya que se está brindando mayor importancia a las energías renovables.

La mayoría de la energía eléctrica en Guatemala proviene de las plantas hidroeléctricas, geotérmicas y térmicas ya sean estas últimas por medio de combustibles fósiles o bien por biomasa. De igual manera las plantas térmicas se asocian con la cogeneración de energía y presentan su principal aprovechamiento en los ingenios azucareros, dado la cantidad de desechos que se producen en los mismos.

“Según la matriz energética del 2012, la generación de bioenergía por medio de las diferentes fuentes de biomasa, llegó a comprender un 11,52% de la generación total de energía en el país, ocupando el cuarto lugar en cuanto a los recursos energéticos, por detrás de los hidroeléctricos, el *búnker* y el carbón.”¹³

En la tabla IV se puede apreciar la producción de energía en GWh dependiendo el tipo de combustible utilizado en el periodo comprendido de enero a diciembre del 2012.

Tabla IV. **Producción de energía por tipo de combustible.**

| Combustible | GWh |
|-----------------|----------------|
| Hidroeléctrico | 4 4392,92 |
| <i>Búnker</i> | 1760,55 |
| Diesel | 9,61 |
| Biomasa | 1003,02 |
| Carbón | 1237,92 |
| Geotérmica | 245,63 |
| Ciclo combinado | 11,92 |
| Total | 8703,57 |

Fuente: CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica). Informe estadístico 2013. p. 13.

Guatemala está catalogado como uno de los productores más eficientes del mundo en cuanto al potencial para generar energía renovable, en este caso su enfoque se basa principalmente en la caña de azúcar (bagazo) para la producción de bioenergía, y biocombustibles como el etanol entre otros. Sin embargo no es la única fuente de generación de bioenergía en el país, ya que también hay otras fuentes como la leña, los desechos agrarios y las fincas de vacas y cerdos como se mencionó con anterioridad.

¹³Consultar apartado 3.6 impacto en la matriz energética, figura 8.

El balance energético nacional indica que en el consumo nacional de energía, hablando de energía renovable, la leña constituye un 63% de la misma, mientras que el bagazo de caña de azúcar abarca solamente un 3%.

Sin embargo, estos indicadores no reflejan lo que parece ser, ya que al momento de realizar una comparación entre estas dos fuentes de energía, se aprecia que la leña es la que más uso recibe, pero se determina que la energía por medio del bagazo de caña es el que genera mayor producción y beneficio, ya que se realiza a nivel industrial, mientras que con respecto a la leña se podría concluir que el 95% del consumo final de esta materia es solamente para fines domésticos en el área rural, ya que las personas de dichas regiones no tienen acceso a los servicios básicos, por lo que utilizan este tipo de biomasa para generar calor y cocinar.

Se estima que para el 2026, el país producirá el 78% de la energía, mediante fuentes renovables, según se estima una actualización de la política energética del país. De este 78%, el 7,1% será obtenido o producido por medio de la biomasa. La meta es buscar un mayor grado de generación con recursos naturales y bajar la dependencia a los derivados del petróleo que se tienen actualmente.

2.4. Distribución de la bioenergía – biomasa en Guatemala

La distribución de la bioenergía se debe de hacer de manera equitativa en todas las regiones del país, para que de esta forma todos puedan tener los mismos beneficios por igual, aunque el aporte en biomasa no sea el mismo, dado que no en todos los sectores del país se puede producir u obtener biomasa con la misma facilidad que en otros lugares.

Actualmente no existe ningún distribuidor para este tipo de energía, ya que la misma es escasa, y no se cuenta con una empresa que se encargue de administrarla y distribuirla a diferentes regiones del país, por consiguiente al no existir ningún distribuidor, es imposible tener algún indicador con respecto a la tarifa que se podría establecer, ya que el conocimiento e información en cuanto al costo de distribución y generación de la bioenergía es prácticamente nulo, en el territorio guatemalteco.

Se tiene conocimiento de que las principales fuentes productoras de este tipo de energía renovable son las industrias de caña de azúcar a través del bagazo que producen al momento de realizar la recolección de la cosecha; las mismas producen los desechos y a la vez son los que por medio de diferentes tipos de procesos según sea el caso, completan la producción para que luego un porcentaje sea utilizado de forma interna para poder reducir los costos de facturación y otro porcentaje es vendido a las distribuidoras correspondientes de energía del país, para que sea añadido a las líneas de distribución.

De igual forma sucede en la producción de este tipo de energía a menor escala, ya que las regiones o poblados que tienen como fuente principal la bioenergía, la obtienen a partir de los mismos desechos orgánicos que ellos producen o que son producidos por los animales localizados en sus granjas; luego a través de un proceso y tiempo determinado, se llega a obtener la bioenergía, la cual es utilizada en los hogares como fuente principal de energía, ya que se carece de acceso a los servicios básicos o bien la economía en las diferentes regiones no es la más apropiada para poder costear la factura eléctrica brindada por las otras empresas.

3. DESARROLLO DEL SECTOR CIENTÍFICO TECNOLÓGICO

3.1. Métodos biológicos o bioquímicos. Medición de bioenergía – biomasa

“Los métodos bioquímicos, son los que transforman la biomasa mediante la actividad de microorganismos, los cuales causan que la materia orgánica se descomponga en componentes mucho más simples de alto poder calorífico, que luego pueden ser aprovechados a nivel industrial o domestico. Existen dos maneras diferentes, las cuales son la digestión anaeróbica o fermentación metánica y la fermentación alcohólica.”¹⁴

3.2. Capacidades

Dentro de las capacidades que se presentan para la elaboración de la bioenergía, se debe tener una consideración importante sobre las características científicas y tecnológicas, ya que por medio de ellas se logrará obtener el mayor beneficio en la producción, elaboración y distribución.

Las capacidades científicas y tecnológicas con las que cuenta cada país tienen una relación directa con el bienestar económico y social, de igual forma la productividad y la atención de problemas de interés nacional también se ven incrementadas. Considerando la ciencia y la tecnología energética como herramienta que ofrece la oportunidad de una mejor calidad de vida, se puede notar que en la sociedad guatemalteca existe una tremenda brecha entre los que tienen y los que no tienen acceso a esa tecnología.

¹⁴ Consultar apartado 3.2.2.1 procesos bioquímicos.

Tomando como prioridad este tipo de capacidades se puede lograr un mayor aprovechamiento con respecto a todos los niveles, ya que se estudiarán y analizarán todas las formas posibles de producir la bioenergía y a la vez se determinarán los mejores procesos de producción para obtener un beneficio considerable y sea de ayuda para las comunidades y de igual forma el gobierno se vea beneficiado con la elaboración de estos proyectos.

En la tabla V se pueden apreciar los diferentes centros universitarios de investigación de Guatemala que se encuentran directamente relacionados con el tema energético en general, los cuales pueden ser utilizados tanto para cubrir las capacidades científicas como las tecnológicas, dependiendo el caso que se pretenda evaluar, y tipo de estudio que se pueda realizar sobre los diferentes temas energéticos actuales.

Tabla V. **Centros universitarios de investigación de Guatemala**

| Universidad | Principales centros de investigación |
|--|---|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Dirección General de Investigación. Centro de Estudios del Mar (CEMA). Facultad de Ingeniería <ul style="list-style-type: none"> • Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). • Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). Facultad de Agronomía <ul style="list-style-type: none"> • Centro de documentación e información agrícola. |
| Universidad Rafael Landívar | Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA). |
| Universidad del Valle de Guatemala | Instituto de investigaciones. <ul style="list-style-type: none"> • Centro de estudios agrícolas y forestales. • Centro de estudios ambientales. |

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Científicas

Cuando se habla de las capacidades científicas, se hace referencia a una serie de habilidades o destrezas de las personas o individuos para apropiarse, adaptar y transformar los conocimientos que proveen las ciencias para la comprensión y solución de problemas cotidianos. Esto se logra a través de la exploración e investigación de hechos y fenómenos por medio de la observación, evaluación y comparación.

La capacidad científica surge a través de la investigación y desarrollo, lamentablemente Guatemala es el país que menos invierte en dicho rubro en Centroamérica, esto se debe a que en Guatemala no existe una amplia cultura científica y la misma se estimula muy poco por parte de las universidades

Para cubrir las capacidades científicas, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala ha implementado unidades académicas tales como la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, se fundó el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, en el cual se realizan capacitaciones en fuentes convencionales y alternas de energía con la cooperación de otras universidades Latinoamericanas, así mismo se han elaborado trabajos de graduación sobre diferentes tópicos energéticos. De igual forma se cuenta con el Centro de Investigación de Ingeniería (CII), donde se ha realizado una variedad de investigaciones sobre los diferentes tipos de energía renovable.

La Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala ha estado investigando sobre la obtención de biodiesel a partir del aceite vegetal ya utilizado para la elaboración de alimentos, ya sea por medio de restaurantes o bien fábricas de alimentos.

La Universidad Galileo ha implementado un programa de Maestría en Fuentes Renovables de Energía, la cual llega a abarcar directamente el tema de la bioenergía.

El Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) fue creado por la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) en 1992 para apoyar el avance tecnológico de la agroindustria azucarera, con el fin de mejorar la producción y productividad del cultivo de la caña de azúcar y sus derivados. El centro ha realizado investigaciones sobre la utilización de combustibles como el “etanol” el cual se puede llegar a obtener a partir del bagazo de caña.

3.2.2. Tecnológicas

La capacidad tecnológica está formada por el conjunto de conocimientos y habilidades aplicadas en determinado proceso. Se basa en las capacidades científicas dado que abarca desde los conocimientos científicos recolectados de las fuentes de energía empleada, las formas de extracción de reservas naturales, su procesamiento, transformación y desempeño de los productos finales resultantes; en este caso se habla de energía eléctrica. Por tanto, se trata de un factor de producción que envuelve el proceso en cada una de sus diferentes etapas.

Se hace referencia a las destrezas de las personas para evaluar nuevas tecnologías y utilizar de una manera efectiva las que ya existen y se encuentran a su alcance. Se busca resolver los problemas existentes por medio de la tecnología y herramientas correspondientes y adecuadas para cada uno de ellos.

Dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se implementó un parque tecnológico de energías renovables, el cual fue diseñado de manera conjunta entre el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas y la Escuela de Ingeniería Mecánica, dicho proyecto se realizó con el auspicio del Fondo Guatemalteco para el Medio Ambiente (FOGUAMA) y la Fundación Mario Dary Rivera (FUNDARY).

La Escuela de Ingeniería Química cuenta con una planta para la extracción de aceites esenciales, dentro de los cuales se puede mencionar el biodiesel.

Guatemala es un país con características especiales que tiene una riqueza étnica con tradiciones y costumbres fuertemente arraigadas en cada una de sus regiones, que deben considerarse en los modelos de transferencia de tecnología.

3.2.2.1. Procesamiento y conversión de la biomasa en energía

Existen diferentes tipos de procesos, que pueden ser empleados para la conversión de la biomasa en energía, estos van a depender tanto del tipo de residuos que se obtengan para la generación de la misma, así como de la tecnología que se tenga disponible para poder llevar a cabo el manejo de los desechos y generar la energía requerida y necesaria.

Entre los procesos de conversión se pueden mencionar los procesos termoquímicos, bioquímicos y fisicoquímicos; para llevar a cabo estos tipos de procesos, se debe partir en base al tipo de biomasa que se tenga inicialmente.

- Procesos físicos

Este tipo de procesos hacen referencia a los procedimientos previos de tratamiento de las entradas al mismo, son procesos que actúan físicamente sobre la biomasa y se encuentran asociados a las fases primarias de la transformación. Estos procesos están incluidos en la fase de acondicionamiento y se pueden mencionar los siguientes: el triturado, el astillado, el compactado y el secado. Estos son sumamente necesarios para la preparación y acondicionamiento de la biomasa para los procedimientos posteriores de acuerdo a la materia que se tenga inicialmente.

- Triturado y astillado

Este proceso consta en la reducción de los diferentes tipos de materiales, cuyo tamaño inicial puede ser variado dependiendo la tecnología que se va a utilizar, generalmente consta de dos fases, la primera que es la trituración primaria, en la cual el tamaño del material a utilizar oscila entre 1m y 10cm, y la trituración secundaria en la cual el tamaño oscila entre los 10cm y 1cm. Durante este proceso solamente se presenta un cambio físico, mientras su naturaleza se conserva intacta.

Dicho proceso es sumamente importante llevarlo a cabo antes que se pueda dar paso a los siguientes tipos de métodos, para obtener nuevos materiales, la trituración representa el proceso fundamental a partir del cual se realizaran los siguientes tratamientos.

El proceso de tritura permite generar una biomasa con características especiales lo cual permiten ser utilizadas como combustible en calderas para la generación de energía.

De igual forma las astilladoras pueden clasificarse según su sistema de tracción, su tamaño y tipo de proceso en:

- Astilladora estática: equipos fijos que pueden procesar una gran cantidad de biomasa por hora (cerca de 200 000 kg/h), se encuentran localizadas en las diferentes industrias transformadoras de madera o plantas de tratamiento de residuos leñosos.
- Astilladora semimóvil: equipos de grandes dimensiones con ruedas, desplazados a los lugares donde se encuentra la biomasa, para llevar a cabo el proceso de astillado en el campo. Pueden procesar cantidades de biomasa alrededor de 100 000 kg/h.
- Astilladoras móviles: tienen gran facilidad de acceso a las explotaciones forestales y agrícolas esto debido a su tamaño, pueden procesar cantidades de biomasa que oscilan entre los 1 000 kg/h y 10 000 kg/h

Los rendimientos en cada uno de los tipos dependerán directamente de la forma de alimentación la cual puede llegar a ser manual, con grúa o autoalimentada,

- Compactado

Este tipo de proceso también se le conoce con el nombre de densificado, consiste en reducir el volumen de la materia prima mediante diferentes sistemas de compactación, en este tipo de proceso se cuenta con dos alternativas diferentes, las cuales son el peletizado y el briquetado.

- Peletizado

El peletizado consiste en compactar la biomasa a través de la presión de una serie de rodillos sobre una matriz de orificios de diferentes tamaños. Es el proceso de conversión de desechos en combustible sólido, Los *pellets* que se obtienen son utilizados para la combustión térmica, y constituyen uno de los productos más comunes que se obtienen por medio de la peletización. Se pueden fabricar a partir de cualquier tipo de residuo agro-forestal como el bagazo de la caña de azúcar, cascara de café y arroz, desechos forestales, astillas de madera y otros desechos agrícolas. El contenido de humedad debe de ser menor al 12% y el tamaño de la materia a utilizar debe de ser menor a 5 milímetros de ancho por 5 milímetros de largo

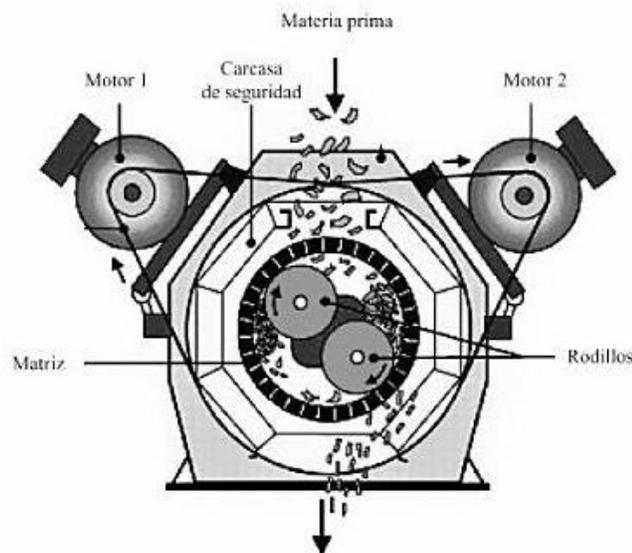
Inicialmente se debe realizar un proceso de acondicionamiento, para que el peletizado sea el adecuado, durante dicha fase es conveniente separar los elementos metálicos y las impurezas que están en compañía de la biomasa, tales como arena, tierra o piedras, luego de que se completa la etapa de acondicionamiento se pasa a la etapa de densificación o compactado. El peletizado dependerá de ciertas propiedades físicas de las partículas y de las variables del proceso como lo son la presión y la temperatura. Los *pellets* que se obtienen presentarán una forma cilíndrica y su diámetro oscilará entre los 6mm y los 30mm, y su longitud entre los 10mm y 70mm.

Durante el proceso se genera calor debido a la fricción, dicho calor provoca la vaporización de parte del agua contenida en la biomasa y dicha agua genera presión en los *pellets*, para evitar su ruptura, es necesario proceder al enfriamiento de los mismos, el mecanismo de enfriamiento que se utiliza es el que consiste en poner en contacto directo los *pellets* con una corriente de aire frío.

Los equipos que se utilizan para la obtención de *pellets* se denominan prensas peletizadoras. Se pueden emplear dos diferentes tipos de prensas para este tipo de proceso, las cuales son: prensa de tipo matriz anular, y prensa de matriz plana.

En la prensa de matriz anular se puede presentar el caso donde la matriz es fija y los rodillos presentan un movimiento giratorio, que empujan la materia a través de las numerosas hileras de orificios, o bien se puede dar el caso donde los rodillos son fijos y la matriz es la que gira a alta velocidad. Generalmente en este tipo de prensa se cuenta con dos rodillos. En la figura 9 se puede apreciar una prensa con matriz anular.

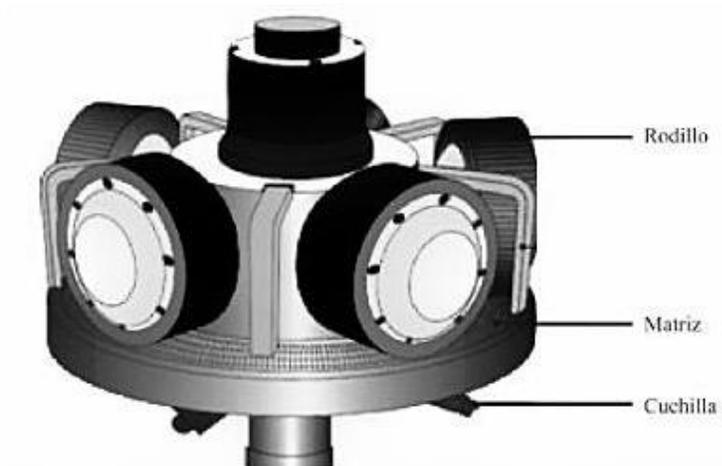
Figura 9. **Prensa con matriz anular**



Fuente: NOGUÉS, Fernando Sebastián. *Energía de la Biomasa*. p. 294.

En la prensa de matriz plana el mecanismo se basa en una matriz circular plana y unos rodillos que presionan sobre una superficie, el número de rodillos varían entre 2 y 6, dependiendo el tamaño de la máquina, en este tipo de prensa el material se alimenta sobre la matriz por medio de gravedad. En algunos modelos la matriz rota y los rodillos permanecen fijos, y en otros la matriz se mantienen fija y los rodillos son los que rotan. En la figura 10 se puede apreciar una prensa con matriz plana.

Figura 10. **Prensa con matriz plana**



Fuente: Fernando Sebastián. *Energía de la Biomasa*. p. 294.

- **Briquetado**

En el briquetado se generan grandes presiones a lo largo del proceso, que provocan altas temperaturas y plastificación de la lignina presente en la biomasa. Es una de las opciones más económicas al momento de querer compactar cierto material, para reducir su volumen o bien revalorizar su potencial energético.

La finalidad de este proceso es el de facilitar el transporte y el almacenamiento de la biomasa, cuando esta es recogida en terrenos forestales o agrícolas, por ejemplos ramas sueltas y restos forestales amontonados, transformándolos a grupos más compactos.

Se pueden emplear tres diferentes tipos de maquinarias o tecnologías para este tipo de proceso, las cuales son: briquetadoras de pistón o por impacto, briquetadoras de tornillo o por extrusión y briquetadoras hidráulicas.

- Secado

Se lleva a cabo el proceso de secado cuando el material a trabajar contiene más del 10% de humedad, existen dos diferentes tipos de secado, los cuales son, el secado natural y el secado forzado, dependiendo el grado de humedad que se tenga así será el tipo de secado que se implementara en la biomasa.

- Secado natural

Es una técnica simple la cual se basa en el aprovechamiento de las condiciones medioambientales externas favorables para facilitar la deshidratación de los diferentes tipos de residuos, y así de esta forma obtener unos niveles de humedad que posibiliten un manejo económico y faciliten las siguientes fases de transformación que se deben llevar a cabo, o bien permita obtener rendimientos aceptables en cuanto a los procesos de conversión energética se refiere.

Cuando se hace referencia a los factores limitantes del secado, se debe destacar la humedad ambiental, la distribución de temperaturas medias y extremas, así como el tiempo de heladas y lluvia.

- Secado forzado

En la mayoría de los casos la humedad que se presenta en la biomasa es superior al 50%, lo cual representa una gran cantidad de problemas para su utilización y aprovechamiento para fines energéticos, ya que no se obtienen los resultados deseados y esperados, es por ello que se debe reducir el contenido de humedad hasta un máximo permitido de 20%, esto se logra por medio de la utilización de equipos que permiten la deshidratación de los residuos hasta los valores deseados, por medio de un flujo térmico.

Para el secado forzado de biomasa, los equipos más utilizados son los directos y los indirectos; en los equipos directos la transferencia de calor es a través del contacto directo entre el material húmedo y los gases calientes, mientras que en los equipos indirectos la transferencia de calor se realiza a través de una pared de retención. Los diseños que mejor se adecuan a este tipo de procesos son los de tambor rotatorio y los de tipo neumático.

Los de tipo neumático se basan en el arrastre de la biomasa mediante un flujo térmico que extrae la humedad del material a lo largo de todo el recorrido, suelen utilizarse cuando la deshidratación que se requiere es ligera. Consta de un foco de calor el cual genera el flujo térmico, un canal de secado y un sistema de succión. Los de tipo tambor rotatorio se utilizan cuando se trabaja con biomasa demasiado húmeda, consta de las mismas partes que el de tipo neumático

- Procesos bioquímicos

Este tipo de procesos también son conocidos como procesos biológicos, se realizan cuando la biomasa concentra una humedad mayor al 60%, existen dos tipos, los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos).

- Digestión anaeróbica o fermentación metánica

Es un proceso que se utiliza principalmente para la transformación de la biomasa húmeda como por ejemplo los vertidos biodegradables, las aguas residuales urbanas o industriales y los purines; en el cual ciertas bacterias degradan la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, con el objetivo de reducir la cantidad de contaminantes que esta puede llegar a tener. A través del mismo se generan diversos gases entre los cuales el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4) son los más abundantes

A partir de este proceso se obtiene un tipo de gas y una parte sólida en la cual se concentran los minerales y productos de difícil degradación. La parte gaseosa es conocida como biogás, y está comprendida entre un 50% y 70% de metano, y puede llegar a ser utilizado como combustible. Al utilizar los combustibles que se obtienen por medio de este proceso de transformación, presentan las siguientes ventajas medioambientales con respecto a los combustibles convencionales:

- No liberan partículas en su combustión.
- La producción de cenizas es reducida.
- El contenido de azufre de los gases de combustión es escaso.
- Contribuyen a la conservación del ciclo del CO_2

La digestión anaeróbica consta de cuatro etapas, en la primera de ellas se deben de hidrolizar los compuestos de mayor peso molecular, a través de enzimas, las cuales pueden ser amilasas y proteasas. La segunda etapa es llevada a cabo por medio de las bacterias acidogénicas que transforman los oligómeros y monómeros a ácidos grasos volátiles. Más adelante en la tercera etapa las bacterias se encargan de transformar a los ácidos grasos volátiles obtenidos en la etapa dos a ácido acético, para que posteriormente en la cuarta etapa los ácidos obtenidos anteriormente sean transformados a metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

- Fermentación alcohólica

Consiste en la transformación del carbono acumulado en las plantas, como consecuencia de la energía solar, en alcohol por medio de fermentación en diferentes fases dependiendo del tipo de biomasa. La fase de costo energético más elevado es la de destilación que contribuye a que el balance energético de la técnica puede no cumplir los parámetros renovables.

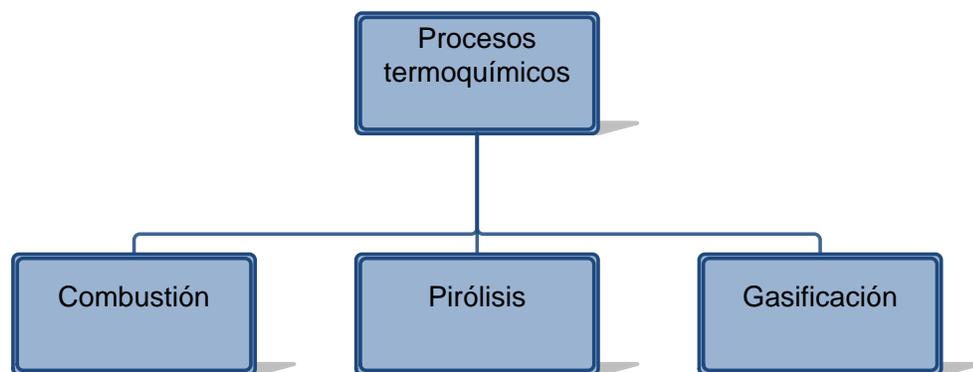
Este método convierte los hidratos de carbono de la materia prima por la acción de microorganismos durante dos o tres días bajo condiciones controladas, transformando la biomasa en etanol obteniendo biocombustible.

- Procesos termoquímicos

Este tipo de procesos se pueden llevar a cabo cuando la biomasa concentra una humedad menor al 60%, en este tipo de técnicas la biomasa es transformada al someterla a diferentes procesos de oxidación, en determinadas condiciones dadas de presión y temperatura, para poder transformarla en combustible sólido, líquido o gaseoso, dependiendo de la técnica empleada.

Son procesos que se encuentran muy desarrollados para la biomasa seca, sobre todo la paja y la madera. Estos métodos se pueden clasificar según la cantidad de oxígeno empleada en combustión, pirólisis y gasificación, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 11. **Clasificación procesos termoquímicos**



Fuente: elaboración propia.

- **Combustión**

Es el proceso más sencillo de todos, y el más utilizado tanto en el pasado como en el presente, permite obtener energía térmica tanto para uso doméstico (cocción, calefacción) como para uso industrial (calor, vapor mediante caldera), dependiendo la tecnología con la que se cuente.

Es un procedimiento mediante el cual los residuos se exponen a temperaturas entre los 150°C y los 800°C, sin controlar la cantidad de oxígeno empleada durante el proceso. Los residuos se oxidan, lo cual conlleva a la liberación de agua y dióxido de carbono, obteniéndose energía térmica, la cual puede ser utilizada en hogares o industrias.

En este tipo de proceso aplicado a la biomasa, debido a las altas temperaturas, los volátiles se desprenden de la biomasa y llegan a arder en forma gaseosa, lo cual produce llamas alargadas, dos terceras partes del poder calorífico de la biomasa suelen estar concentradas en los volátiles.

Las tecnologías más difundidas para poder llevar a cabo el proceso de combustión abarcan un amplio margen que va desde el sencillo fogón a fuego abierto que generalmente es llevado a cabo en los hogares, hasta las calderas de alto rendimiento utilizadas en la mayoría de las industrias.

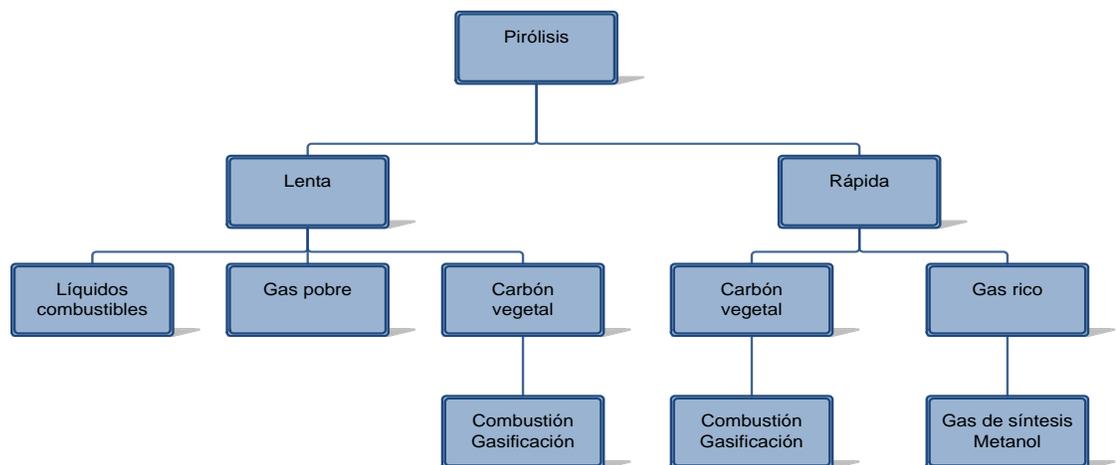
- Pirólisis

Es un proceso muy similar al de la gasificación, inclusive el mismo se encuentra inmerso a lo largo del proceso, consiste en la descomposición térmica de la materia en condiciones anaeróbicas, lo que quiere decir que actúa en ausencia de oxígeno, se trata de una combustión incompleta a una temperatura mayor a los 600°C, se llega a obtener una mezcla en parte sólida, en parte líquida y en parte gaseosa. Generalmente el producto que se obtiene a través de dicho proceso es el carbón vegetal. Sin embargo, también se obtiene una parte líquida y gaseosa, que se considera como subproducto del proceso.

El gas que se llega a desprender durante el proceso está compuesto por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H) e hidrocarburos ligeros. El mismo resulta ser un gas de bajo poder calorífico, el cual puede servir para producir electricidad, accionar motores o bien mover vehículos entre otras de sus funciones. Asimismo, dicho gas puede llegar a ser utilizado para la producción de metanol, luego de aplicar cada uno de los procesos y las tecnologías adecuadas.

Los tipos de proceso de pirólisis pueden ser convencionales o rápidos, dependiendo de las condiciones de operación utilizadas. En la siguiente figura se pueden apreciar los productos que pueden ser obtenidos por medio del proceso de pirólisis, según la tecnología que se emplee, así como el tipo de proceso que se ejecute, ya sea pirólisis lenta o bien pirólisis rápida.

Figura 12. Tipos de pirólisis y sus productos



Fuente: elaboración propia.

- Gasificación

Es un proceso de combustión incompleta de la biomasa a temperaturas entre los 700°C y los 1 500°C, en presencia de un agente gasificante el cual puede llegar a ser aire, oxígeno, hidrógeno o bien vapor de agua. Dicho proceso se lleva a cabo en un recipiente cerrado conocido con el nombre de gasificador, en el cual se introduce el combustible y una cantidad de aire menor a la que se requiere para su combustión completa. El rendimiento del proceso variara dependiendo de la tecnología, el combustible y el agente gasificante a utilizar.

Entre las ventajas de este proceso se pueden indicar las siguientes:

- Buena eficiencia en la producción eléctrica, obteniendo un rendimiento mucho mayor que la combustión directa.
- Versatilidad, debido a que las características físicas y química de la biomasa pueden ser muy heterogéneas.
- Impacto ambiental aceptable, ya que minimiza el residuo que genera.

El poder calorífico que se encuentra presente a través de los diferentes tipos de agentes gasificantes durante el proceso de la gasificación se muestra en la siguiente tabla.

Tabla VI. **Poder calorífico en (MJ/Nm³) para los diferentes medios gasificantes**

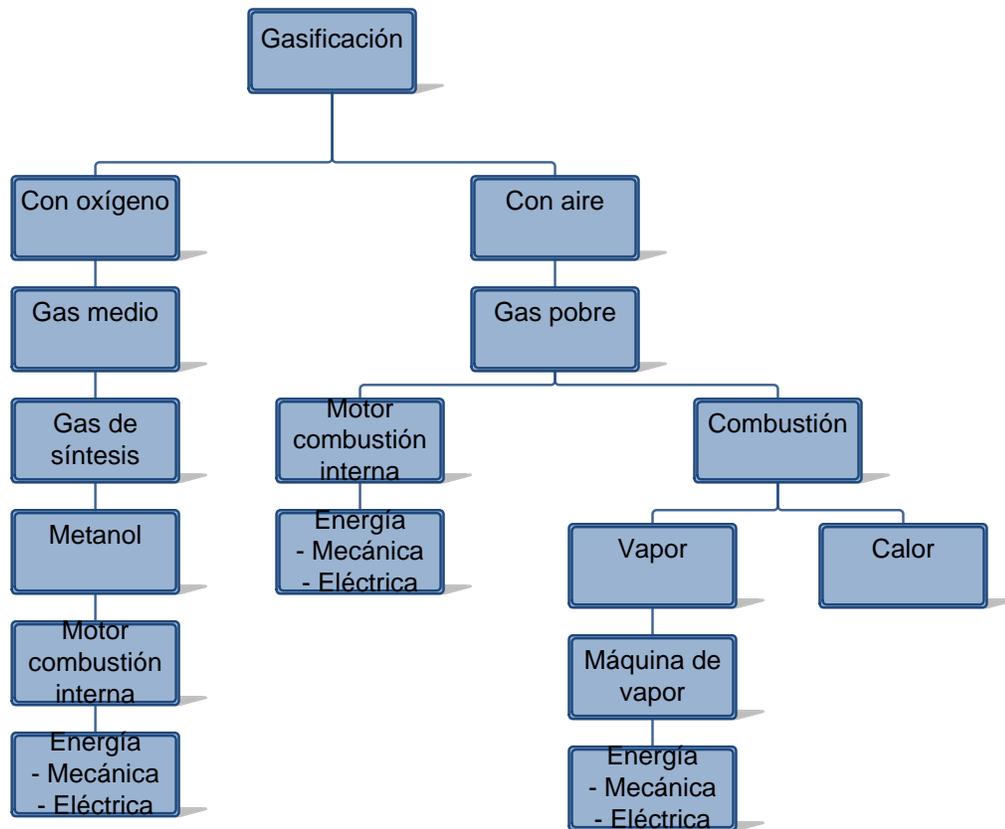
| Agente gasificante | Poder calorífico (MJ/Nm ³) |
|--------------------|--|
| Aire | 4 – 7 |
| Oxígeno | 10 – 18 |
| Hidrógeno | 12 – 28 |
| Vapor de agua | 40 |

Fuente: elaboración propia.

Durante el proceso se puede llegar a obtener un combustible gaseoso que contiene diferentes componentes, entre los que se pueden mencionar el metano (CH₄), hidrógeno (H₂), dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO), su composición y propiedades variaran de acuerdo a la materia prima utilizada para su elaboración, así como la cantidad y el agente empleado a lo largo del proceso.

Los productos que se pueden llegar a obtener por medio del proceso de gasificación dependerán del tipo de gas que se utilice, en la figura 13 se pueden apreciar los productos finales que se obtienen cuando se utilizan diferentes tipos de gases, en este caso se trabaja con oxígeno y con aire.

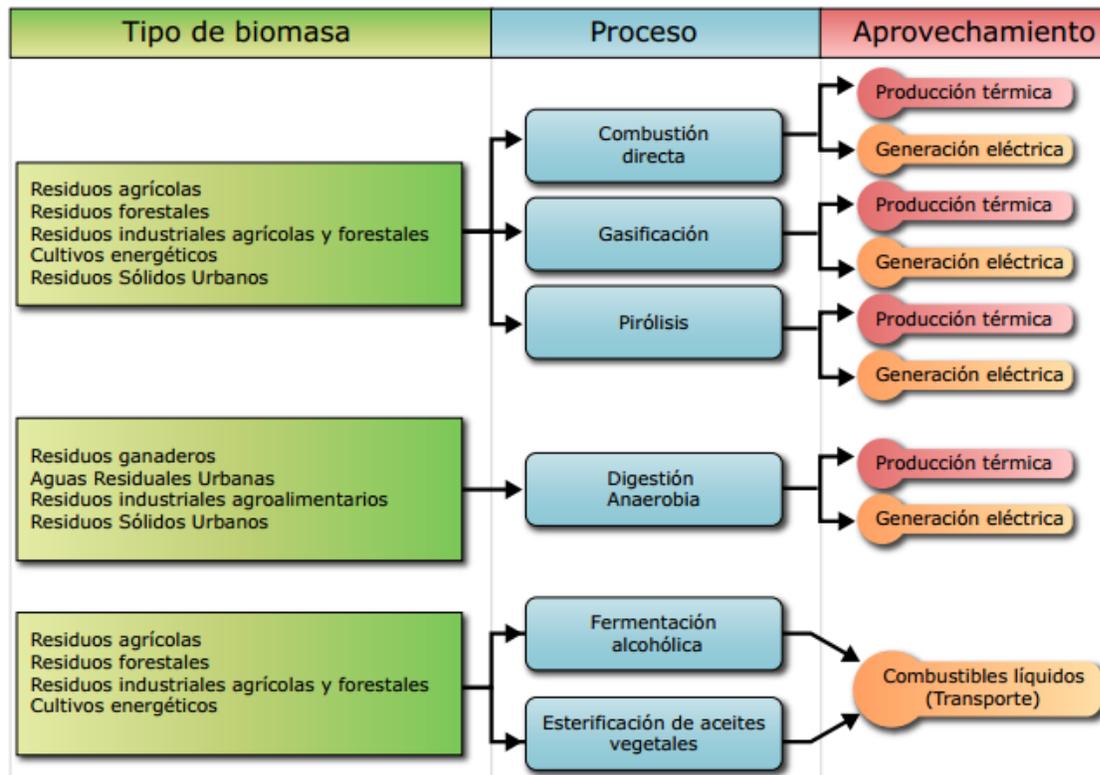
Figura 13. **Productos obtenidos por medio de la gasificación a través de oxígeno y aire**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 14 se pueden apreciar los diferentes procesos de conversión, así como el aprovechamiento correspondiente que se puede llegar a obtener por cada uno de los mismos.

Figura 14. **Procesos de conversión de la biomasa**



Fuente: <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/cursos/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>.

Consulta: junio de 2013.

3.3. **Comunicación y colaboración**

Es de suma importancia que exista una comunicación entre los entes que desean implementar algún proyecto basado en la bioenergía y las comunidades o regiones en las que se desea poner en marcha el mismo. La comunicación debe de ser en ambos sentidos para que por este medio se puedan conocer las opiniones tanto de los que están a favor como de los que puedan estar en contra por diferentes motivos y circunstancias.

Cuando se desea poner en marcha algún proyecto de este tipo, se debe contar con la colaboración de diferentes partes y sectores, para velar por la seguridad de la población, el medio ambiente y contar con el apoyo de los líderes y autoridades respectivas.

Se debe de contar con la participación de instituciones tanto públicas como privadas, así como nacionales e internacionales; ya que por medio de ellas se obtiene un papel importante en el proceso para modificar la manera en la cual Guatemala genera energía eléctrica para satisfacer la demanda de los diferentes sectores.

3.3.1. A nivel nacional

Al momento de enfocarse en la comunicación nacional con respecto al tema de la bioenergía, se ha llegado a detectar duplicidad de la misma y una gran dispersión de esfuerzos, ya que tanto las empresas como las personas que están trabajando en este tópico, no tienen alguna entidad específica en la cual se puedan detallar o documentar los esfuerzos de cada uno de ellos, por lo que en la mayoría de los casos se puede considerar como un retroceso, ya que en determinado punto se puede tener un avance pero al momento de realizar un cambio de autoridades se inicia de nuevo desde cero, por la carencia de una entidad relacionada con el tema.

Por lo mismo es sumamente importante contar con una entidad la cual pueda brindar información con datos reales y concretos con respecto a ciertos temas de interés como por ejemplo la cantidad de biomasa existente, la disponibilidad de la misma, así como el potencial que se puede llegar a obtener por su uso.

La colaboración a nivel nacional se ha dado entre diferentes instituciones del sector energético; el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) ubicado en la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), se ha enfocado en desarrollar e implementar programas de capacitación e investigación en cooperación con diferentes entidades tales como:

- Ministerio de Energía y Minas
- El Instituto Nacional de Electrificación
- La Comisión Nacional de Energía Eléctrica
- El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- La Fundación para la Superación de la Ingeniería
- El Colegio de Ingenieros de Guatemala
- Fundación Mario Dary (FUNDARY)
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
- Consejo Superior Universitario de Centro América (CSUCA)

El Ministerio de Energía y Minas es la institución encargada de establecer las políticas energéticas para el país, por lo que se encarga de tomar medidas estratégicas para modificar la matriz energética, dentro de las cuales podemos mencionar:

- Actualización de los reglamentos de la Ley General de Electricidad y Administrador del Mercado Mayorista (AMM).
- Promoción de fuentes de energía renovables:
 - Generación distribuida.
 - Expansión y acceso a la red de transmisión.
 - Desarrollo de proyectos para beneficio de las comunidades.
 - Abordar la barrera de oposición de los proyectos hidroeléctricos.

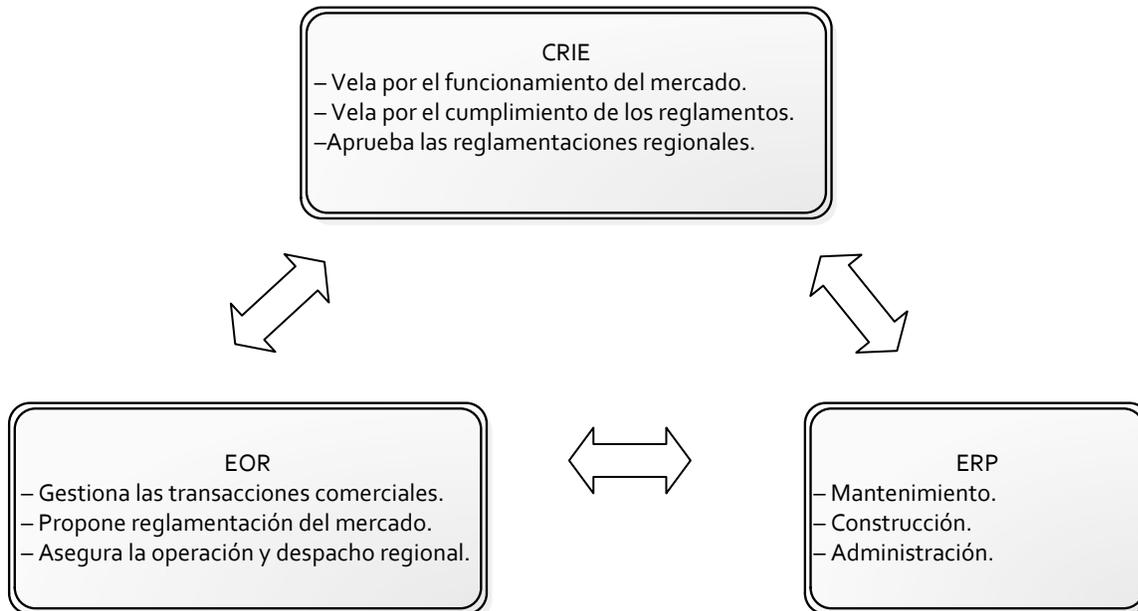
De igual forma, el Mercado Eléctrico Regional (MER) juega un papel de vital importancia, ya que contempla la actividad permanente de transacciones comerciales de electricidad, intercambios de corto plazo derivados de un despacho de energía con criterio económico regional y contratos de mediano o largo plazo.

Los actores en el Mercado Eléctrico Regional son los agentes del mercado mayorista, entre los entes regionales involucrados se pueden mencionar:

- Comisión de Interconexión Eléctrica Regional (CRIE): es la entidad encargada de la regulación, vigilancia y control del Mercado Eléctrico Regional.
- Ente Operador Regional (EOR): es el principal organismo encargado de operar el Mercado Eléctrico Regional, asegurando que la operación y el despacho regional de energía sea realizado con criterio económico, seguro, de calidad y confiabilidad.
- Empresa Propietaria de la Red (ERP): encargada de desarrollar, diseñar, financiar, construir y mantener un primer sistema el cual es el Sistema de Interconexión Eléctrica para los Países de América Central (SIEPAC). Gestiona la infraestructura de SIEPAC con competitividad, seguridad, confiabilidad, calidad, armonía con el medio ambiente y con criterios de responsabilidad social.

En la figura 15 se puede apreciar de una manera más gráfica la estructura completa del Mercado Eléctrico Regional, así como las funciones específicas de cada ente regional involucrado en el mismo.

Figura 15. **Estructura del Mercado Eléctrico Regional (MER)**



Fuente: elaboración propia con base en informe del MEM 2006.

3.3.2. A nivel internacional

En cuanto a la colaboración a nivel internacional se ha contado con el apoyo para programas de capacitación en el sector energético, con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), con el Programa Universitario Energético (PUE) de la Universidad Autónoma de México, con la Universidad Central de Venezuela, con la Oficina de Cooperación Técnica de Relaciones Externas de Venezuela, con el Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad Nacional de Costa Rica y con la Organización de los Estados Americanos (OEA).

Adicionalmente se cuenta con el tratado macro del mercado eléctrico de América Central, el cual se firmó el 30 de diciembre de 1996 entre los gobiernos de las Repúblicas de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, con los siguientes principios de competencia, gradualidad y reciprocidad, sus fines son:

- Establecer los derechos y obligaciones de las partes.
- Establecer condiciones para el crecimiento del MER, para abastecer en forma oportuna y sostenible la electricidad requerida para el desarrollo económico y social.
- Incentivar la participación del sector privado.
- Impulsar la infraestructura necesaria para el desarrollo del MER.
- Crear condiciones necesarias sobre calidad confiabilidad y seguridad en el suministro de energía eléctrica.
- Establecer reglas transparentes y no discriminatorias para regular el funcionamiento del MER.
- Propiciar el desarrollo de la región.

A raíz de este tratado surge el proyecto SIEPAC que consiste en la ejecución del primer sistema de transmisión eléctrica regional de 230 kW, el cual consiste en reforzar la red eléctrica de América Central. Entre los objetivos principales del SIEPAC se pueden mencionar:

- Apoyo a la formación y consolidación progresiva de un mercado eléctrico regional mediante la creación y establecimiento de los mecanismos legales, institucionales y técnicos apropiados para facilitar la participación del sector privado en el desarrollo de generación eléctrica.
- Establecer la infraestructura de interconexión eléctrica, que permita los intercambios de energía eléctrica entre los participantes del MER.

3.4. Interacción de sectores

La conexión y colaboración que debe existir entre los diferentes sectores tanto privados como públicos, es de suma importancia, ya que a partir de ello se puede obtener un desarrollo relativamente fuerte en cuanto al tema de la bioenergía, ya que se logrará beneficiar a todos los actores involucrados de una forma directa o indirecta.

Los principales agentes que se ven relacionados en el sector científico y tecnológico son los oferentes de energía eléctrica, las universidades como entes creadores de mano de obra calificada, y las escuelas y colegios de profesionales.

Se debe realizar esta metodología, para que el desarrollo sea fuerte, ya que de esta manera se encontrarán más caminos para que el avance sea constante y se pueda ir mejorando a lo largo del tiempo, por medio de una constante serie de actividades, así como un avance en cuanto a lo científico y la mejora de la tecnología en cada uno de los sectores que formarán parte importante de dicho proceso.

3.4.1. Productivo

El sector productivo de energía eléctrica está integrado por los agentes del mercado mayorista, sin embargo los que toman un papel aun mas importante en este ámbito son los generadores, ya que ellos son los más interesados en contribuir y hacer ver su trabajo, dado que estos se ven más afectados ante las reacciones sociales de la población, ya que si la labor de ellos es deficiente el resto de los actores involucrados no obtendrán un producto energético de calidad, que pueda satisfacer con los requerimientos deseados.

La falta de coordinación y cooperación entre los actores del sector productivo ha sido una constante que no ha permitido lograr mejores avances del mismo, dado que cada uno de ellos vela por sus intereses, lo cual hace imposible que se mantenga una comunicación constante la cual puede ser de gran ayuda para que todos puedan tener los mismos objetivos y las mismas metas en cuanto al tema energético, de igual forma se cuenta con duplicidad de esfuerzos en muchos casos, y con ello un consiguiente gasto de recursos.

3.4.2. Ingenios azucareros

Se puede decir que este es el sector que más interactúa con la producción de bioenergía en Guatemala por medio de la biomasa, ya que utilizan de una manera muy efectiva todos los tipos de residuos que generan durante el tiempo de zafra. La gran mayoría de los ingenios cuentan con plantas generadoras de energía para satisfacer sus necesidades internas y a la vez suministrar a la red energética con la venta de los excedentes en las mismas.

El sector azucarero cuenta con la implementación de plantas cogeneradoras en sus instalaciones para aprovechar al máximo la biomasa producida por los mismos y así obtener beneficios energéticos, la producción energética que presentan los ingenios es aproximadamente de 306,5 MW la cual la distribuyen entre uso interno y venta a los distribuidores de energía eléctrica en el sector. Esto a su vez ayuda a las comunidades cercanas, ya que llegan a obtener el suministro eléctrico a un menor costo que el habitual.

Cada uno de los ingenios cuenta con contratos establecidos para la venta de los excedentes de la energía que producen en sus instalaciones, dichos contratos pueden ser directamente con EEGSA o bien con algún otro distribuidor del sector.

3.4.3. Universidades

Cuando se hace referencia a las universidades, se sabe que el potencial humano que existe para poder desarrollar cualquier tipo de actividad es relativamente grande, es por ello que se deben realizar mejoras constantes en las áreas o sectores tecnológicos, para contar con la mejor tecnología y estar actualizados a los diferentes procesos y métodos existentes en el mundo.

Las universidades en Guatemala no tienen una oferta académica específicamente sobre bioenergía a través de la biomasa, sin embargo, esta no está excluida del todo, ya que es un tema que se aborda en múltiples foros, congresos y convenciones realizadas por las diferentes instituciones. Como por ejemplo la Universidad Galileo, la cual cada año el instituto de recursos energéticos realiza una convención de energía renovable y eficiencia energética.

Debe existir un sistema de trabajo conjunto, donde se implemente la investigación pero que a la vez se ponga en práctica dependiendo el tipo de investigación que se desarrolle, para así de esta forma poder obtener resultados concretos.

A pesar que se tiene el conocimiento de los centros de investigación ubicados en las diferentes universidades del país, en muchos casos no son utilizados de una forma correcta, por lo cual se limita el acceso a los mismos y no se alcanza el propósito para el cual fueran elaborados los mismos, se sabe que las universidades apoyan cuando se habla de temas de investigación brindando cursos de manera constante para fomentar dicho habito entre los participantes.

Los resultados de las investigaciones que se llevan a cabo en las diferentes casas de estudio no son suficientemente divulgados para que posteriormente se magnifique su aprovechamiento en relación directa al desarrollo tecnológico. Por otro lado el esfuerzo de los investigadores no es recompensado adecuadamente, por no contar con registro de patentes de sus descubrimientos y tecnología creada.

En muchos casos la parte científica no puede ir relacionada estrechamente con la tecnológica, ya que no existen *campus* o institutos tecnológicos que puedan ser utilizados para determinados temas de investigación, por lo que todo queda solamente en lo teórico y no es posible pasar a la práctica y demostrar lo que se investigo con anterioridad. Es por ello que es importante que se relacionen ambas partes entre sí, para que de esta forma no solamente se ayude al investigador, sino que también a que se puedan desarrollar proyectos que favorezcan a la universidad en diferentes aspectos.

En las diferentes universidades del país se cuenta con una variedad de programas de estudios que se relacionan ya sea de forma directa o indirectamente con la utilización de los recursos renovables y asimismo, con los diferentes tipos de energía renovable existentes, se puede apreciar que existe una alta oferta con respecto a los estudios superiores, que tienen una relación directa con la bioenergía en los diferentes grados académicos.

En la tabla VII se pueden apreciar de una manera más detallada algunos de los estudios académicos que presentan las diferentes casas de estudio del país, que se relacionan con la energía renovable, así como el grado académico de cada uno de ellos y la institución que ofrece dicho programa.

Tabla VII. **Estudios académicos relacionados a energías renovables**

| Universidad | Grado académico | Título o descripción |
|-------------|-----------------|--|
| Galileo | Licenciatura | Ingeniería de sistemas energéticos |
| Galileo | Postgrado | Sostenibilidad, ambiente y energía renovable |
| Galileo | Maestría | Energía renovable |
| Galileo | Maestría | Eficiencia energética |
| UMG | Maestría | Derecho ambiental |
| UMG | Maestría | Derecho y evaluación ambiental |
| UMG | Maestría | Especialización en energía renovable |
| USAC | Licenciatura | Ingeniería ambiental |
| USAC | Licenciatura | Ingeniería en gestión ambiental |
| USAC | Licenciatura | Educación ambiental |
| USAC | Maestría | Energía y ambiente |
| USAC | Maestría | Economía ambiental y de los recursos naturales |
| USAC | Maestría | Gestión de recursos hídricos |
| USAC | Maestría | Ciencias y tecnologías de recursos hídricos |
| USAC | Maestría | Ingeniería geotécnica |
| USAC | Doctorado | Cambio climático y sostenibilidad |
| UVG | Maestría | Estudios ambientales, especialidad en energía |

Fuente: elaboración propia.

3.4.4. Escuelas y colegios

Los colegios profesionales de Guatemala son asociaciones colectivas con personalidad jurídica, sin fines de lucro y apolíticas. Son asociaciones que reúnen a los distintos profesionales universitarios egresados de las diferentes casas de estudios superiores de todo el país, por lo que el interés que existe de parte de los mismos hacia temas de desarrollo en el país debe considerarse muy alto, ya que se cuenta con visionarios para generar proyectos o aportar ideas que puedan ser de gran ayuda para toda la población en general.

Estas instituciones contribuyen al cumplimiento de normas éticas en el entorno laboral y están comprometidas a velar porque la labor de sus agremiados sea de utilidad para el desarrollo del país, por esta razón, es posible identificar a instituciones como el Colegio de Ingenieros de Guatemala (CIG), que imparte un curso de evaluación de impacto ambiental enfocado a ingenieros, como parte de un programa de especialización del consejo de educación continua.

Es posible identificar diferentes escuelas por parte de las distintas facultades en todas las universidades que contribuyen al desarrollo de recursos renovables.

Actualmente no se cuenta con registros que tengan relación con respecto a alguna agrupación gremial que pueda contribuir de manera directa o indirecta en temas que se encuentren relacionados con la bioenergía por medio de la biomasa en el territorio nacional.

3.5. Potencial bioenergía – biomasa

El potencial para la producción de energía a través de la biomasa agrícola en Guatemala es sumamente grande, ya que el país cuenta con un sector agroindustrial extremadamente fuerte, con considerables productos residuales de biomasa. “Los ingenios azucareros utilizan sus residuos de biomasa para la generación de electricidad en el país con una potencia instalada efectiva de alrededor de 300 MW.”¹⁵“Durante la temporada de cosecha (noviembre-mayo), los mismos pueden generar hasta un 25% de la electricidad del país con la quema del bagazo de caña de azúcar y otros residuos.”¹⁶

¹⁵AMM 2011

¹⁶AMM 2010, CEPAL 2009

Los generadores de biomasa en los ingenios de azucareros fueron construidos en las décadas de 1980 y 1990, cuando el precio de la electricidad en el país era mucho más alto de lo que es hoy en día.

Un estudio de CEPAL de 2009 reporta que la ACI¹⁷ fijó una meta de llegar a los 500 MW de capacidad de generación a partir del bagazo, mediante la instalación de calderas más eficientes, el uso de turbinas de condensación y mejoras en el proceso de refinación de azúcar. Un informe detallado de diciembre de 2010 manifiesta que dos ingenios (Pantaleón y Magdalena) realizaron pedidos de equipo nuevo y que la meta de 500 MW se cumplirá hasta el 2016.

Existe también un potencial significativo para la generación de biomasa distribuida a pequeña escala mediante el uso de biodigestores implementados en granjas de cerdos y vacas. Se calculó que se pueden producir 27,5 m³/día de metano del estiércol de cinco vacas, y alrededor de 6 m³/día de 40 cerdos. Este tipo de sistema podría representar una capacidad significativa si se la utiliza en programas de generación distribuida en toda la república de Guatemala. Se requiere de un estudio preciso de la distribución de granjas lecheras y de cerdos para determinar su verdadero potencial de generación de electricidad.

Cualquier evaluación del potencial debe apoyarse con un análisis sumamente detallado de las contribuciones individuales dentro de las regiones específicas en el país. Como con cualquier otro recurso se debe tener en cuenta factores físicos, medioambientales y de igual forma, sociales, así como las diferentes consideraciones técnicas y económicas que pueden existir y surgir a lo largo del proceso.

¹⁷ACI: Asociación de Cogeneradores Independientes

3.5.1. Disponibilidad del recurso natural

Guatemala es un país que cuenta con una gran cantidad de recursos naturales de tipo renovables, los cuales tienen un gran potencial energético. Para la elaboración de la biomasa se puede contar con diferentes fuentes para obtener los recursos renovables, entre los principales recursos se pueden mencionar el bagazo de caña de azúcar, el maíz, la leña, las granjas lecheras y de cerdos, y las plantaciones de café. Las regiones así como los departamentos donde se puede llegar a obtener un mayor aprovechamiento de recursos naturales para la producción de biomasa en el país dependiendo el tipo de recurso que se desea obtener son los siguientes:

- Región I o Metropolitana (Guatemala).
- Región II o Norte (Alta Verapaz).
- Región IV o Suroriental (Santa Rosa).
- Región V o Central (Escuintla).
- Región VI o Suroccidental (Retalhuleu y Suchitepéquez).
- Región VI o Suroccidental (San Marcos).
- Región VII o Noroccidental (Huehuetenango y Quiché).
- Región VIII o Petén (Petén).

3.5.2. Cálculo de potencial

Según las autoridades energéticas y mineras de Guatemala, el potencial que posee el país para generar bioenergía a través del uso de la biomasa no se ha contabilizado, sin embargo, a la fecha se producen unos 306,5 MW de electricidad por medio de este recurso, el cual proviene de los residuos orgánicos de origen vegetal y animal, tales como el bagazo de la caña de azúcar, restos de café, maíz o arroz y las granjas de cerdos y vacas.

Es por ello que al momento de calcular el potencial bioenergético a través de la biomasa en Guatemala se hace referencia en gran medida a los ingenios azucareros, ya que son los que cuentan con plantas para procesar la biomasa y convertirla en energía para uso de las comunidades y de igual forma de uso interno. El potencial que se conoce y se menciona con anterioridad es en base a los ingenios, ya que es el sector que cuenta con registros de la producción de la bioenergía en determinado periodo de tiempo.

Existe un gran sector como son las cosechas de café, maíz y arroz, que producen una gran cantidad de biomasa pero la misma no se utiliza de manera adecuada para producir bioenergía, por lo que no se cuenta con un dato exacto sobre el potencial que se genera por medio de este tipo de residuo agrícola. De igual forma sucede con las granjas de vacas y cerdos, ya que los biodigestores que utiliza, cuando se da el caso, son a pequeña escala, por lo que la energía producida es mínima y solamente se emplea para abarcar un pequeño porcentaje del uso total interno de electricidad.

Para calcular el potencial de bioenergía a base de biomasa se deben considerar criterios técnicos como económicos, para así de esta forma determinar el potencial aprovechable de una manera eficiente y exacta. El cálculo del potencial de bioenergía por medio de la biomasa va en conjunto con diferentes estudios de medición. Dichos estudios permitirán obtener los parámetros para garantizar el éxito del proyecto en caso de que éste sea factible.

En la tabla VIII se puede apreciar de una manera más específica y detallada el potencial energético del país dependiendo del recurso que se desea emplear, así como el nivel estimado del potencial y su aprovechamiento respectivo.

Tabla VIII. **Potencial energético del país y nivel de aprovechamiento**

| RECURSO | ESTIMADO | APROVECHAMIENTO |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Petróleo | Reserva de 195 146 605 barriles | Producción de 10,50 barriles/día |
| Gas natural | No contabilizado | Sin aprovechar |
| Hidroeléctrico | 6 000 MW | 900 MW |
| Geotérmico | 1 000 MW | 50 MW |
| Eólico | 280 MW | Sin aprovechar |
| Solar | 5,3 kWh/m ² /día | Utilizado en sistemas aislados |
| Biomásico | No contabilizado | 306,5 MW |

Fuente: Documento Política Energética 2013-2027. p.15.

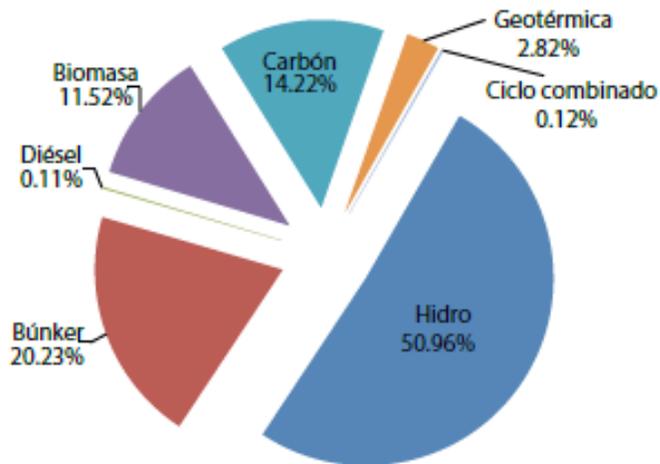
3.6. Impacto en la matriz energética

La matriz energética muestra los recursos que se utilizan para la generación de energía eléctrica en el país, y a su vez está compuesta tanto por fuentes de energía renovable como no renovables. La conciencia que se ha tomado a nivel global sobre el cuidado del medio ambiente, así como el aprovechamiento de los recursos renovables es lo que ha permitido a Guatemala cambiar parcialmente la forma en que se genera energía eléctrica, lo cual a su vez ha modificado considerablemente la matriz energética con el transcurso de los años.

En esta matriz se aborda el balance energético, el mismo que contabiliza la producción de energía en el país de acuerdo a los diferentes tipos de fuentes con la que se cuenta.

En la figura 16 se puede apreciar la producción de energía en el país dependiendo del tipo de la materia prima utilizada para la generación de la misma, ya sea esta renovable o no renovable, en el período comprendido de enero a diciembre del 2012.

Figura 16. **Producción de energía por tipo de materia prima**



Fuente: CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica). Informe estadístico 2013. p. 13.

Se puede apreciar que la producción de energía por medio de los recursos naturales y renovables es más que suficiente para cubrir la demanda actual del país, por lo que si se sigue aumentando el uso de este tipo de energías, se lograría obtener una total independencia de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica. Con lo cual se viabiliza beneficiar a diversos sectores del país.

Al lograr obtener una reducción considerable en la utilización de los combustibles fósiles, se lograría obtener una ventaja competitiva por parte de Guatemala con respecto al resto de países de la región, ya que a través de la misma se verían reducidos los productos derivados del petróleo y de igual forma se puede ofrecer un servicio de electrificación más barato al que se tiene actualmente, puesto que cabe destacar que en Guatemala se cuenta con una de las tarifas más altas a nivel centroamericano con respecto al precio de energía eléctrica.

3.7. Educación y percepción pública

En Guatemala el Ministerio de Educación ha enfocado sus esfuerzos y recursos, en la ampliación de la cobertura educativa y en el mejoramiento de la calidad de la enseñanza. De igual forma, está trabajando en la implementación de un nuevo modelo de gestión educativa y en la transformación curricular, particularmente en el nivel medio, lo cual conlleva un impulso vigoroso al desarrollo de la ciencia y la tecnología.

Anteriormente en la educación pública no se contaba con una política que abordara la ciencia y la tecnología, hoy en día son muchos los colegios privados y escuelas públicas que poseen computadoras, laboratorios y otros recursos educativos, favorecen el proceso de enseñanza y aprendizaje. Sin embargo, las escuelas públicas que disponen de los instrumentos necesarios para hacer uso de la tecnología, no son suficientes y se carece de inversión en investigación y desarrollo tecnológico.

A pesar de las limitantes existentes en cuanto a infraestructura, existen algunos esfuerzos de innovación, tal es el caso, de las Escuelas Demostrativas del Futuro. Sin embargo, a la fecha aún hace falta mucho para poder llegar a la población en general, lo cual contribuiría considerablemente en diferentes regiones del país, para el desarrollo tanto económico como social de las mismas.

Esto resulta en una situación alarmante, ya que de persistir dichas condiciones a mediano plazo, los guatemaltecos no podrán contar con las habilidades que el mundo competitivo demanda, lo que terminaría por ampliar considerablemente la brecha entre quienes han tenido oportunidades y los que no las han tenido.

Es importante resaltar, que en el marco de las políticas educativas, derivadas de la Reforma Educativa, se considera la ciencia y la tecnología como un eje transversal. Se valora tanto la creación, como la difusión del conocimiento, actitudes, destrezas y técnicas, como factores que contribuyen al perfeccionamiento de la persona y al desarrollo sostenible.

La ciencia y la tecnología son intrínsecas al ser humano y a los pueblos. Las mismas permiten asegurar un desarrollo sostenible, si se dan en completa armonía con la naturaleza. En Guatemala, de igual forma, deben ser instrumentos que contribuyan a resolver la problemática nacional, a elevar la productividad y combatir la pobreza.

El plan de educación da a la ciencia y tecnología un lugar importante, como un proceso permanente de enseñanza y aprendizaje. Con ello se favorece el ejercicio sistemático del pensamiento científico, el estímulo a la creatividad, el desarrollo de la capacidad de aprender y de emprender. La importancia para la educación de los guatemaltecos se acentúa en esta época caracterizada por cambios tecnológicos y científicos acelerados, por el desarrollo de medios avanzados de informática y comunicación.

Es por ello, que la educación popular en el área energética, para niños, jóvenes y adultos, debe venir no solamente de un esfuerzo gubernamental por fortalecer las ciencias básicas, sino también de esfuerzos de difusión y capacitación a todo nivel proveniente del sector privado y científico-académico. El Programa Nacional de Energía, de acuerdo con la Declaración Mundial sobre Educación para Todos, debe apoyar las condiciones necesarias para estimular acciones acordadas por parte de los sectores académico, público y privado que resulten en accesos equitativos a información y educación sobre energía.

La divulgación educativa sobre energía por parte de los sectores académicos y con apoyo del sector privado debe de cumplir con tres elementos de política educativa, para así de esta forma acercar a Guatemala hacia las metas del milenio. Dichos elementos son:

- Promover la diversificación de la oferta educativa.
- Impulsar modelos innovadores.
- Fomentar políticas públicas que faciliten la participación de todos los agentes sociales y su contribución en el diseño, seguimiento y rendición de cuentas de los cambios educativos.

La Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) coordina y desarrolla eventos para la promoción, difusión y transferencia de conocimientos, como por ejemplo la Semana Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación y Convergencia¹⁸, entre otros. En dichos eventos, tanto profesionales como técnicos y estudiantes de diferentes niveles educativos y público en general, pueden participar en seminarios, talleres, foros, conferencias y aprender de nuevas tecnologías.

Sin embargo, hace falta un esfuerzo organizado para impulsar la formación, capacitación y actualización de profesionales, docentes, técnicos y público en general en el área de energía o un esfuerzo de promoción de nuevas tecnologías y sus aplicaciones.

¹⁸ Convergencia es una actividad académica que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), lleva a cabo anualmente, es un encuentro de la sociedad con científicos guatemaltecos que trabajan en investigación dentro y fuera del país.

4. DESARROLLO DEL SECTOR PRODUCTIVO BIOMASA – BIOENERGÍA

4.1. Aplicación de la biomasa

En Guatemala muchas de las familias del área rural utilizan leña o bien algunas otras formas de biomasa para cocinar y generar calor en los hogares. Los lugares de los cuales obtienen la materia prima para este tipo de actividades son las zonas adyacentes a las viviendas, dichos recursos los consiguen tanto de los residuos de campos agrícolas como de los bosques de las regiones.

Las estufas utilizadas por este tipo de personas para sus actividades de cocina pueden ser tanto fijas como móviles, y generalmente cuentan con una chimenea, en la mayoría de los casos las mismas son simples y de baja eficiencia, por lo que no se llega a aprovechar al máximo el potencial de la biomasa empleada. Asimismo, emiten cantidades considerables de gases tóxicos y nocivos que llegan a tener un impacto en la salud de la familia.

Los procesos domésticos a lo largo del tiempo han sido muy ineficientes, ya que han llegado a presentar pérdidas de energía entre 30% y 90%. Esto se debe a la baja calidad de las estufas las cuales llegan a producir emanación de gases tóxicos tales como monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) y otros productos de la combustión incompleta. Dichos gases causan problemas a la salud como dolor de cabeza, enfermedades respiratorias e irritación de ojos entre otros.

Es por ello que a nivel doméstico se deben mejorar o bien cambiar totalmente el tipo de estufas que se utilizan tanto para las actividades domésticas como para la generación de calor, se debe recurrir al uso de estufas eficientes para aprovechar de una mejor manera el calor generado por el uso de biomasa en las mismas y no generar un desperdicio de energía considerable. Las estufas mejoradas o ahorradoras de leña, se deben utilizar no solamente por el ahorro energético que se puede llegar a obtener, sino también porque de esta manera no se aumenta la emisión de CO₂ a la atmósfera, ya que la cantidad emitida por las mismas es mínima, con respecto a las tradicionales.

La aplicación eléctrica de la biomasa sólida contribuye en gran parte a la estabilidad de la red de distribución del país o de las diferentes regiones, dada su capacidad para proporcionar al sistema eléctrico garantía de suministro a cualquier hora del día, independientemente de las condiciones meteorológicas que existan.

Las aplicaciones más importantes que se pueden lograr por medio del uso de la biomasa tanto en el sector industrial como doméstico dependiendo de los recursos y la capacidad con la que se cuente son:

- Generación de calor

Generalmente en las zonas rurales, una gran variedad de industrias utilizan fuentes de biomasa para poder generar el calor requerido para llevar a cabo el proceso de secado de productos agrícolas (café) y la producción de cal y ladrillos. En la mayoría de las industrias consideradas pequeñas, dichos procesos energéticos llegan a resultar ineficientes, debido a la baja calidad de los equipos y procesos inadecuados tanto de operación como de mantenimiento.

- Cogeneración

Cuando se hace mención de esta aplicación, se hace referencia a la generación simultánea de calor y electricidad, lo cual llega a resultar más eficiente que trabajar ambos procesos por separado. Los sistemas de cogeneración son una alternativa eficiente con respecto a los sistemas tradicionales de utilización de la red eléctrica y calderas, es una tecnología ampliamente desarrollada e introducida en el sector industrial.

La principal ventaja de las plantas de cogeneración, es que permite aprovechar el calor que no puede transformarse en energía eléctrica, y que de otro modo se expulsaría de diferente forma al medio ambiente. Con la cogeneración de electricidad y calor es posible alcanzar rendimientos de hasta un 85%.

Se basa en el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad. Se aplica generalmente en industrias que requieren ambas fuentes de energía, como el procesamiento de la azúcar y el café. La condensación del vapor supone una liberación de calor cercano a la mitad de la energía contenida en la biomasa; la recuperación de parte de ese calor de condensación en forma de vapor de baja temperatura o agua caliente, para usos industriales o domésticos, supone un aumento de la eficiencia energética.

Para ello se puede disponer de una turbina de contrapresión o bien hacer una extracción de vapor con volumen significativo en la zona de baja presión de la turbina. Se instalan los intercambiadores de calor adecuados y se pueden obtener rendimientos globales de entre un 40% y un 60%.

La ventaja de la cogeneración es su mayor eficiencia energética, ya que se llega a aprovechar de manera simultánea el calor y la energía eléctrica de un solo proceso, en lugar de llevar a cabo dos procesos independientes. Esta opción representa un interés atractivo en instalaciones donde tanto el consumo térmico como el eléctrico, es elevado.

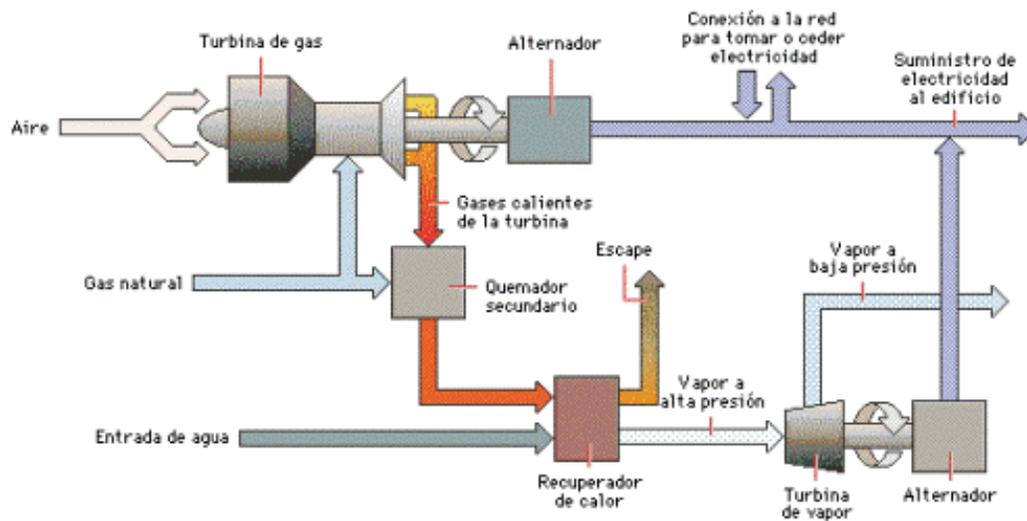
Asimismo, se pueden mencionar las siguientes ventajas tanto para los usuarios como para la sociedad en conjunto:

- Ventajas para el usuario:
 - Reducción de los costos energéticos, gracias al ahorro que se consigue en energía primaria y al menor costo de operación de una planta de cogeneración.
 - Independencia de la red eléctrica y seguridad en el suministro, ya que la energía para los procesos industriales se autogenera.
 - Dimensión de la planta de cogeneración acorde al tamaño de la industria y a las necesidades energéticas del proceso.

- Ventajas para la sociedad:
 - Mayor protección con respecto al medio ambiente, al reducirse considerablemente la emisión de gases de efecto invernadero en determinado tiempo.
 - Mayor eficiencia en la generación de energía.
 - Reducción de costos de generación, transporte y distribución de la electricidad.
 - Mejor adecuación entre la oferta y demanda energética, lo que representara la reducción y equilibrio en los precios de la energía.

En la siguiente figura se pueden apreciar las principales partes de las que consta un cogenerador para poder llevar a cabo el proceso de conversión de biomasa a calor y electricidad.

Figura 17. Partes de un cogenerador



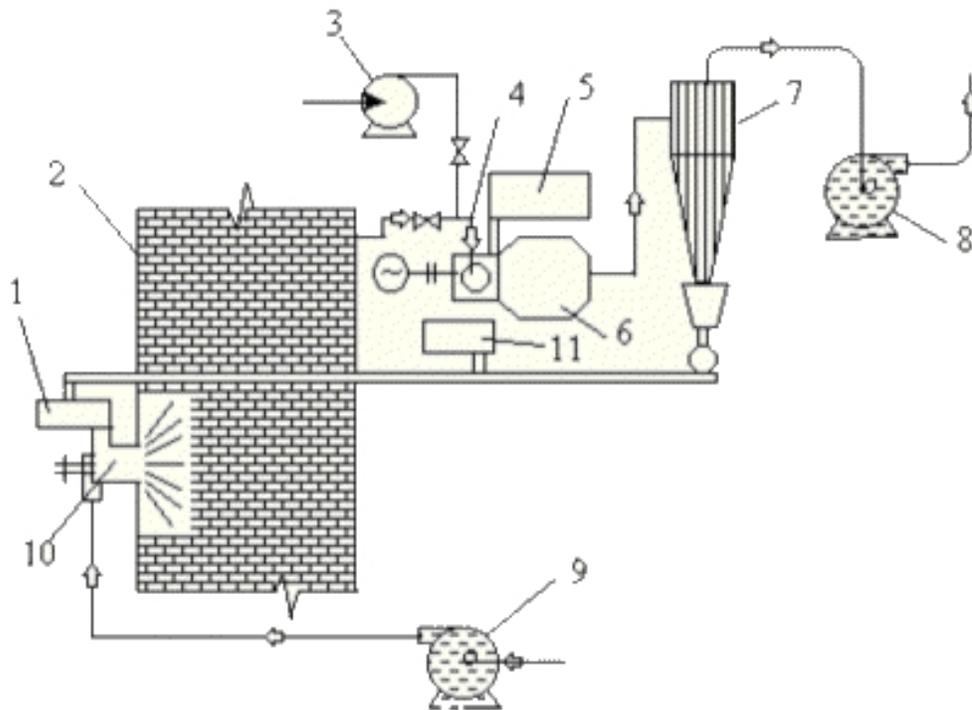
Fuente: www.afinidadeléctrica.com. Consulta: noviembre de 2013.

- Hornos industriales

Se puede hacer mención de los hornos de combustión directa en todas las operaciones agroindustriales. Básicamente consiste en una cámara de combustión en la cual la biomasa es quemada para que luego pueda ser liberada de manera directa o indirecta (intercambio de calor) en el secado de granos, madera o bien productos agrícolas, el tamaño de los mismos variará respecto a la cantidad de materia prima que se tenga así como en la tecnología con la que se desee trabajar.

En la siguiente figura se puede apreciar el ejemplo de un horno utilizado en el sistema de combustión directa de los residuos biomásicos de la agroindustria azucarera.

Figura 18. **Horno industrial para el uso de combustión directa**



Fuente: <http://www.cubasolar.cu/>. Consulta: enero 2014.

Las partes del horno industrial que se aprecia en la figura 18 son detallados a continuación: 1. Alimentador de bagazo al quemador, 2. Horno, 3. Ventilador, 4. Entrada de gases al secador, 5. Alimentador del bagazo húmedo, 6. Secador dinámico, 7. Ciclón, 8. Ventilador de tiro inducido, 9. Ventilador de tiro forzado, 10. Quemador rotatorio, 11. Alimentador de los residuos de la agricultura cañera.

- Calderas

Existen diversos tipos de calderas las cuales operan con base a la combustión de biomasa, son usadas para el secado de granos y madera. Dichos equipos cuentan con una cámara de combustión en su parte inferior en la que se quema el combustible; posteriormente los gases de la combustión pasan a través del intercambiador de calor, transfiriéndolo al agua.

Actualmente se cuenta con diferentes tipos de calderas, en las cuales se usan inyectores especiales para alimentar biomasa en forma de polvo como por ejemplo el aserrín o bien las cáscaras de grano, el cual en algunos casos puede llegar a ser trabajo en conjunto con algún tipo de combustible líquido como por ejemplo el *búnker*.

A la fecha se cuenta con tres tipos importante de calderas de biomasa para calefacción, las cuales son las siguientes:

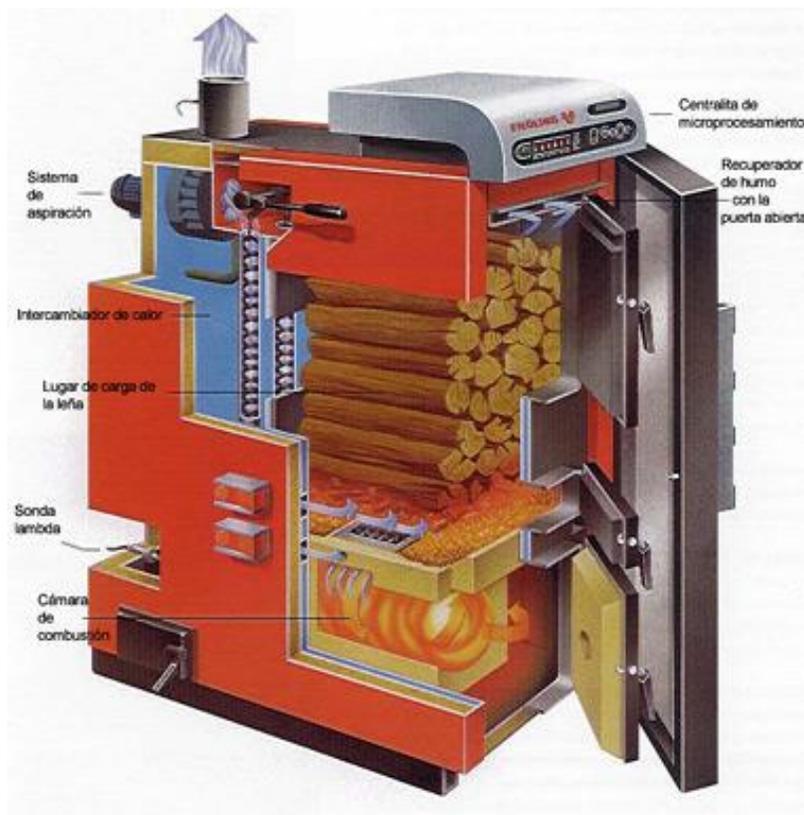
- Caldera de llama invertida para la combustión de madera.
- Caldera de astillas.
- Caldera de *pellets*.

Lo que llegará a determinar qué tipo de caldera puede ser utilizada será la materia prima con la que se cuente, dado que para la caldera de llama invertida solamente se puede utilizar leña que contenga un grado de humedad menor al 25%, lo cual se logra a través de un secado de por lo menos un año al aire. Las calderas de astilla utilizan madera virgen la cual es cortada en pequeños trozos de pequeños centímetros, mientras que la caldera de *pellets* utiliza madera virgen seca la cual es prensada en pequeños cilindros, sin aditivos.

Adicionalmente al tipo de materia prima que se utilizara, se debe tener en consideración diferentes factores tales como el espacio con el que se cuenta, la cantidad de espacio que se desea abarcar para cubrir con calefacción, y de igual forma los recursos disponibles, esto con el objetivo de determinar qué tipo de caldera se utilizará según sea el caso específico.

En la siguiente figura se puede apreciar el modelo de una caldera de leña moderna de llama invertida, para la producción de calefacción a nivel doméstico.

Figura 19. **Caldera de leña moderna de llama invertida**



Fuente: <http://www.ceu.es/>. Consulta: enero 2014.

4.2. Costos de inversión de un proyecto energético

Una de las principales características que se deben tomar en cuenta al momento de querer implementar y poner en marcha un proyecto de energía renovable es su alto costo inicial. El mismo variará con respecto al tipo de recurso y tecnología que se utiliza para la operación del mismo, de igual forma se debe tomar en consideración el tamaño del proyecto por megavatio de capacidad, ya que esta particularidad tiene una relación directa con el monto de la inversión inicial, ya que la misma terminará definiendo el tamaño deseado de la planta generadora.

Los costos relacionados con la generación de energía eléctrica a partir de la conversión de la biomasa a bioenergía son específicos del lugar del que se trate, es decir que los costos de construcción, del ajuste a los aspectos ambientales y su energía resultantes, son todos factores que juegan un importante papel en el costo final de la energía generada a partir de un lugar específico, en este caso los ingenios azucareros.

Es de suma importancia realizar un estudio económico para así de esta forma tomar en consideración todos los costos en que se incurrirá desde el momento de la planificación hasta su implantación, así como también los costos de operación.

El costo del proyecto variara considerablemente, ya que existen diferentes plantas generadoras de bioenergía a través de la biomasa, así como también diferentes metodologías y técnicas para poner en marcha un proyecto de este tipo. Los proyectos pueden variar desde un biodigestor casero, hasta una planta cogeneradora implementada en un ingenio azucarero.

La cantidad que se debe de invertir para un proyecto de conversión de biomasa en bioenergía se estima por medio de tres factores fundamentales, los cuales son:

- Volumen y tipo de biomasa: la cantidad de biomasa determina el tamaño y el tipo de sistema que se requiere, además de los procesos auxiliares que se utilizarán en el proyecto. El tipo y las características de la biomasa determinan los tratamientos previos que se requieren para la combustión, asimismo, se deben de tomar en consideración los procedimientos posteriores.
- Proceso de conversión: se toma en cuenta la composición química y física además del contenido de humedad de la biomasa para determinar el proceso que se utilizará. El tipo de tecnología que se empleara puede ser de menor o mayor grado de complejidad para realizar la transformación.
- Aplicaciones de la energía: la aplicación final de la energía influye fuertemente en el costo total del sistema de instalación, una muestra de ello es cuando la energía se usa como gas la instalación es totalmente diferente a cuando se usa como electricidad. La biomasa al ser transformada debe de ser transportada para poder ser aplicada con un fin determinado.

En la siguiente tabla se muestra el costo requerido en dólares americanos, para poder llevar a cabo el proceso de conversión de biomasa en energía, según el tipo tecnología empleada y el tipo de biomasa que se utilizará para poder llevar a cabo el mismo.

Tabla IX. **Inversión requerida para la conversión de biomasa a energía, según el tipo de tecnología**

| TECNOLOGÍA | TIPO DE BIOMASA | CONSUMO DE COMBUSTIBLE | PRODUCTO | PRODUCCIÓN | COSTO (\$) |
|---|----------------------------|------------------------|-------------------|--|----------------------------|
| Horno de carbón de ladrillos | Madera | --- | Carbón vegetal | 3 Tm/mes | 3 500 |
| Gasificador | Madera | 300 kg/h | Gas pobre | 660 m ³ /h | 12 000 |
| Biodigestor de estiércol | Estiércol | 150 kg/día | Metano | 8 m ³ /día | 2000 |
| Sistema para generación eléctrica en ciclo de vapor | Bagazo de caña de azúcar | --- | Energía eléctrica | 10-20 kWh/Tm de caña molida | Entre 1 500 y 2 000 por kW |
| Horno de combustión directa | Madera, cascarilla de café | 0,5 m ³ /h | Energía térmica | 150 000 m ³ /h de área 60°C | 30 000 |

Fuente: Biomasa, Manuales sobre energía renovable. p. 23.

Los costos de una planta generadora de bioenergía a través de la biomasa sin tomar en consideración cuál sea la tecnología a emplearse, así como tampoco la materia prima, se pueden clasificar en:

- Costos iniciales: los mismos variarán con respecto al tamaño de la planta y capacidad de generación de la misma, a medida que aumenta la capacidad, los costos se incrementaran considerablemente. Dentro de estos costos se ven comprendidos una serie de estudios, análisis e insumos, dichos costos son los siguientes:
 - Costos de planificación.
 - Costos de análisis de impacto ambiental.
 - Costos de construcción vial.
 - Costos de obtención de licencias.
 - Costos de estudios financieros y administrativos.

El presupuesto aproximado que se puede llegar a comprender para la instalación de una planta cogeneradora de energía en un ingenio azucarero puede ser apreciado en la siguiente tabla:

Tabla X. **Presupuesto para la instalación de una planta cogeneradora**

| TIPO DE GASTO | COSTO (Q.) |
|---|-------------------|
| Grupo motogenerador | 4 697 000 |
| Instalación eléctrica | 828 450 |
| Sistema de gestión y control | 328 770 |
| Sistema de recuperación de calor | 3 295 710 |
| Auxiliares | 1 060 680 |
| Instalación de gas | |
| Sistema de relleno y trasiego de aceite | |
| Sistema de ventilación | |
| Sistema de aislamiento acústico | |
| Equipo de teledisparo | 259 020 |
| Ingeniería y dirección de obras | 456 630 |
| Obra civil | 99 000 |
| Prevención de riesgos laborales | 30 000 |
| Administración | 150 000 |
| Tasas | |
| Visados | |
| Licencias | |
| Derechos compañías distribuidoras | 50 000 |
| Total | 11 255 260 |

Fuente: VELASCO, Fernando Ramiro. *Estudio de viabilidad y diseño de una planta cogeneradora*. p. 52.

- Costos de operación y mantenimiento: este tipo de costos se presentan generalmente como un porcentaje del costo de inversión por kW, generalmente dependen de la calidad y el diseño de la planta, así como las características de la materia prima empleada y las regulaciones ambientales. Al equipo de generación se le da mantenimiento y revisión una vez al año, durante el periodo de zafra muerta.

Las calderas, turbinas y generadores se desarmen totalmente, y las piezas defectuosas son cambiadas y se arma nuevamente. Dichos costos ascienden a un estimado de Q. 4 344 400 por año, de los cuales un 60% corresponde a repuestos y el 40% restante corresponde a la mano de obra, en la cual se incluyen los empleados y la asistencia técnica.

4.3. Perspectiva del crecimiento de la energía biomasa – bioenergía

Como bien se sabe, la generación de energía eléctrica a través de la bioenergía por medio del uso de biomasa en Guatemala no se ha desarrollado de una forma considerable y constante, sin embargo, esto no implica que no existan planes de desarrollo para el aprovechamiento de este recurso. La proyección y desarrollo de nuevos proyectos se encuentra en función de las políticas gubernamentales trazadas para la incitación de las energías renovables.

La perspectiva del crecimiento de la bioenergía a partir de la biomasa se ve afectada principalmente por el potencial biomásico del país, dado que esta es la principal materia prima para poder generar bioenergía por este método. De la cantidad de biomasa que se pueda llegar a obtener, dependerá en gran medida el aumento en proyectos de este tipo.

Se debe incentivar tanto a las instituciones públicas como privadas a la construcción, implementación y puesta en marcha de nuevos proyectos para poder generar energía eléctrica a partir de la biomasa, y así de esta forma brindar diferentes tipos de ayuda tanto a las empresas encargadas de la generación como a las comunidades cercanas a la región donde se localice el mismo.

Asimismo, se debe mantener un control sobre los proyectos existentes y darle el debido mantenimiento y seguimiento, para que su funcionamiento sea siempre el adecuado, y de esta forma poder aprovechar al máximo la generación que se puede llegar a obtener por los diferentes proyectos existentes en el país.

4.3.1. Proyectos realizados

El número de proyectos realizados que se encuentran en operación actualmente es de 11, la totalidad de ellos se encuentran localizados en los ingenios azucareros del país. Los mismos en conjunto tienen una potencia instalada de 473 000 kW, y una generación neta de 1 010 810,1 MWh.

En la tabla XI se pueden apreciar los proyectos de bioenergía a base de biomasa localizados en el país, así como su ubicación, la potencia instalada y la generación neta de los mismos.

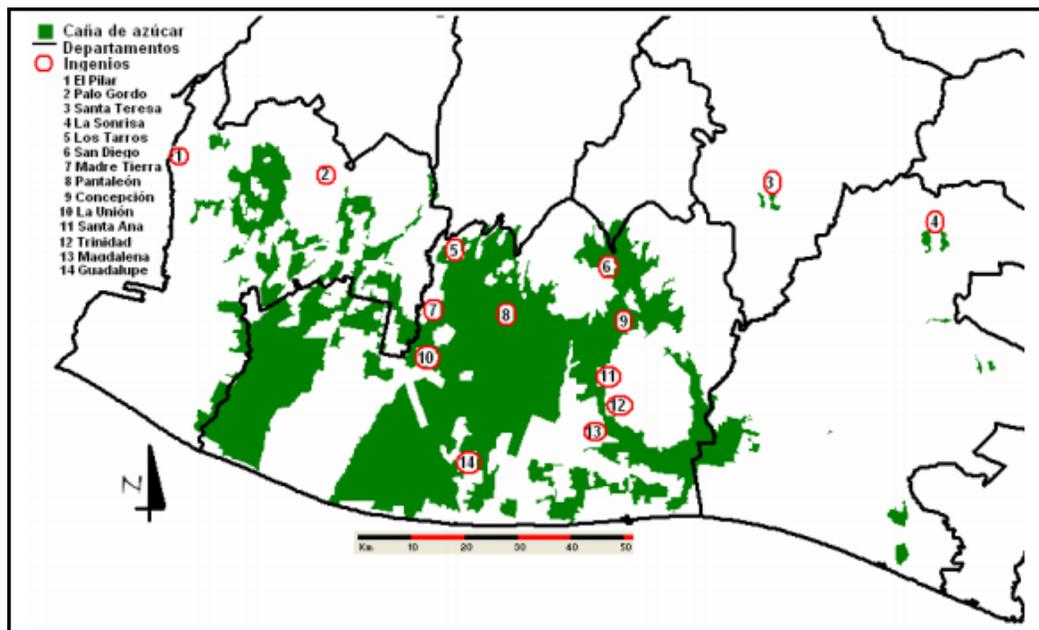
Tabla XI. **Proyectos de bioenergía a base de biomasa en Guatemala**

| Nombre | Ubicación | Número de centrales | Potencia instalada (kW) | Generación neta (MWh) |
|--------------|---------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|
| Magdalena | Escuintla | 1 | 175 000 | 306 871,8 |
| Pantaleón | Escuintla | 1 | 58 500 | 205 157,7 |
| La Unión | Escuintla | 1 | 78 500 | 141 932,0 |
| Santa Ana | Escuintla | 1 | 40 000 | 124 950,7 |
| Madre Tierra | Escuintla | 1 | 28 000 | 81 736,2 |
| Concepción | Escuintla | 1 | 27 500 | 61 755,3 |
| San Diego | Escuintla | 2 | 31 000 | 67 253,7 |
| El Pilar | Retalhuleu | 1 | 10 500 | 4 218,8 |
| Tululá | Suchitepéquez | 1 | 19 000 | 13 621,6 |
| Palo Gordo | Suchitepéquez | 1 | 5 000 | 3 312,3 |
| Total | | 11 | 473 000 | 1 010 810,1 |

Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales.

De igual forma en la siguiente figura se puede visualizar la ubicación geográfica, de los ingenios azucareros, localizados en la costa sur de Guatemala, de una manera general y al mismo tiempo considerar los que cuentan con plantas generadoras de energía por medio de bioenergía a través del uso de la biomasa, tomando como referencia la tabla XI.

Figura 20. **Ubicación geográfica de los ingenios azucareros de la costa sur de Guatemala**



Fuente: PORTABELLA LOU, José Roberto. *Sistematización del manejo de las acetnilidas para el control pre-emergente de malezas en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala*. p. 16.

Como se puede apreciar el total de ingenios se encuentran localizados en la costa sur del país, ya que es mucho más fácil obtener la materia prima necesaria para la producción de bioenergía, en este caso el bagazo de la caña de azúcar, debido a las condiciones climatológicas que se presentan en esta región del país.

4.3.1.1. Gobierno

La institución gubernativa que se encarga de la administración de los proyectos es el INDE, por medio de la Empresa de Generación de Energía Eléctrica (EGEE), la cual se dedica a operar las centrales, plantas y unidades de generación para comercializar la misma. Dicha institución será la encargada de administrar los proyectos que a futuro se pongan en marcha, por parte del sector público.

4.3.1.2. Privado

Los proyectos realizados para la generación de bioenergía a partir de la biomasa, pertenecen completamente a los ingenios azucareros, los cuales tienen un capital de inversión privado. Ya que la cantidad de residuos que llegan a generar los mismos, se han dado a la tarea de aprovecharlos al máximo para la generación de energía y así de esta manera ahorrar costos en cuanto al servicio eléctrico se refiere.

Una de las empresas encargadas sobre los proyectos desarrollados en el país con respecto a la bioenergía a partir de la biomasa es el Banco Latinoamericano de Comercio Exterior, S.A. (BLADEX) la cual se encarga de gestionar y administrar la planta generadora del ingenio Magdalena localizada en el departamento de Escuintla. Otra de las empresas encargadas de este tipo de generadoras es la empresa estadounidense Sustainable Power Corp. La cual tiene a su cargo un proyecto de bioenergía.

En la figura 21 se puede apreciar la ubicación geográfica del ingenio Magdalena, el cual se encuentra ubicado en el kilómetro 99,5 carretera a Sipacate, La Democracia, Escuintla, interior finca Buganvilla, Guatemala, C.A.

Figura 21. **Ubicación geográfica de Ingenio Magdalena**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Photoshop.

4.3.2. **Proyectos en desarrollo**

En el país se promueve la inversión en proyectos de generación de bioenergía a partir de la biomasa por medio de la Asociación de Generadores con Energías Renovables. Es por ello que se solicitó a las autoridades que se promuevan las licitaciones en este sector, tomando en consideración que se incluyan licitaciones para el suministro de los 1000 MW de potencial existente en el país para el 2015-2030.

4.3.2.1. Gobierno

Con respecto a este tipo de energía renovable no se tiene conocimiento de proyectos que se encuentren en desarrollo por parte de la iniciativa pública, la cual es representada por medio del INDE. De momento este es un tema que ha quedado a la deriva cuando se habla del sector público, esto debido a que la inversión inicial es demasiada alta, y la obtención de la biomasa representará un problema, ya que se deberían de hacer alianzas con diferentes actores del sector privado o bien con ciertas comunidades a lo largo del país.

A pesar de que el país cuenta con un gran potencial para la generación de biomasa, no se tiene como prioridad este tipo de energía renovable, esto se puede deber a que se obtienen mejores beneficios con los otros tipos de energía y la inversión que se hace no es muy elevada.

4.3.2.2. Privado

Se tiene planificada la construcción de una planta generadora de bioenergía a partir de biomasa, la cual tendrá una generación de 50 MW, la misma se encuentra en desarrollo en la costa sur y se espera que entre en operaciones a mediados del 2015, la misma cuenta con el apoyo de la iniciativa privada y capital extranjero.

Al igual que los proyectos que se han realizado hasta el momento, este proyecto que se encuentra en desarrollo, estará implementado en un ingenio azucarero, ya que ellos cuentan con un gran potencial con respecto a la obtención de la biomasa, lo cual hace que poner en marcha un proyecto de este tipo sea mucho más accesible en este tipo de industrias.

4.3.3. Proyectos en gestión

A la fecha se tiene conocimiento de que los ingenios cuentan con proyectos que se encuentran en la etapa o fase de gestión, que están directamente relacionados con la bioenergía a partir de la biomasa. Mientras que si el enfoque es hacia el sector público, los proyectos aún se encuentran muy atrasados con respecto a los primeros, ya que los mismos se encuentran solamente como un estudio y lluvias de ideas, por lo que su desarrollo podría darse en un período relativamente largo.

4.3.3.1. Gobierno

El INDE como institución gubernativa encargada de la administración de los proyectos energéticos, cuenta con cierta información que esté relacionada a proyectos de bioenergía a partir de biomasa que se puedan encontrar en la fase de gestión. Dicha información está basada en proyectos de ideas, los cuales se están planificando para obtener las mejores propuestas posibles, y obtener el mayor aprovechamiento energético para apoyar a las diferentes redes distribuidoras del país en general.

La planificación de este tipo de proyectos debe ser la más adecuada tanto para que el gobierno se beneficie desde diferentes puntos de vista, así como para las diferentes comunidades o regiones que se beneficiaran de los diferentes proyectos. Es por ello que el estudio debe de ser a profundidad y se debe de contar con el apoyo total de las diferentes comunidades regionales, para que se pueda llegar a trabajar en conjunto y no existan barreras en ninguna de las etapas de desarrollo del proceso, y asimismo, no se altere el medio donde se pondrá en marcha.

4.3.3.2. Privado

Siendo los ingenios azucareros los que representan la totalidad de proyectos generadores de bioenergía a partir de la biomasa, son lo que a la fecha cuentan con información relacionada con proyectos que puedan ser desarrollados e implementados a futuro, esto indica que los mismos tienen como objetivo desarrollar nuevos proyectos y ponerlos a trabajar en conjunto con las plantas que ya poseen en las instalaciones correspondientes, para así de esta forma obtener un mayor beneficio con respecto al tema energético y un ahorro considerable en la factura energética.

4.4. Red de distribución

En 1996, al realizarse las reformas del sector eléctrico, se crearon tres empresas de distribución: Empresa Eléctrica Guatemalteca S.A. (EEGSA) que pertenece a la española Iberdrola, Distribuidora de Oriente, S.A. (DEORSA) y Distribución de Occidente, S.A. (DEOCSA) que pertenecen a Unión Fenosa, así como 17 empresas municipales. Las cuáles son las encargadas de distribuir la energía eléctrica a las diferentes regiones y sectores del país. El sistema de distribución de Guatemala está conformado por líneas, subestaciones y las redes de distribución que operan en tensiones menores a 34,5 kW.

Las empresas distribuidoras abarcan tres grandes áreas del país. En el distrito central opera EEGSA, en el occidente opera DEOCSA y en el oriente y norte opera DEORSA. De acuerdo a lo que se encuentra establecido en la ley general de electricidad, un distribuidor es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica en el territorio nacional.

En la tabla XII se pueden apreciar las diferentes empresas distribuidoras, así como el lugar donde operan y el consumo que genera cada una de ellas a nivel nacional, en la misma se encuentra el consumo que llegan a generar las empresas municipales.

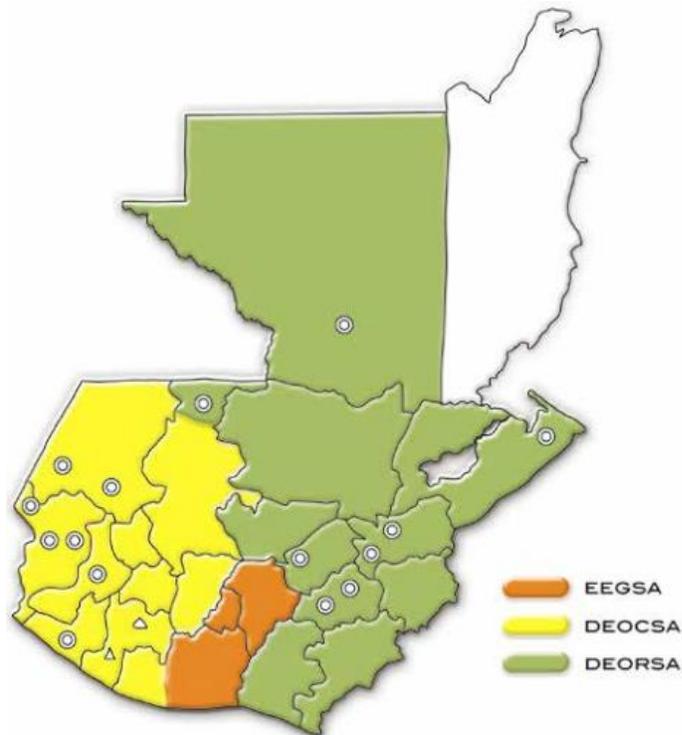
Tabla XII. **Empresas distribuidoras de Guatemala y su consumo anual**

| Empresa | Lugar donde opera | Participación en consumo en GW | Porcentaje asociado |
|---|---|--------------------------------|---------------------|
| Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA) | Región metropolitana, parte de la central y suroccidental | 2863,66 | 36% |
| Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A. (DEOCSA) | Región Noroccidental, Suroccidental, parte de la central | 873,83 | 11% |
| Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A. (DEORSA) | Región Norte, Nororiental, Suroriental y Petén | 1195,29 | 15% |
| Empresa Eléctrica Municipales | Algunas cabeceras municipales dispersas en Guatemala | 496,48 | 6% |
| Otros consumidores de energía | | 2585,41 | 32% |
| Total de potencia consumida | | 8014,67 | 100% |

Fuente: elaboración propia, con base al Plan de expansión de transmisión de Guatemala elaborado por la CNEE.

La cobertura de las empresas de distribución de energía eléctrica, dependerá de la empresa distribuidora en las diferentes regiones del país, en la figura 22 se puede apreciar cómo se encuentra la distribución de la energía eléctrica en el país según la empresa distribuidora.

Figura 22. **Distribuidoras y región de cobertura**



Fuente: Documento Política Energética 2013-2027. p.18.

4.4.1. **Capacidad para venta de energía**

Las plantas generadoras de bioenergía a base de biomasa poseen la capacidad de vender la energía eléctrica a cada uno de los diferentes agentes del Mercado Mayorista. Se sabe que las plantas generadoras instaladas en los ingenios azucareros, venden una gran parte de la energía que generan a la empresa generadora que corresponde a la región donde se localice la misma, a fin de obtener un beneficio económico y al mismo tiempo ayudar a reducir la factura de electricidad a la población que pertenece a la región cercana al proyecto de transformación de bioenergía, ya que la misma podrá obtener el servicio eléctrico a un menor costo.

Dado que la mayoría de ingenios se encuentran distribuidos entre los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu, estos venden los excedentes que presentan en cada una de sus plantas generadoras a EEGSA y DEOCSA, dependiendo la región donde esté operando la planta generadora.

La capacidad para vender la bioenergía obtenida a partir de la biomasa se verá completamente afectada dependiendo de la época del año, ya que en la época de zafra la venta de energía a los distribuidores correspondientes será mucho mayor, que en cualquier otra época del año, esto se debe a que la obtención de la biomasa supera los límites necesarios en este período ya que se obtienen residuos debido a la recolección de la caña de azúcar, tales como el bagazo y las ramas que se desechan.

4.4.2. Cálculo de costo por capacidad de generación según el tipo

Los costos de un proyecto de bioenergía a partir de la biomasa son demasiado variables, dado que cuando el mismo se encuentra en operación llegan a surgir ciertos aspectos contables que llegarán a incurrir ya sea de una forma directa o indirecta en la generación de energía eléctrica, así como en el costo de la misma. De igual forma los mismos variaran dependiendo la tecnología que se emplee, así como las diferentes metodologías y el potencial que genere dicho proyecto.

En la siguiente tabla se puede apreciar la estimación de costos de centrales de bioenergía a partir de la biomasa, se puede ver directamente la comparación entre una planta con una potencia de 240MW y una con una potencia de 300MW.

Tabla XIII. **Estimación de costos de centrales de bioenergía a partir del uso de biomasa**

| Tipo de costo | Costo según potencia(USD/kW) | |
|----------------------------|------------------------------|-------|
| | 240MW | 300MW |
| Costo de inversión | 450 | 1100 |
| Costo de operación (anual) | 85 | 105 |

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por el Ministerio de Energía y Minas (MEM).

“En Guatemala quien se encarga de establecer los costos de suministro que están en función de la capacidad de generación es el Reglamento de la Ley General de Electricidad. Dichos costos se calcularán en forma anual para el horizonte de proyección que se requiera, y comprende.”¹⁹ Entre los tipos de costos se pueden mencionar los siguientes:

- Costos de compra de electricidad: corresponden a los costos de generación, más recargos por el uso del sistema de transmisión, más recargos por las pérdidas de energía y potencia en las líneas de transmisión. El costo de generación, y las pérdidas de energía y potencia se calcularán de acuerdo a la metodología que se establezca en el reglamento específico del Administrador del Mercado Mayorista.
- Costos de consumidores: los mismos comprenden supervisión, mano de obra, materiales y costos de las actividades de medición, facturación, cobranza, registro de usuarios y otros relacionados con la comercialización de electricidad.

¹⁹Reglamento de la Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo Número 256-97, Artículo 82.- Costos de Suministros, p. 40.

- Costos de las instalaciones: corresponden al costo de reposición de todos los equipos utilizados para suministrar la energía a los usuarios en el instante en el instante en que se calculan las tarifas. Estos costos se obtendrán de acuerdo al concepto de empresa eficiente. Se calculará la anualidad de inversión con la tasa de actualización que calcule la comisión en base a estudios contratados con empresas especializadas, y deberá basarse en la rentabilidad de actividades realizadas en el país con un riesgo similar.
- Impuestos y tasas a considerar: serán aquellos que conforme a la Ley gravan a la actividad de distribución y que constituyan un costo para el distribuidor, a excepción del Impuesto Sobre la Renta.
- Costos de operación: comprenden supervisión, ingeniería de operación, mano de obra, materiales, despacho de carga, operación de instalaciones, alquileres de instalaciones y otros relacionados con la operación de los bienes afectos a la actividad de distribución.
- Costos de mantenimiento: comprenden supervisión, ingeniería de mantenimiento, mano de obra, materiales, mantenimiento de equipos, instalaciones, estructuras, edificios y otros relacionados con el mantenimiento de los bienes afectos a la actividad de distribución.
- Costos administrativos y generales: comprenden sueldos administrativos y generales incluyendo beneficios sociales, materiales, gastos de oficina, servicios externos contratos, seguros de propiedad, alquileres, gastos de regulación y fiscalización, mantenimiento de propiedad general y otros relacionados con la administración.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los diferentes tipos de gastos con respecto a operación y mantenimiento existentes, así como el costo de cada uno.

Tabla XIV. **Costos de operación y mantenimiento**

| TIPO DE GASTO | COSTO (Q.) |
|---|--------------------|
| Mantenimiento motogenerador | 107 349 |
| Mantenimiento preventivo de instalaciones | 30 000 |
| Mantenimiento correctivo | 253 196,6 |
| Seguros | 129 725,5 |
| Sueldos brutos | 1 494 360 |
| Jefe de planta | |
| Jefe de mantenimiento | |
| Operarios | |
| Total | 2 014 631,1 |

Fuente: MARTÍNEZ NÚÑEZ, Roberto. *Ingeniería básica de una planta de cogeneración con biomasa*. p. 93.

5. ANÁLISIS AMBIENTAL POR USO DE ENERGÍA BIOMASA – BIOENERGÍA

5.1. Ahorro energético

Generalmente cuando se hace referencia a este tema, no se puede dejar por un lado el tópico de la eficiencia energética dado que un uso óptimo de los recursos implica un ahorro, el cual puede presentarse en la generación o bien en el consumo de la energía. En relación a la generación, esto es posible lograrlo a través de centrales eléctricas que muestran altos rendimientos, o por medio de la cogeneración que puede llegar a producir energía eléctrica por medio de diferentes metodologías dependiendo el tipo de materia prima con el que se cuente para el proceso, así como la tecnología que se tenga al alcance y puede ser implementada en la planta generadora.

5.2. Teoría y conceptos generales

Se tiene conocimiento de que el uso de energías renovables reduce de manera considerable la contaminación al medio ambiente, sin embargo también se conoce del surgimiento de ciertos efectos colaterales, que llegan a afectar el entorno en una medida mínima en comparación con los otros tipos de energía no renovable. Es por ello que cualquier planta generadora de electricidad a partir de energía renovable requiere de un estudio ambiental riguroso previo a solicitar los permisos de construcción en las instituciones correspondientes, para de esta forma reducir al máximo los daños que se puedan generar en el entorno donde se pondrá en marcha la misma.

Si bien el impacto ambiental producido por la construcción y puesta en marcha de una planta generadora de bioenergía a partir de la biomasa es sensible, al momento de compararlo con otras fuentes de energía no renovable, se puede apreciar una clara reducción en cuanto a los desechos y los diferentes contaminantes producidos.

Al momento de utilizar energías renovables en cuanto a términos ambientales surge un ahorro considerable por la generación de energía eléctrica cuya base sea la bioenergía a partir de la biomasa. Dicho ahorro se puede presentar en diferentes aspectos tales como:

- Dióxido de carbono

Es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono, su fórmula es CO_2 . Es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Este gas es uno de los más abundantes en la tierra, también se le considera un gas de efecto invernadero.

La producción de un kWh de electricidad se puede hacer usando diferentes fuentes de energía, cada fuente puede ser caracterizada por un factor que indica cuántas unidades de masa de CO_2 son producidas a la atmósfera para producir 1 kWh de electricidad. Algunas de las fuentes de energía son el petróleo, el gas natural, carbón, gradientes de agua (hidroeléctrica), el calor interno de la tierra (geotérmica), eólica (viento), solar (fotovoltaica, solar térmica) y biomasa.

Guatemala se posiciona en el puesto 128 en la escala a nivel mundial en relación a la emisión de CO_2 , con una contribución de $285,6792\text{kg/kW}^{20}$.

²⁰Según la *International Energy Agency (IEA)*.

El dióxido de carbono proviene de la combustión de hidrocarburos, de la fermentación y de la respiración animal. Es utilizado por las plantas para poder llevar a cabo la fotosíntesis. La presencia de este gas en la atmósfera impide que una parte de la energía radiante que recibe la Tierra vuelva al espacio, produciendo el llamado efecto invernadero, lo cual altera considerablemente las temperaturas a lo largo del planeta.

- Sumideros

Un sumidero de carbono o sumidero de CO₂, es un sistema, proceso o depósito ya sea natural o artificial de carbono, que absorbe el gas mencionado de la atmósfera para ser almacenado y al mismo tiempo contribuye a reducir la cantidad de CO₂ del aire, las formaciones vegetales actúan como sumideros por su función vital principal como la fotosíntesis. El objetivo de los mismos no es reducir las emisiones de CO₂, sino de disminuir su concentración en la atmósfera.

El carbono almacenado en la biosfera se encuentra distribuido entre los océanos, así como las reservas geológicas y los diversos ecosistemas terrestres. Estos compartimentos presentan una serie de intercambios dinámicos de carbono con la atmósfera, intercambios en los cuales la actividad humana tiene gran influencia.

Se ha comprobado que los océanos del mundo absorben aproximadamente un tercio de los incrementos de CO₂ atmosférico, lo que hace que constituyan el sumidero de carbono más importante. La incorporación de dicho gas al océano plantea problemas ecológicos por la acidificación del mismo.

El almacenamiento de carbono por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento, dado que aproximadamente el 50% de la biomasa está formada por carbono. Sin embargo es preciso matizar que el almacenamiento del carbono en los bosques tiene un carácter temporal, ya que el CO₂ almacenado en la biomasa vuelve a la atmósfera con la deforestación. La mayor parte del carbono almacenado por los bosques se encuentra en los suelos: según distintas fuentes, el suelo de los bosques almacena entre 1,5²¹ y 2,5²² veces más carbono que la vegetación.

El almacenamiento del carbono en el suelo se produce por medio de la formación y descomposición de la materia orgánica, en el mismo la hojarasca, pequeñas ramas y otros restos se almacenan en el suelo y se van descomponiendo, formando la materia orgánica activa que, en función del tipo de suelo, la cantidad de agua y de otros nutrientes se irá convirtiendo en materia orgánica estable, capaz de almacenar el carbono durante milenios.

De lo mencionado anteriormente se puede concluir que los suelos constituyen un sumidero permanente, los cuales favorecen a la absorción en gran parte de los gases de efecto invernadero, frente a la biomasa forestal que tiene un carácter temporal, y depende de la cantidad que se llega a producir.

- Barriles de petróleo

Es una unidad de volumen que fue establecida en 1866, su equivalente es de 42 galones, aproximadamente 159 litros, dependiendo la densidad del petróleo, su peso varía entre 119 kg y 151 kg. De igual forma se puede decir que un barril de petróleo equivale a 1 700 kWh.

²¹ US Environmental Protection Agency

²² IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 1994

La explotación de los recursos naturales sin importar de qué tipo se haga mención, conlleva una serie de efectos y consecuencias a corto y largo plazo en los diferentes ecosistemas que pueden ser afectados durante el proceso. Dichos efectos se pueden ver reflejados en tres diferentes tipos de medios, los cuales son:

- Medios físicos: abarcan a todos los seres vivos y no vivos que existen de manera natural en la tierra y se verán afectados por la explotación de los recursos.
- Medios bióticos: se hace referencia a los seres vivos de un área determinada así como sus interacciones, generalmente se refiere a la flora y fauna de un ecosistema.
- Medios socioeconómicos: comprenden tanto los aspectos culturales, como los sociales y los económicos de la población de determinada región en el ámbito de intervención de un proyecto.

5.3. Cálculos de ahorro por uso de bioenergía

La ejecución de proyectos para la producción de bioenergía a través de la biomasa no solamente contribuye a la reducción de la contaminación, sino que también tiene gran incidencia en la parte económica así como en otra serie de aspectos tanto para la región donde se implementa dicho proyecto como para el país en general.

Los ahorros pueden ser apreciados a corto o mediano plazo tanto en el aspecto ambiental, con la obtención de aire libre de impurezas, como desde el punto de vista económico de la región en general.

A continuación se mostrará la forma en que se obtienen ahorros por el uso de la bioenergía por medio de la biomasa, tanto desde el punto de vista económico como ambiental, tomando como parámetro las diferentes fuentes de energía no renovable.

5.3.1. Dióxido de carbono

Las plantas de bioenergía por medio del uso de la biomasa, llega a generar cierta cantidad de dióxido de carbono, dependiendo la materia prima utilizada para su elaboración, la metodología empleada, así como del agente empleado en el proceso y el tipo de tecnología. En comparación con una fuente de energía no renovable, la cantidad emitida de dicho gas es mucho menor cuando se llega a producir energía por medio de este tipo de plantas.

Según datos del Ministerio de Energía y Minas (MEM) y la Asociación de Azucareros de Guatemala (AZAGUA), la cantidad emitida de CO₂ durante la combustión del bagazo es de 0,025 kg/kWh, el dato puede diferir en cantidades mínimas dependiendo la calidad en que se encuentre la maquinaria, así como de los procesos que se lleven a cabo, y la tecnología que se empleara para llevar a cabo el proceso completo.

Según el Ministerio de Energía y Minas, y el Banco Mundial, la emisión de CO₂ en el país asciende a 3 607 toneladas métricas por año aproximadamente, esto debido en gran medida al aumento del sector productivo en toda Guatemala, así como a los niveles de contaminación generados por el transporte, y a la falta de interés de las personas con respecto a este tipo de temas. De igual forma se tiene conocimiento de que la producción a partir de las diferentes fuentes renovables en el país asciende a 6 756,4 MW.

Por lo tanto el ahorro de CO₂ en el país se puede llegar a determinar de la siguiente manera, tomando como base los datos anteriormente mencionados.

Emisión de CO₂ en el país: 3 607 toneladas métricas = 3 607 000 kg

Producción de energía en el país: 6 756,4 MW

Emisión de CO₂ por medio de bioenergía: 0,025 kg/kWh

$$\text{Ahorro total de CO}_2 = 3\,607\,000 \text{ Kg} - \left(0,025 \frac{\text{Kg}}{\text{kWh}} * 6\,756,4 \text{ MW} * 1000 \frac{\text{kWh}}{\text{MW}}\right)$$

$$\text{Ahorro total de CO}_2 = 3\,438\,090 \text{ kg}$$

A partir de los cálculos anteriores, se puede apreciar que al momento de generar electricidad por medio del uso de bioenergía a través de la biomasa, se puede llegar a obtener un ahorro de 3 438 090 kg de CO₂ por año, dicho ahorro podría verse afectado dependiendo las nuevas tecnologías que se empleen, así como también por la metodología que se aplique a cada uno de los procesos involucrados.

Esto demuestra que se puede llegar a reducir considerablemente la cantidad de este gas de efecto invernadero en la atmósfera si se llega a emplear con mayor frecuencia el uso de este tipo de energía renovable para la producción de energía eléctrica en el país.

5.3.2. Sumideros

A través de diferentes estudios por medio del Ministerio de Energía y Minas, y el Banco Mundial, se llegó a comprobar que un kilovatio hora producido con carbón, genera 0,75 kilogramos de CO₂. Lo que en otras palabras quiere decir que se llegan a generar 0,75 kg/kWh.

Como se menciona, a través de la combustión del bagazo, se emiten 0,025 kg/kWh, se hace referencia al bagazo, ya que el mismo representa el mayor potencial en cuanto a materia prima con respecto a la biomasa que puede ser obtenida en el país, a parte los proyectos que se conocen en Guatemala son relaciones o se encuentran en base a los ingenios azucareros, por los que se toma como base este tipo de residuo renovable para las comparaciones con otros recursos no renovables.

Así se conoce que la emisión de CO₂ en el país asciende a 3 607 toneladas métricas por año aproximadamente, de esta cantidad el 19% corresponde a las actividades correspondientes a los sumideros, entre las que se pueden mencionar cambios en bosques, conversión de bosques y sabanas, y abandono de tierras entre otras.

Por los que tanto el ahorro de CO₂ en el país con respecto a los diferentes tipos de sumideros se puede determinar de la siguiente manera, a través de los datos obtenidos con anterioridad.

$$1 \text{ kWh} \times 0,75 \text{ KgCO}_2 = 0,75 \text{ KgCO}_2/\text{kWh}$$

Emisión de CO₂ por medio de bioenergía: 0,025 Kg/KWh

Emisión de CO₂ en el país: 3 607 toneladas métricas = 3 607 000 kg

Producción de energía en el país: 6 756,4 MW = 6 756 400 kW

$$\text{Ahorro total de CO}_2 = (3\,607\,000 \text{ Kg} * 0,19) - (0,025 \frac{\text{Kg}}{\text{kWh}} * 6\,756\,400 \text{ MW})$$

$$\text{Ahorro total de CO}_2 = 516\,420 \text{ kg}$$

A través de los diferentes cálculos realizados, se puede apreciar un ahorro de 516 420 kg de CO₂ por año tomando como referencia los sumideros, dicho ahorro podría verse afectado dependiendo las nuevas tecnologías que se empleen, así como también por la metodología que se aplique a cada uno de los procesos involucrados. Esto demuestra que se puede reducir considerablemente la cantidad de este gas de efecto invernadero en la atmósfera si se llega a emplear con mayor frecuencia el uso de este tipo de energía renovable para la producción de energía eléctrica en el país.

5.3.3. Barriles de petróleo

Para poder determinar el ahorro de barriles de petróleo se debe de considerar el barril equivalente de petróleo (BEP), el cual es una unidad de energía equivalente a la energía liberada durante el proceso de la quema de un barril de petróleo (42 galones o 158,9873 litros). El Servicio de Impuestos Internos estadounidense lo define equivalentemente a $5,8 \times 10^6$ BTU²³.

Un barril de petróleo es considerado el equivalente a $6,1178632 \times 10^9$ J o bien 1,7 MWh.

$$1 \text{ MWh} \times 1,7 \text{ barriles de petróleo/MWh} = 1,7 \text{ barriles de petróleo}$$

Por cada Megavatio hora generado se estarían ahorrando 1,7 barriles de petróleo. Actualmente el precio del barril de petróleo se encuentra en 103,93 dólares, lo cual representaría un ahorro de 176,69 dólares. Aplicando una tasa de cambio de 7,82299 quetzales por un dólar, se puede determinar que el ahorro sería de 1382,24 quetzales por cada Megavatio hora generado.

²³ BTU: British Thermal Unit, unidad de energía utilizada en los Estados Unidos. 1 BTU = 1 055.55 J

5.4. Impacto potencial

La explotación de los recursos para la obtención de la biomasa conlleva consecuencias ambientales, las cuales pueden llegarse a ver reflejadas en los medios físicos, bióticos y socioeconómicos ya sea a corto, mediano o largo plazo. Esto se debe al cambio que puede generarse en determinadas áreas o sectores para la obtención de la misma, como por ejemplo la deforestación descontrolada para la obtención de leña, el desplazamiento de cierto tipo de cosecha agrícola que puede ayudar a satisfacer las necesidades alimenticias de un región para dar paso a otro tipo de cosecha que puede generar una mayor cantidad de biomasa.

Asimismo, se puede llegar a terminar completamente con la flora y fauna de ciertas regiones en específico por el simple de hecho de obtener cada día una mayor cantidad de recursos biomásicos, ya por la misma necesidad de satisfacer la demanda se llega a pasar por alto cualquier ley y cualquier restricción existente en los lugares de donde se extraerá la biomasa y se acaba con ecosistemas completos, para dar paso a una nueva fuente de recursos.

Las plantas generadoras de bioenergía a base de biomasa presentan un impacto ambiental menor que otros tipos de plantas. En Guatemala no existe un documento que regule las medidas de construcción de una central generadora a base de la biomasa.

Las instalaciones que industrializan con biomasa producen normalmente efectos contaminantes apreciables. La situación está caracterizada por la disposición inadecuada de los residuos no utilizados pero con potencial aprovechamiento energético, tecnologías en muchos casos obsoletas, carencia de normas y reglamentaciones e ineficacia en los sistemas de control.

5.4.1. Medio físico

Cabe destacar que pueden existir diferentes efectos con respecto a dicho medio, los cuales pueden presentarse desde el mismo instante en que se inicia la construcción de la planta generadora, asimismo, se presentarán otros efectos al momento de poner en marcha la central generadora a base de biomasa, dichos efectos pueden llegar a afectar el medio físico de la región en sí, entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- Aire

Esto se debe a la emisión de ciertos gases a la atmósfera como por ejemplo azufre, nitrógeno, cloro, cenizas y metales pesados. Igualmente en determinados procesos se presenta una cierta emanación de olores molestos y desagradables.

Durante la construcción e implementación de la planta, se producirá una cierta cantidad de emisiones hacia la atmósfera, relacionadas con las tareas de las instalaciones de las maquinarias necesarias para llevar a cabo el proceso.

Se pueden llegar a generar emisiones considerables de polvo, debido en los procesos de transporte, almacenamiento y manejo de la biomasa. Así como en la construcción de nuevas redes viales para obtener un acceso más cómodo a la planta de producción.

En la etapa de operaciones, se pueden mencionar de igual manera el riesgo de que pueda existir emisión de gases de diferentes tipos tales como gases de combustión a través de los motores de explosión, de igual forma aire caliente procedente de los refrigeradores e intercambiadores de calor.

Para poder determinar el grado de contaminación que se generará, por medio de los diferentes procesos, se pueden utilizar las cartas de Ringelmann, ya que de esta forma se podrá apreciar la calidad con la que son expulsados los contaminantes a la atmosfera a través de las chimeneas de la planta generadora de electricidad.

- Agua

Las aguas superficiales y subterráneas se pueden ver afectadas por vertidos propios de las tareas de las obras y el montaje de la instalación si no se tiene el debido cuidado. El proceso de producción como tal no generará vertidos de líquidos que puedan impactar directamente las diferentes fuentes de agua.

- Emisión de contaminantes por efecto de la maquinaria y automóviles

Dichas emisiones son de carácter puntual y de corta extensión, a pesar de ella se deben de analizar en virtud del lugar donde se producen, para no alterar el ecosistema que se encuentre próximo a la planta.

- Generación de residuos sólidos

Este tipo de residuos pueden ser del tipo administrativo y del tipo industrial, cuando se habla de los tipos administrativos, se hace referencia a restos de papel, cajas vacías, y latas entre otros, se deben de emplear depósitos independientes para seleccionar los tipos de residuos que se generen y aprovecharlos para su reciclado, la recolección de los mismos estará a cargo de las empresas municipales, para luego ser transportadas a los lugares determinados para llevar a cabo los diferentes procesos.

Con respecto a los residuos de tipo industrial, los mismos serán almacenados en contenedores cerrados, lo cual imposibilitará que puede ocurrir algún vertido accidental, los mismo serán recolectados por gestores autorizados con los que se tendrá un contrato previo, entre este tipo de residuos se pueden mencionar las cenizas, el aceite de motor y los filtros de aceite de motor.

- Generación de residuos líquidos

Este tipo de desechos corresponderían principalmente a aguas de purga de las calderas y agua de descarga de los sistemas de enfriamiento. De igual modo se pueden mencionar entre otras posibles fuentes de contaminación de agua los lixiviados y escurrimientos desde pilas de acopio de biomasa.

- Ruido

Es importante que se desarrolle una proyección de la emisión de ruido que se puede llegar a generar y cuales serian las emisiones finales en los receptores más cercanos al proyecto. Es por ello que es importante que se cuente con los aislantes respectivos para que el impacto con respecto a este tema sea el mínimo posible.

Durante la construcción e implementación de la planta, dichos efectos serán de bajo impacto si la ubicación de la planta se encuentra alejada de poblados, aún cuando la intensidad de la misma sea media.

Durante la fase de operación los potenciales focos de emisión de ruidos y vibraciones procederán de las tareas propias de la actividad, la mayor fuente de ruido procederá de los diferentes motores instalados, dichos motores se encontrarán instalados en contenedores insonorizados.

Por medio del cálculo de la emisión acústica proveniente de los diferentes focos puntuales de ruido, un nivel de ruido en el interior de la planta en el caso más desfavorable sería de 75 dBA a una distancia de 10 metros, lo que quiere decir que representaría un daño mínimo.

Para controlar de una mejor manera el ruido y las vibraciones de los diferentes aparatos, que se emplearán durante el proceso, se utilizarán diferentes técnicas. Las máquinas que presenten una vibración alta serán ancladas por medio de las diferentes técnicas con el objetivo de lograr un equilibrio óptimo tanto estático como dinámico. Mientras que los motores que generaran ruido los mismos estarán ubicados en contenedores compactos insonorizados.

- Olores

Las principales emisiones de olores provienen de la biomasa en descomposición, por lo que dicha materia debe de estar debidamente almacenada en un lugar seco, cubierto y tapado, para así de esta forma evitar que el olor pueda afectar el entorno, y generar no solamente contaminación sino que también ciertas enfermedades respiratorias.

5.4.2. Medio biótico

La evaluación del impacto sobre el medio biótico implica una serie de consideraciones tanto técnicas como profesionales, dichas consideraciones deben enfocarse en los aspectos predictivos como la interpretación de los cambios previstos. También se le denomina impacto ecológico.

Para la planificación y dirección del impacto al medio biótico se toma como base un modelo de seis actividades que proporcionan la base para los impactos que se pueden llegar a impactar a lo largo del proceso, dichas actividades son las siguientes:

- Identificación del impacto biótico en el proyecto.
- Preparación y descripción de las condiciones bióticas existentes y consideración de las especies en peligro o amenaza.
- Obtención de las leyes pertinentes.
- Predicción de impacto.
- Evaluación de la importancia del impacto.
- Incorporación de medidas correctivas.

Entre los efectos que se pueden presentar al momento de construir y poner en marcha una central generadora a base de biomasa, que afectarían el medio biótico se puede mencionar los siguientes:

- Fauna

La fauna no se verá desalojada en gran medida puesto que las centrales generadoras de bioenergía a base de biomasa no requieren de grandes extensiones de tierra para su implementación, ya que se construyen y ponen en marcha en las mismas instalaciones donde se encuentra el proceso de producción, sin embargo, puede verse afectada por los malos olores emanados de la planta, así como por la contaminación auditiva y también la de las diferentes fuentes de agua, lo que creará una migración en masa a lo largo del tiempo, debido a que las condiciones de vida para las diferentes especies no será la adecuada.

Debido a estas situaciones adversas, la fauna de la región puede verse en la necesidad de desplazarse a regiones donde cuenten con los recursos necesarios de los cuales gozaba en un inicio, para poder seguir con su ciclo de vida dentro de un ecosistema apropiado y similar al inicial.

- Flora

En algunos casos la construcción de las obras requiere del corte de árboles del área cercana al proyecto, lo que puede llegar a alterar considerablemente el ecosistema y generar un alto impacto en la biodiversidad que lo rodea. El corte de árboles debe ser compensado con la reforestación en otros sitios de la propiedad, así también debe prohibirse la tala de árboles innecesaria, para mantener un equilibrio.

Debido a que en muchos casos se requiere de grandes extensiones de tierra para poder llevar a cabo la actividad agrícola y luego obtener la biomasa necesaria, se tala una gran cantidad de árboles, los cuales en muchos casos son especies únicas de la región, por lo que se deben de buscar zonas cercanas para poder llevar a cabo un proceso completo de reforestación.

5.4.3. Medio socioeconómico

Este medio aborda los impactos de toda la economía de la región, e incluye la seguridad alimentaria de los hogares y de igual modo el análisis de vulnerabilidad al que se están expuestos. Permite definir los diferentes impactos económicos del desarrollo en determinado sector bioenergético en su conjunto, lo cual incluye el trabajo, crecimiento e impacto de pobreza en la región en general.

La estructura del modelo incluye un desglose detallado del sector agrícola y de los diferentes sectores de la economía, los escenarios difieren de acuerdo al tipo de tecnología que se empleará para su producción y las diferentes metodologías que se implementarán.

Al momento de implementar un modelo para determinar el impacto que generará la construcción de una planta generadora de energía por medio de la biomasa, se debe evaluar si dicho sector puede llegar a ser beneficioso para el crecimiento económico de la región y ayudar a la reducción de la pobreza a mediano plazo.

Entre los efectos que se pueden presentar al construir y poner en marcha una central generadora a base de biomasa, que pueden llegar a afectar el medio socioeconómico de determinada región, se pueden mencionar los siguientes: economía, social, paisaje y seguridad industrial.

- Economía

Durante la construcción e implementación de una planta generadora de bioenergía por medio de biomasa, será necesario contratar mano de obra local, de igual forma se requerirá de una variabilidad de servicios los cuales podrán ser prestados tanto por personas como por empresas locales, sin embargo, dichos servicios serán prestados de manera temporal, lo cual puede dar sustento por determinado tiempo a los pobladores.

Asimismo, se pueden contar con ciertos factores adversos, ya que se puede dar el caso donde las empresas lleven a su propio personal de otras regiones, por lo que no se apoyará de ninguna manera a la población en sí, lo cual solamente incrementara la pobreza de las áreas próximas al proyecto.

- Social

Puede presentarse una resistencia al cambio por parte de ciertas comunidades propias del lugar próximas al proyecto, lo cual podría generar conflicto tanto entre la industria, como entre la comunidad y también se puede tomar en consideración el sector de ambientalistas, los cuales velarán por que se respete el entorno natural así como el desarrollo de la comunidad.

- Paisaje

Dependiendo de la localización del proyecto, este puede tener un gran efecto sobre el paisaje del área, el mismo puede verse afectado por el tránsito de vehículos pesados, así como la eliminación de la vegetación y los bosques cercanos a la zona de construcción. Sin embargo, el relieve y el subsuelo no se verán afectados de ninguna manera.

Debido a la naturaleza de los gases que se emitirán a lo largo del proceso, se producirá un efecto adverso en el paisaje, sin embargo, el mismo será de baja intensidad.

- Seguridad industrial

Durante los trabajos de construcción podrán ocurrir accidentes laborales debido a diferentes factores, entre los que se pueden mencionar la operación de la maquinaria y equipo, puede existir una gran posibilidad de que ocurra algún accidente laboral, ya sea este por error humano o bien por falla del equipo o maquinaria.

Adicionalmente desde el punto de vista social se pueden mencionar los siguientes factores tanto positivos como negativos que pueden tomarse en consideración para este apartado en específico, los cuales se pueden apreciar a lo largo del tiempo de vida del proyecto en específico:

- Se destaca la creación de empleo y de igual modo la creación de una conciencia regional de ayuda para el medioambiente.
- Mejora socioeconómica de las áreas rurales al llevar a cabo una nueva actividad que evitara el despoblamiento de las regiones, y al mismo tiempo brindar fuentes de trabajo más estables.
- Aumento de ingresos en las industrias locales y el aumento de la población en las zonas rurales adyacentes a los proyectos de bioenergía.
- Creación de infraestructura y servicios que serían aprovechados por las poblaciones de las diferentes regiones.

Es por ello que es de suma importancia realizar previamente los diferentes tipos de estudios que se relacionen con dichos medios, para así evitar inconformidades de parte de la población de la región, retrasos en la construcción o puesta en marcha del proyecto en sí, y de igual forma multas o sanciones que puedan afectar el alcance y duración del proyecto como tal.

CONCLUSIONES

1. Debido a que cada día el petróleo y sus derivados incrementan sus costos y escasean a nivel mundial, es necesario que las industrias se interesen en invertir en plantas de bioenergía por medio de la biomasa.
2. Actualmente el desarrollo de proyectos por medio de energía renovable presenta una serie de atractivos fiscales, económicos y administrativos, esto con el fin de atraer la inversión sobre dichos proyectos, uno de los mayores incentivos es la exclusión del ISR por 10 años a partir del momento en que la planta inicia operaciones.
3. Por medio del uso de plantas de bioenergía a partir de la biomasa se puede llegar a obtener un ahorro aproximado de 3 438,09 toneladas por año de dióxido de carbono.
4. El Gobierno deja la responsabilidad total a los ingenios azucareros, cuando se trata de plantas de bioenergía a partir de la biomasa, ya que el costo inicial es muy alto, con lo cual solamente tiene que hacer pactos con los mismos para poder comprar los excedentes de las plantas generadores.

RECOMENDACIONES

1. Establecer un mecanismo de entendimiento entre el Ministerio de Energía y Minas (MEM) con las personas o empresas interesadas en invertir en bioenergía a partir del uso de biomasa con el objeto de trabajar de común acuerdo.
2. Mantener actualizada la información para los próximos años, dado que la información recabada comprende un periodo de tiempo que abarca hasta el 2013.
3. Propiciar una mayor colaboración con el MEM y entidades privadas con la Universidad de San Carlos de Guatemala con respecto a estudios y proyectos de energía y medio ambiente, para la búsqueda de soluciones de energía limpia y renovable de cara al futuro.
4. Especializar al personal del Departamento de Energías Renovables de la Dirección General de Energía y Minas del MEM, con respecto a la bioenergía con expertos de la región, esto es, de América Central, el Caribe y México.
5. Fomentar el uso de la bioenergía por medio de la biomasa en las regiones rurales, para que de esta forma se puedan aprovechar de una mejor manera los desechos generados en sus diferentes actividades, y no sirvan como contaminantes para el medio ambiente.

6. Las universidades pueden regionalizar o zonificar el área de práctica. Es decir asignar departamento o comunidades donde estas puedan ejecutar e implantar el conocimiento teórico en práctica.

BIBLIOGRAFÍA

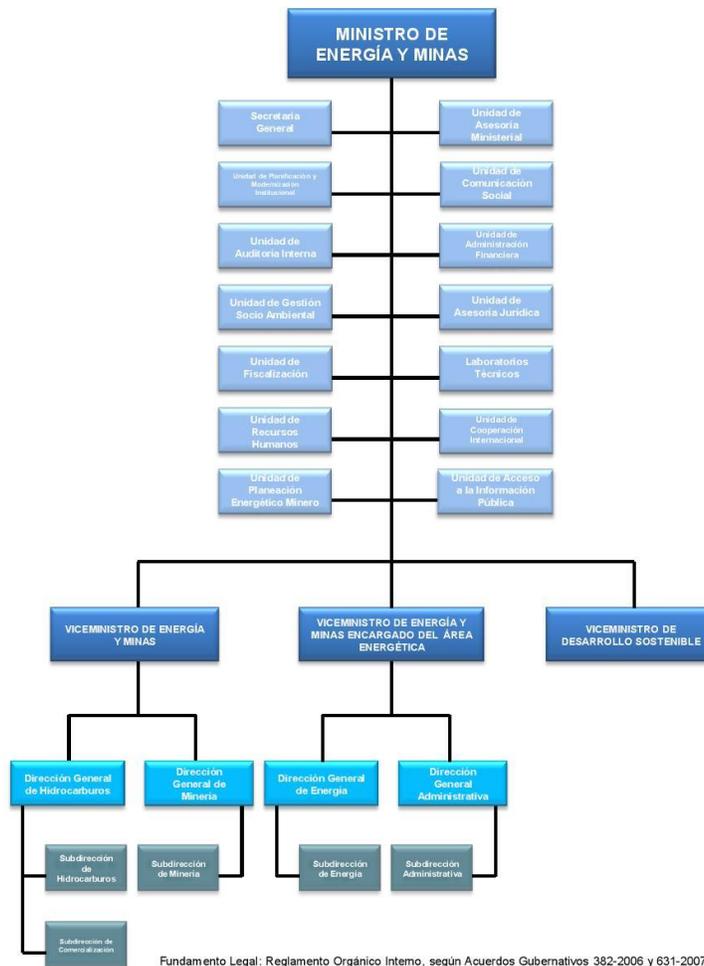
1. CASTELLS, Xavier Elias. *Biomasa y Bioenergía*. Madrid: Díaz de Santos, 2012. 137 p.
2. Guatemala. *Administrador del Mercado Mayorista (AMM)* 2011. [en línea]. <http://www.amm.org.gt/>. [Consulta: 18 de noviembre de 2013].
3. _____; Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) 2010. [en línea]. <http://www.cnee.gob.gt/>. [Consulta: 18 de noviembre de 2013].
4. _____; *Informe Ambiental del Estado de Guatemala GEO Guatemala 2009*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, República de Guatemala, Centroamérica. 286 p.
5. _____; *Informe estadístico 2013, indicadores del mercado mayorista de electricidad de la República de Guatemala, correspondiente a 2012*. Guatemala: CNEE 2013. 133 p.
6. _____; *Ley General de Electricidad*, Decreto No. 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, 21 de noviembre de 1996. 18 p.

7. _____; Ministerio de Energía y Minas. *Política energética de Guatemala 2010*. [en línea]. <http://www.mem.gob.gt/>. [Consulta: 8 de octubre de 2013].
8. _____; Ministerio de Energía y Minas 2011. [en línea]. <http://www.mem.gob.gt/>. [Consulta: 27 de septiembre de 2013].
9. _____; *Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista*, Acuerdo Gubernativo Número 299-98, 25 de mayo de 1998. 89 p.
10. _____; *Reglamento de la Ley General de Electricidad*, Acuerdo Gubernativo Número 256-97, 21 de marzo de 1997. 61 p.
11. MADRID VICENTE, Antonio. *La biomasa y sus aplicaciones energéticas*. Madrid: Antonio Madrid Vicente Ediciones, 2012. 242 p.
12. NOGUÉS, Fernando Sebastián. *Energía de la Biomasa* (Vol. II). Zaragoza: Prensas universitarias de Zaragoza, 2010. 654 p.
13. TOSCANO MORALES, Luis Alberto. *Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de biomasa*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009. 349 p.

ANEXOS

Anexo 1: Organigrama general del Ministerio de Energía y Minas

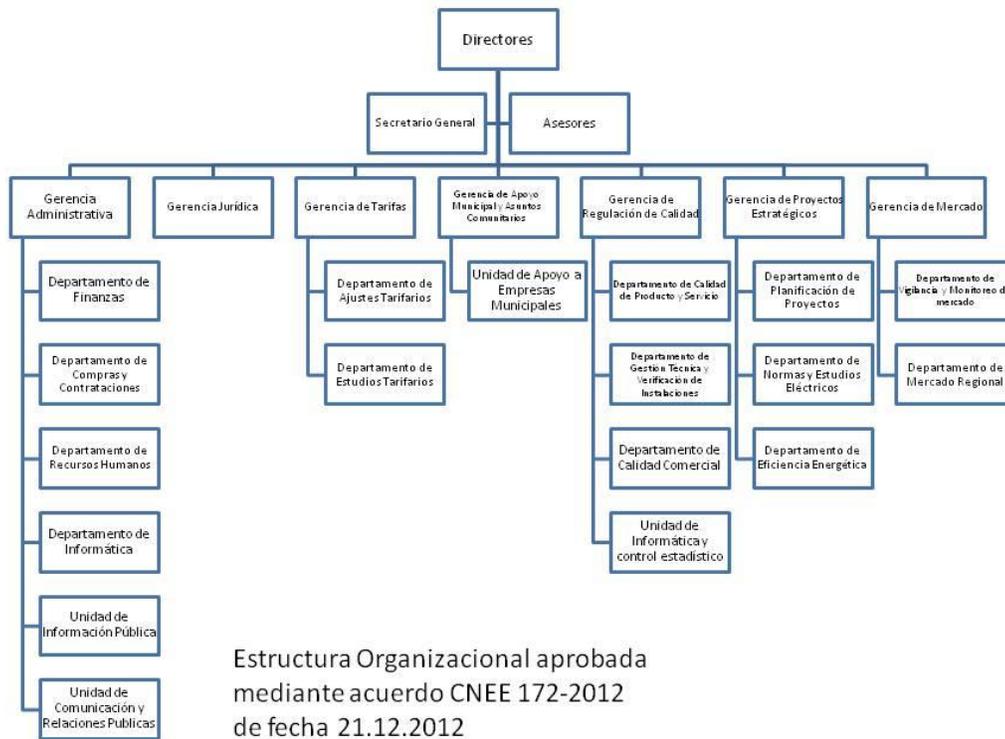
ORGANIGRAMA GENERAL DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS



Unidad de Recursos Humanos

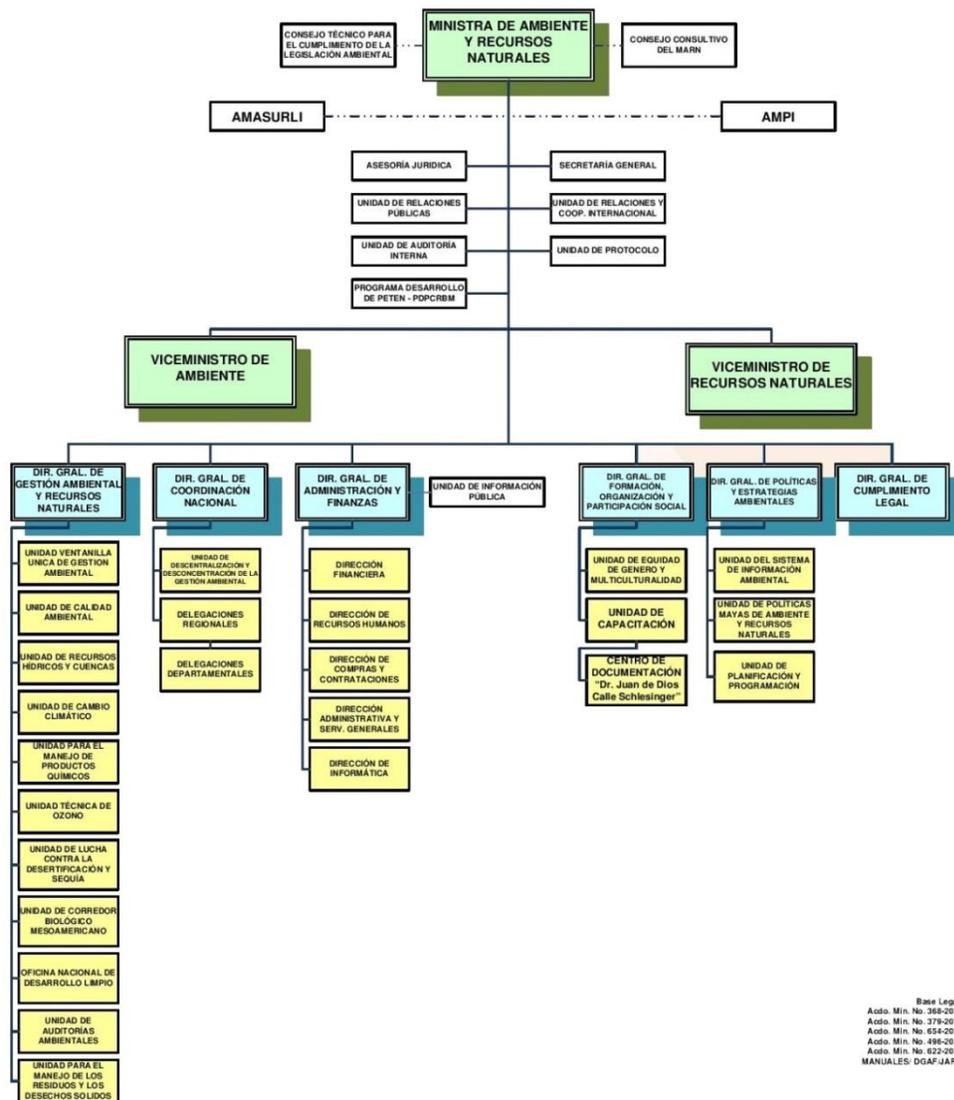
Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM)

Anexo 2: Organigrama general de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica



Fuente Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)

Anexo 3: Organigrama general del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales



Base Legal:
Acdo. Min. No. 368-2012
Acdo. Min. No. 379-2012
Acdo. Min. No. 654-2012
Acdo. Min. No. 496-2013
Acdo. Min. No. 622-2013
MANUALES: DGAF-JARG

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

