



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Posgrado

Maestría en Energía y Ambiente

**SÍNTESIS Y CÁLCULOS SOBRE CONTENIDO ENERGÉTICO,  
EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS Y PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES  
DE BIOMASA EN GUATEMALA, COMO ELEMENTO DE DECISIÓN PARA  
SU USO EN PROYECTOS ENERGÉTICOS**

**Ingeniera Química Luz María Guevara Abauta**

Asesorado por: Dra. MSc. Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SÍNTESIS Y CÁLCULOS SOBRE CONTENIDO ENERGÉTICO,  
EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS Y PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES  
DE BIOMASA EN GUATEMALA, COMO ELEMENTO DE DECISIÓN PARA  
SU USO EN PROYECTOS ENERGÉTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**INGENIERA QUÍMICA LUZ MARÍA GUEVARA ABAUTA**

ASESORADO POR: DRA. MSC. INGA. CASTA PETRONA ZECEÑA ZECEÑA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy OlympoPaiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy OlympoPaiz Recinos
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	MSc. Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	MSc. Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
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:

### **SÍNTESIS Y CÁLCULOS SOBRE CONTENIDO ENERGÉTICO, EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS Y PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES DE BIOMASA EN GUATEMALA, COMO ELEMENTO DE DECISIÓN PARA SU USO EN PROYECTOS ENERGÉTICOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 03 de mayo de 2012.

Luz María Guevara Abauta

Guatemala, 23 de septiembre de 2012

Doctora  
Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora Escuela de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería  
Presente

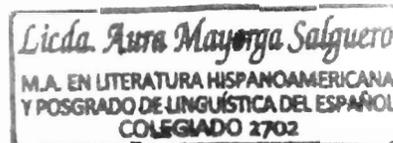
Le saludo muy cordialmente.

El motivo de la presente es para informarle que en cumplimiento con las normas y estatutos de la Universidad de San Carlos, tuve a bien revisar la ortografía, redacción, estilo y formato del trabajo de graduación de la Ingeniera Química **Luz María Guevara Abauta**, de la carrera de **Maestría en Energía y Ambiente**, el cual se titula: **SÍNTESIS Y CÁLCULOS SOBRE CONTENIDO ENERGÉTICO, EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS Y PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES DE BIOMASA EN GUATEMALA, COMO ELEMENTO DE DECISIÓN PARA SU USO EN PROYECTOS ENERGÉTICOS**"; luego de haber cotejado su contenido hasta quedar conforme, procedo a la aprobación respectiva, expresando que significa un aporte significativo para la comunidad de la ingeniería ambiental.

Atentamente,



Lcda. Aura Mayorga Salguero  
Magíster en Literatura Hispanoamericana y  
Posgrado de Lingüística del Español  
Colegiado 2702





Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **“SÍNTESIS Y CÁLCULOS SOBRE CONTENIDO ENERGÉTICO, EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS Y PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES DE BIOMASA EN GUATEMALA, COMO ELEMENTO DE DECISIÓN PARA SU USO EN PROYECTOS ENERGÉTICOS”**, presentado por la Ingeniera Química **Luz María Guevara Abauta**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Msc. César Augusto Akú Castillo  
Coordinador General  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, septiembre de 2012.

Cc: archivo  
/la



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Energía y Ambiente del trabajo de tesis de graduación titulado **SÍNTESIS Y CÁLCULOS SOBRE CONTENIDO ENERGÉTICO, EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS Y PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES DE BIOMASA EN GUATEMALA, COMO ELEMENTO DE DECISIÓN PARA SU USO EN PROYECTOS ENERGÉTICOS.** Presentado por la Ingeniera Química **LUZ MARÍA GUEVARA ABAUTA**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

*“ID Y ENSEÑAD A TODOS”*

  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, septiembre de 2012.

Cc: archivo  
/la



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado

La Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **“SÍNTESIS Y CÁLCULOS SOBRE CONTENIDO ENERGÉTICO, EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS Y PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES DE BIOMASA EN GUATEMALA, COMO ELEMENTO DE DECISIÓN PARA SU USO EN PROYECTOS ENERGÉTICOS”** presentado por la Ingeniera Química **Luz María Guevara Abauta**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

*“ID Y ENSEÑAD A TODOS”*

  
  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado

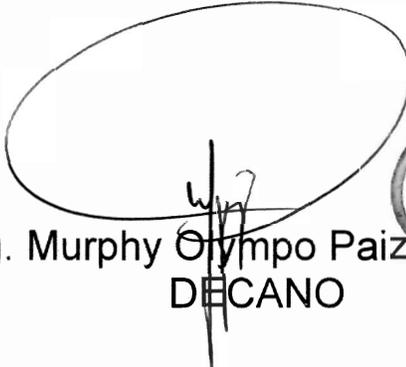
Guatemala, septiembre de 2012.

Cc: archivo  
/la



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 Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **“SÍNTESIS Y CÁLCULOS SOBRE CONTENIDO ENERGÉTICO, EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS Y PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES DE BIOMASA EN GUATEMALA, COMO ELEMENTO DE DECISIÓN PARA SU USO EN PROYECTOS ENERGÉTICOS”**, presentado por la Ingeniera Química **Luz María Guevara Abauta**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, septiembre de 2012.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Saúl Andrés y  
Dulce María**

Por ser la constante motivación en mi vida, por iluminar mis días y brindarle sentido a mi existencia...

Por su cálida e incondicional compañía en este maravilloso camino que hemos compartido desde siempre...

Por su inagotable paciencia, mientras persigo incansable mis sueños y construyo fehacientemente mis realidades.

Por su incondicional apoyo en el silencio de mis penas y en el festejo de mis triunfos.

Por amarme y respetarme como soy, tan solo como soy, y no como quisieran que fuera.

Para ustedes, mis pequeños grandes guerreros de luz... es mi triunfo.

Hoy y siempre, Luz María.



1.2.2.4.	Poder calórico.....	20
1.2.2.5.	Densidad aparente.....	20
1.2.2.6.	Recolección, transporte y manejo.....	20
1.2.3.	Fuentes de biocombustibles.....	20
1.2.3.1.	Plantaciones energéticas.....	23
1.2.3.2.	Residuos forestales.....	23
1.2.3.3.	Desechos agrícolas.....	24
1.2.3.4.	Desechos industriales.....	24
1.2.3.5.	Desechos urbanos.....	24
1.2.4.	Procesos de conversión de biocombustibles.....	25
1.2.4.1.	Proceso de combustión directa.....	27
1.2.4.1.1.	Densificación.....	28
1.2.4.2.	Proceso termo químico.....	28
1.2.4.2.1.	Carbonización.....	28
1.2.4.2.2.	Gasificación.....	29
1.2.4.3.	Proceso bioquímico.....	29
1.2.4.3.1.	Digestión anaeróbica.....	29
1.2.4.3.2.	Fermentación.....	30
1.2.4.3.3.	Transesterificación.....	30
1.2.4.3.4.	Gasificación.....	31
1.2.5.	Energía generada por biocombustibles.....	32
1.2.5.1.	Calor y vapor.....	32
1.2.5.2.	Electricidad.....	32
1.2.5.3.	Cogeneración (calor y electricidad).....	32
1.2.6.	Costos de los biocombustibles.....	33
1.2.6.1.	Costos por materia prima.....	35
1.2.6.2.	Costos por transporte y almacenamiento.....	35
1.2.6.3.	Costos por producción.....	36
1.2.6.4.	Costos ambientales.....	37
1.2.6.5.	Costos económicos.....	38
1.2.6.6.	Determinación de precios para biocombustibles.....	38
1.3.	Impacto ambiental generado por biocombustibles.....	39

1.3.1.	Impactos generados por producción de biocombustibles.....	43
1.3.1.1.	Impactos en recurso edáfico.....	45
1.3.1.2.	Impactos en recurso hídrico.....	45
1.3.1.3.	Impactos atmosféricos.....	46
1.3.1.4.	Impacto social.....	46
1.3.2.	Impactos generados por uso de biocombustibles.....	47
2.	PANAROMA ENERGÉTICO NACIONAL.....	49
2.1.	Fuentes energéticas en Guatemala.....	50
2.1.1.	Fuentes energéticas primarias en Guatemala.....	51
2.1.2.	Fuentes energéticas secundarias en Guatemala.....	55
2.1.3.	Consumo energético por producto energético generado en Guatemala.....	57
2.1.4.	Consumo energético por sector en Guatemala.....	60
2.2.	Fuentes energéticas biomásicas.....	61
2.2.1.	Biocombustibles sólidos.....	62
2.2.2.	Biocombustibles líquidos.....	64
2.2.3.	Biocombustibles gaseosos.....	65
2.3.	Oferta y demanda de biocombustibles.....	66
2.3.1.	Oferta y demanda de biogás.....	69
2.3.2.	Oferta y demanda de carbón.....	70
2.3.3.	Oferta y demanda de leña.....	71
2.3.4.	Oferta y demanda de etanol.....	79
2.3.5.	Oferta y demanda de biodiesel.....	83
2.4.	Costos de biocombustibles en Guatemala.....	89
3.	METODOLOGÍA.....	93
3.1.	Variables.....	93
3.1.1.	Variables independientes.....	93
3.1.2.	Variables dependientes.....	94
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	94
3.2.1.	Área.....	94
3.2.2.	Proceso.....	95
3.3.	Recurso humano.....	95

3.4. Materiales disponibles.....	95
3.5. Técnica.....	96
3.6. Recolección y ordenamiento de información.....	97
<b>4. GENERACIÓN DE TABLAS CON CONTENIDO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y BIOMÁSICO.....</b>	<b>101</b>
4.1. Matriz con contenido energético de biocombustibles .....	107
4.2. Matriz con equivalencias energéticas de biocombustibles.....	110
4.3. Matriz de generación energética por galón de combustible.....	112
4.4. Matriz con precios por unidad energética generada.....	115
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>121</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>123</b>
<b>BIBLOGRAFÍA.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>131</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Clasificación de la energía.....	3
2. Fuentes de biocombustibles.....	22
3. Procesos de conversión de biomasa.....	26
4. Proceso de conversión y transferencia de biomasa.....	33
5. Costos de biocombustibles.....	34
6. Áreas de exploración y explotación de petróleo en Guatemala.....	53
7. Consumo de petróleo por producto energético generado en 2011.....	58
8. Consumo energético por sector en 2010.....	59
9. Proyección para energías renovables en matriz energética 2022.....	67
10. Lugares donde se compra leña en Guatemala.....	76
11. Lugares de recolección gratuita de leña en Guatemala.....	77
12. Especies arbóreas más utilizadas para producción de leña.....	78
13. Rendimiento de materia prima para producción de agro combustibles en Guatemala.....	82
14. Procedimiento de recopilación y organización de información.....	99

## TABLAS

I.	Matriz de Impactos ambientales generados por biocombustibles.....	44
II.	Balance energético de energías primarias en Guatemala, 2010.....	51
III.	Balance energético de energías secundarias en Guatemala, 2010.....	54
IV.	Consumo de petróleo y productos petroleros en Guatemala, 2010.....	57
V.	Producción nacional de leña para áreas no protegidas, 2011.....	74
VI.	Estimaciones del volumen de producción de refinerías de etanol.....	80
VII.	Plantas productoras de biodiesel en Guatemala.....	86
VIII.	Resumen de información cuantitativa.....	92
IX.	Variables independientes.....	93
X.	Variables dependientes.....	94
XI.	Recurso humano.....	95
XII.	Recursos materiales disponibles.....	96
XIII.	Factores de equivalencias energéticas.....	102
XIV.	Factores de conversión volumétrica.....	103
XV.	Datos fisicoquímicos de biocombustibles.....	106
XVI.	Matriz de poder energético generado/ kilogramo de biocombustibles.....	108
XVII.	Matriz de equivalencias entre biocombustibles.....	110
XVIII.	Datos fisicoquímicos de combustibles fósiles.....	112
XIX.	Matriz de equivalencias energéticas de combustibles fósiles y biocombustibles.....	114
XX.	Precios de combustibles fósiles.....	115
XXI.	Precios de combustibles por energía generada.....	116
XXII.	Matriz de precios por energía generada para combustibles.....	117

## LISTADO DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>B.e.p.</b>	Barril equivalente de petróleo
<b>Cal</b>	Caloría
<b>gal</b>	Galones
<b>grm</b>	Gramos
<b>J</b>	Joule
<b>KW/h</b>	Kilowatt por hora
<b>l</b>	Litro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbicos
<b>BTU</b>	Unidad térmica británica

## Table of Contents

1. Introduction	1
2. Theoretical Framework	10
3. Methodology	25
4. Data Collection and Analysis	45
5. Results and Discussion	65
6. Conclusion	85
7. References	95
8. Appendix	105
9. Bibliography	115
10. Index	125

## GLOSARIO

<b>Agroenergía</b>	Energía obtenida de recursos agroforestales.
<b>Caudal ecológico</b>	10% del caudal natural de un efluente hídrico medido en época de estiaje.
<b>Dendroenergía</b>	Energía obtenida de recursos maderables.
<b>Lecho fluidizado</b>	Proceso a través del que una corriente ascendente de fluido mantiene en suspensión a las partículas sólidas.
<b>Sucroenergético</b>	Generación energética del sector azucarero.



## RESUMEN

Se presenta la síntesis de información nacional disponible sobre combustibles derivados de la biomasa en Guatemala y su situación actual en el mercado energético y tablas con contenido energético, económico y de equivalencias, con la finalidad de brindar una herramienta que facilite la toma de decisiones objetivas en proyectos energéticos que los involucren, considerando los costos económicos y ambientales que estos implican.

La información generada permite realizar equivalencias en las unidades más utilizadas en el mercado energético, unidad térmica británica (BTU) para generación de calor, kilowatt hora (KW-h) para generación de energía eléctrica y barriles equivalentes de petróleo (BEP) para estimaciones en el mercado internacional; los precios por energía generada en quetzales(Q/BTU) tanto para combustibles fósiles como biocombustibles; además proporciona las equivalencias energéticas y másicas entre los combustibles de origen biomásico.

Guatemala cuenta con plantaciones de bosques energéticos, de caña de azúcar, de *Jatropha curca* y palma africana, suficientes para producir combustibles de origen biomásico en forma sostenible, abastecer la demanda energética actual a nivel nacional y mitigar los efectos adversos generados por el consumo indiscriminado de combustibles fósiles.

Es necesario fortalecer, actualizar y ejecutar la legislación e incentivación fiscal existente, relacionada con los combustibles biomásicos, para garantizar

la competitividad de estos en proyectos energéticos dentro del mercado energético nacional.

Se debe fortalecer la capacidad de análisis y planificación del sistema energético nacional para garantizar decisiones objetivas y prácticas en el uso de los biocombustibles y mitigar los impactos económicos, sociales y ambientales que el uso indiscriminado de combustibles convencionales genera.

Se recomienda incentivar la inversión en el desarrollo de tecnologías eficientes y programas de desarrollo sostenibles para la producción y uso de biocombustibles, con la finalidad de abastecer la demanda energética nacional.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Sintetizar la panorámica energética nacional y realizar los cálculos de contenido energético, equivalencias energéticas y precios de los combustibles de biomasa en Guatemala, que constituyan elementos de decisión para su uso en proyectos energéticos.

### **Específicos**

1. Generar tablas con contenido energético, equivalencias y precios de los combustibles de biomasa, en las unidades más utilizadas en el mercado energético.
2. Realizar un análisis de la situación energética en Guatemala y su potencialidad, para la producción y uso de combustibles de biomasa.
3. Facilitar información que permita evaluar y realizar decisiones objetivas sobre la producción, uso o sustitución de los combustibles biomásicos en Guatemala.

## CONTENTS

### Foreword

The following pages contain the text of the report of the Commission on the Causes and Prevention of the Collapse of the Soviet Union, as presented to the President of the United States on October 1, 1991. The report is the result of a study conducted by the Commission from July 1990 to July 1991. The Commission was established by Executive Order on July 1, 1990, and its members are listed on page 1.

### Executive Summary

The Commission's study of the causes and prevention of the collapse of the Soviet Union is based on a review of the historical and contemporary records of the Soviet Union, and on interviews with Soviet officials and other sources. The Commission's findings are summarized in the following pages.

The Commission's study of the causes and prevention of the collapse of the Soviet Union is based on a review of the historical and contemporary records of the Soviet Union, and on interviews with Soviet officials and other sources. The Commission's findings are summarized in the following pages.

The Commission's study of the causes and prevention of the collapse of the Soviet Union is based on a review of the historical and contemporary records of the Soviet Union, and on interviews with Soviet officials and other sources. The Commission's findings are summarized in the following pages.

## INTRODUCCIÓN

Se presenta la síntesis de información nacional disponible sobre combustibles derivados de la biomasa en Guatemala y su situación actual en el mercado energético, con la finalidad de brindar una herramienta que facilite la toma de decisiones en proyectos energéticos que los involucren.

Para el efecto se realizaron consultas bibliográficas físicas y electrónicas, nacionales y regionales, entrevistas en las instituciones gubernamentales y privadas responsables del tema, así como visitas a las plantas productoras y proyectos energéticos que en la actualidad se dedican tanto a la producción como al uso de los combustibles biomásicos.

El objetivo principal es generar información que permita evaluar y realizar decisiones objetivas sobre contenido energético, precios, producción uso o sustitución de los combustibles biomásicos y combustibles derivados de petróleo, considerando los costos económicos y ambientales que estos implican.

Se generaron tablas con información de poder energético por kilogramo de biocombustible en las unidades más utilizadas, unidad térmica británica (BTU) para usos en generación de calor, kilowatt-hora (Kw/Hr) para usos en generación de energía eléctrica, barriles equivalentes de petróleo (BEP) para estimaciones en el mercado internacional, entre otras.

Se elaboraron tablas con equivalencias energéticas o másicas que permiten establecer comparaciones y relaciones entre los diferentes

biocombustibles para evaluar propuestas relacionadas a producción, uso o sustitución de estos en el mercado energético, y tablas con el precio en quetzales de los biocombustibles y combustibles de origen fósil respecto de la cantidad de energía generada (Q/BTU) y sus equivalencias en el mercado energético nacional.

Las tablas con información energética, económica, equivalencias, producción y usos de biocombustibles generadas, brindan información cuantitativa de confianza y de trazabilidad, que permite tomar decisiones para la elaboración del estudio técnico en proyectos energéticos que involucren combustibles biomásicos.

La información está dirigida a los grupos de sectores energéticos, productores, distribuidores, investigadores, catedráticos, estudiantes, ambientalistas, y usuarios que requieren de información relacionada con el tema; esta consta de valores energéticos, en las unidades más utilizadas, generación energética respecto del volumen y el precio nacional, y equivalencias energéticas y volumétricas entre combustibles convencionales y biocombustibles, además de las características, procesos de producción y el impacto ambiental que estos generan, tanto en su uso como en su producción.

## **PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA**

En Guatemala hay poca investigación sobre combustibles de origen biomásico que proporcione información de forma homogénea, resumida y confiable, que contenga parámetros e indicadores energéticos de poder calórico, energía generada por unidad de masa, unidades energéticas más utilizadas, costos económicos por la cantidad de energía generada, unidades necesarias para sustituir un combustible fósil o un biocombustible o por otro biocombustible (equivalencias), que permita tomar decisiones para la evaluación, producción, uso o sustitución de los combustibles biomásicos en proyectos energéticos.

La información actual, se encuentra de forma dispersa y generalmente parcializada por los sectores involucrados, dificultando la apreciación objetiva sobre las ventajas, los costos económicos, ambientales y sociales de los combustibles biomásicos, complicando la elaboración del estudio técnico en proyectos relacionados con el tema.

La toma de decisiones para el uso de los biocombustibles, es importante y primordial para mitigar los impactos económicos, sociales y ambientales que el uso indiscriminado de combustibles convencionales genera; para el efecto es necesario contar con información actual, detallada, y confiable sobre los biocombustibles nacionales, con la finalidad de evaluar las ventajas y desventajas reales que estos brindan como alternativa energética para el país.

## MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 1.1. Energía

#### 1.1.1. Conceptos

- Energía
  - “Capacidad que tiene un elemento natural o artificial de producir cambios o alteraciones en su entorno y que puede ser transformada en movimiento, luz, calor, electricidad, radiación, etc. (C. anual de Estadísticas energéticas 2011).
  - “Capacidad que posee un cuerpo o sistema para ejercer cambios (fuerzas), sobre otros cuerpos o sistemas o entre sus propios subsistemas. Si los cambios ocasionan variaciones temporales microscópicas y desordenadas, hay transmisión de energía en forma de calor. Si las variaciones son macroscópicas o microscópicas ordenadas, fenómenos eléctricos y magnéticos, hay transmisión de energía en forma de trabajo” (Energías Renovables, 2009).
- Cadena energética
  - “Flujo físico de la energía en un proceso o en sector determinado, establece el recorrido de la energía desde su ingreso al proceso de conversión hasta el producto final, permitiendo evaluar la

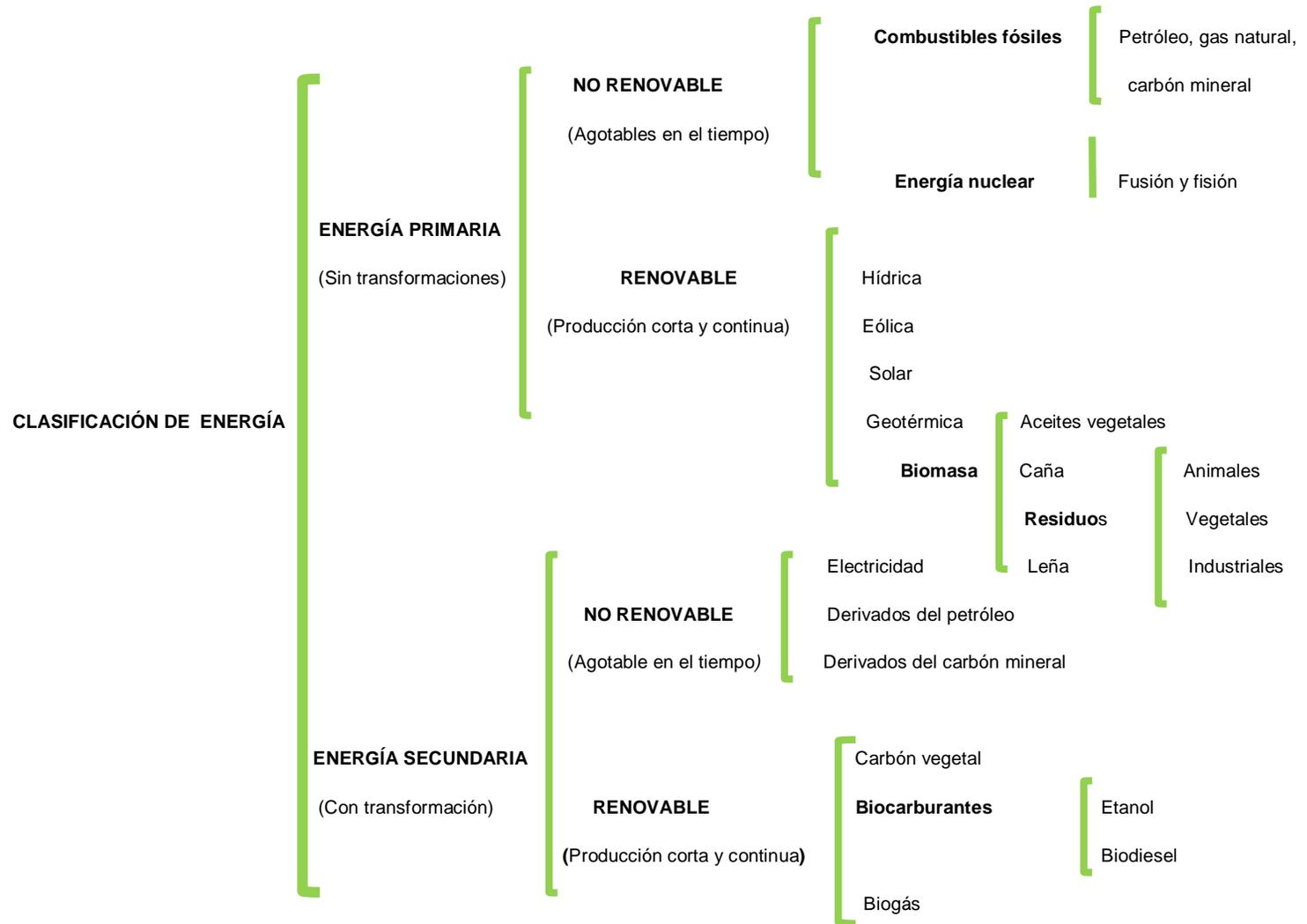
eficiencia de su utilización. (Seminario Nacional sobre Agroenergía, Venezuela 1983).

- “Es la serie de etapas, actividades y eventos, por los que una fuente energética debe pasar desde su origen hasta su aprovechamiento, como producción, transporte, transformación, almacenamiento y uso”. Manual de Estadísticas Energéticas 2011 (Ver anexo 1).
  
- Medición de energía
  - “Fuentes combustibles como sólidos, líquidos y gases, se pueden medir mediante unidades físicas de masa o de volumen; o en unidades energéticas, de acuerdo a su capacidad de producir calor por combustión”. (Manual de Estadísticas Energéticas, 2011).
  
  - “Fuentes no combustibles, como la solar, geotermia, hidroenergía y energía eólica, se medirán solamente en unidades energéticas de acuerdo a su capacidad de generar electricidad y calor”. (Manual de Estadísticas Energéticas, 2011).
  
- Matriz energética
  - “Estudio del sector energético en el que se cuantifica la oferta, demanda y transformación de cada una de las fuentes energéticas, así como el inventario de recursos energéticos disponibles; considerando para estas variables su evolución

histórica y proyección a futuro”. (Manual de Estadísticas Energéticas, 2011)

A continuación se presenta en la figura 1, un cuadro sinóptico sobre la clasificación de energía.

Figura 1. Clasificación de energía



### 1.1.2. Clasificación de la energía

- Fuentes
  - Energía renovable: cuyo potencial es inagotable y su ciclo de producción es relativamente corto, continuo y sostenible. En ella se encuentran; la energía solar, eólica, hidráulica, mare motriz y la biomasa.
  - Energía no renovable: existe en una cantidad limitada en la naturaleza. No se renuevan a corto plazo agotándose aceleradamente (recurso finito); necesita de extensos periodos de formación. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes. Los más comunes son carbón, petróleo, gas natural, uranio e hidrógeno, fisión y fusión nuclear respectivamente. (Energías Renovables para el Desarrollo, 2003).
- Por proceso de producción
  - La energía primaria es energía en su estado natural, es decir que no ha sufrido ningún tipo de transformación física o química a través de procesos antropogénicos. Se puede obtener de la naturaleza, ya sea en forma directa como en el caso de la energía hidráulica, solar, la leña y otros combustibles vegetales; o después de un proceso de extracción como el petróleo, carbón mineral, geoenergía, etc.
  - Energías secundarias, llamadas también útiles o finales, se obtienen a partir de las energías primarias mediante un proceso de

transformación por medios técnicos. Es el caso de la electricidad o de los combustibles. (Manual de Estadísticas Energéticas 2011).

### **1.1.3. Fuentes de energía**

A continuación se presenta una síntesis de las fuentes energéticas primarias y secundarias del Manual de estadísticas energéticas, 2011.

#### **1.1.3.1. Fuentes de energía primaria**

Las fuentes de energía primaria se subdividen en dos grupos; las fuentes no renovables de energía, (los combustibles fósiles y la energía nuclear) y las fuentes renovables de energía (hidroenergía, energía eólica, energía solar, geo energía y la biomasa).

##### **1.1.3.1.1. Fuentes de energía primaria no renovables**

Son “aquellos recursos fósiles agotables en el tiempo, que tienen un período de formación de muy largo plazo”, (Manual de estadísticas energéticas, 2011), entre las que se encuentran:

- **Petróleo primario:** conjunto de hidrocarburos que constituyen los principales insumos a refinerías y plantas de fraccionamiento, a partir de los cuales se obtienen los productos petroleros secundarios, se subdivide en tres categorías:
  - **Petróleo crudo:** es una mezcla compleja de hidrocarburos, de distinto peso molecular. La composición del petróleo es variable y puede

dividirse en tres clases de acuerdo con los residuos de la destilación: parafinas, asfaltos o una mezcla de ambos. Este es el principal insumo a las refinerías, para la elaboración de los productos petroleros o derivados.

- Líquidos de gas natural: son los hidrocarburos de bajo peso molecular licuables, recuperados del gas natural asociado o libre, en las plantas de separación o procesamiento, que se condensan durante el manejo, transporte y compresión del gas natural. Incluyen el propano, el butano, el etano y pentanos y constituyen insumos a las refinerías y plantas de fraccionamiento.
- Otros hidrocarburos: este concepto abarca otro tipo de insumos a refinería diferentes al petróleo crudo natural, como los crudos sintéticos y la orimulsión (mezcla de hidrocarburos y compuestos orgánicos caracterizados por sus propiedades ligantes); su nombre se origina por descubrimiento de la misma, en Orinoco Venezuela.
- Gas natural: mezcla gaseosa de hidrocarburos. Incluye tanto el gas natural libre como el asociado y se presenta también en las minas de carbón o zonas de geopresión, por su composición se divide en:
  - Gas natural asociado: mezcla gaseosa de hidrocarburos que se produce asociada con el petróleo crudo. Generalmente contiene fracciones de hidrocarburos líquidos ligeros (condensables) por lo que se le llama frecuentemente "gas húmedo".
  - Gas natural no asociado: mezcla gaseosa de hidrocarburos constituida principalmente por el metano obtenido de los campos de

gas. En general no contiene condensables, se lo suele llamar "gas seco" o "gas libre".

- Carbón mineral: es un mineral sólido de color negro o marrón oscuro compuesto por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y otros elementos. Resulta de la degradación de los restos de organismos vegetales durante largos períodos, por la acción del calor, presión y otros fenómenos físicoquímicos naturales. Debido a que se dan distintos grados de cambio en el proceso, el carbón mineral no es un mineral uniforme y se clasifica por rangos de acuerdo con su grado de degradación, en series que van desde lignitos a antracitas, pasando por los subbituminosos y los bituminosos, los cuales presentan diferencias considerables en su contenido de volátiles, carbono fijo y poder calorífico. En términos de uso final, el carbón mineral se puede dividir en dos clases:
  - Carbón coquizable o metalúrgico: es el carbón cuyas propiedades permiten el proceso de pirólisis o destilación destructiva del mismo, para la producción de coque, que es un producto empleado en la fabricación del acero en los altos hornos.
  - Carbón térmico o de vapor: es el carbón empleado como combustible para la producción de vapor de agua, tanto para la generación de electricidad como para procesos industriales. Se caracteriza por un relativo alto poder calorífico.
- Combustibles fisionables y energía nuclear: el combustible fisionable, es el mineral de uranio después del proceso de purificación y/o enriquecimiento. Lo que se considera como energía primaria nuclear no es el mineral de uranio en sí mismo sino el contenido térmico del vapor de agua que

ingresa a la turbina proveniente del reactor. Este contenido térmico se lo puede estimar con base en la producción de electricidad de la central nuclear.

#### **1.1.3.1.2. Fuentes de energía primaria renovables**

Son “aquellos recursos con períodos de formación relativamente cortos o continuos, que bajo un régimen de explotación racional, su disponibilidad no disminuye con el tiempo”, Manual de Estadísticas Energéticas 2011.

- **Hidroenergía:** es la energía (potencial o cinética) contenida en un caudal hídrico, y que generalmente puede aprovecharse en un conjunto turbina-generador.
- **Geoenergía:** es la energía almacenada bajo la superficie de la tierra en forma de calor y puede ser transmitida hacia la superficie por un fluido en estado líquido, vapor o una mezcla de ambos, que esté en contacto con la roca caliente. Este tipo de energía es utilizada para la generación de electricidad y como calor para procesos industriales (cogeneración).
- **Energía eólica:** es la energía producida por el viento y que se puede aprovechar en un conjunto turbina-generador.
- **Energía solar:** es la energía producida por el sol, aprovechada principalmente en calentamiento de agua (a través de colectores solares), secado de granos e irradiación en células fotovoltaicas.

- Leña: es la energía que se obtiene directamente de los recursos forestales. Incluye los troncos y ramas de los árboles, pero excluye los desechos de la actividad maderera, los cuales quedan incluidos en la definición de residuos vegetales utilizados para fines energéticos.
- Productos de caña: incluyen los productos de caña de azúcar que tienen fines energéticos. Entre ellos se encuentran el bagazo, el jugo de caña y la melaza. Estas dos últimas constituyen la principal materia prima para la obtención de etanol.
- Residuos: son materiales de origen orgánico que se obtienen a partir de procesos biológicos e industriales y que proceden de diversos sectores como la agricultura, la ganadería, la industria maderera, etc. Dependiendo del sector de donde procedan, los residuos se pueden clasificar en:
  - Residuos animales: se refieren a los residuos de las actividades agropecuarias y a los desechos urbanos. Estos pueden ser utilizados directamente como combustible en forma seca o convertidos a biogás, a través de un proceso de fermentación o método de descomposición.
  - Residuos vegetales: son los recursos energéticos obtenidos de los residuos agroindustriales y forestales. Se incluyen aquí todos los desechos agrícolas (excepto el bagazo de caña), tales como: cascarilla de arroz y de café, coquito de palma, etc., los desechos de los aserraderos de madera (que no se incluyen en el concepto de la leña ni el bagazo), para propósitos energéticos.

- Residuos industriales o recuperados: sustancias con contenido energético producidas en plantas industriales como un subproducto del proceso productivo, como el licor negro del papel, residuos de la industria química (excepto los petroquímicos que deben considerarse productos secundarios porque provienen de gas natural o derivados del petróleo).
- Residuos urbanos: desechos de ciudad (basura o líquidos residuales) que por sus componentes orgánicos, pueden desprender metano que es un gas combustible.
- Aceites vegetales: constituyen la principal materia prima para la obtención de biodiesel. Estos aceites provienen de todo tipo de plantas oleaginosas tales como: la palma africana, el coco, la colza, el maní, el girasol, la higuera, la soya; siendo el cultivo de mayor rendimiento el de la palma africana.
- Otras fuentes de energía renovables: en este grupo se incluyen otras fuentes, no especificadas en los conceptos anteriores, que pueden volverse representativas con el desarrollo de nuevas tecnologías, por ejemplo, energía mareomotriz, células de combustible, etc.

#### **1.1.3.2. Fuentes de energía secundaria**

“Se denomina energía secundaria a los productos energéticos que se obtienen mediante la transformación de fuentes energéticas de origen primario o de otras fuentes secundarias” (Manual de Estadísticas Energéticas 2011).

### **1.1.3.2.1. Fuentes de energía secundaria no renovables**

Son las fuentes energéticas generadas en su mayoría por fuentes energéticas no renovables. Pueden citarse las siguientes:

- Electricidad: energía transmitida por electrones en movimiento. Se incluye la energía eléctrica generada con cualquier recurso, sea primario o secundario, renovable o no renovable, en los diferentes tipos de plantas de generación eléctrica.
- Productos petroleros secundarios: este grupo corresponde a los productos de la refinación del petróleo crudo, líquidos de gas natural, y a los obtenidos en las plantas de fraccionamiento del gas natural; entre ellos están:
  - Gas licuado de petróleo (GLP): consiste en una mezcla de hidrocarburos livianos, que se obtienen como productos de los procesos de refinación, de estabilización del petróleo crudo y de fraccionamiento de líquidos de gas natural. Puede ser de tres tipos: mezcla de hidrocarburos del grupo C3 (propano, propeno, propileno), mezcla de hidrocarburos del grupo C4 (butano, buteno, butileno) y mezcla de C3 y C4 en cualesquiera proporciones. EL GLP normalmente se licua bajo presión para el transporte y almacenamiento.
  - Gasolinas para motor: mezcla de hidrocarburos líquidos, livianos, obtenidos de la destilación del petróleo y/o del tratamiento del gas

natural, cuyo rango de ebullición se encuentra generalmente entre los 30-200 grados centígrados. Dentro de este grupo se incluyen:

- ✓ Gasolina de aviación: es una mezcla de naftas reformadas de elevado octanaje, de alta volatilidad y estabilidad y de un bajo punto de congelamiento, que se usa en aviones de hélice con motores de pistón.
- ✓ Gasolina automotriz: es una mezcla compleja de hidrocarburos relativamente volátiles que con o sin aditivos se usa como combustible para motores de vehículos terrestres de ignición por chispa.
- ✓ Nafta: es una fracción ligera del petróleo que se obtiene mediante destilación directa entre los 30 y 210° C, se utiliza como insumo tanto en la fabricación de gasolinas, como en la industria petroquímica. Además se emplea como solvente en la industria química fabricación de pinturas y barnices.
- ✓ Kerosene: es un combustible líquido compuesto por la fracción del petróleo que se destila entre 150 y 300 grados centígrados. Se utiliza como combustible en motores de reacción y turbo hélice. Es un combustible que se utiliza para cocción de alimentos, en alumbrado, motores, en equipos de refrigeración y como solvente para asfaltos e insecticidas de uso doméstico.
- ✓ Diesel y gas oíl: combustibles líquidos que se obtienen de la destilación atmosférica del petróleo entre los 200 y 380 grados centígrados; son más pesados que el kerosene y son utilizados

en motores de combustión interna tipo diesel (automóviles, camiones, generación eléctrica, motores marinos y ferroviarios), para calefacción en usos industriales y comerciales. Se incluyen dentro de este grupo otros gasóleos más pesados que destilan entre 380 y 450 grados centígrados y que se usan como insumos petroquímicos.

- ✓ Fuel oil: es un combustible residual de la refinación del petróleo y comprende a todos los productos pesados incluyendo los obtenidos por mezcla. Generalmente se usa en calderas, plantas de generación eléctrica y en motores utilizados en navegación.
- ✓ Coque de petróleo: es un combustible sólido y poroso no fundible generalmente de color negro, con un alto contenido de carbono (90% - 95%) y que se obtiene como residuo en la refinación del petróleo. Se usa como insumo en coquerías para la industria siderúrgica, en la elaboración de electrodos y en la producción de químicos y como combustible para calefacción.
- ✓ Gas de refinería (no gas licuado): gas no condensable obtenido de la refinación del petróleo crudo, compuesto principalmente de hidrógeno, metano y etano. Es usado como fuente de energía en el propio proceso de refinación.
- ✓ Otros productos petroleros energéticos: comprende todos los productos de refinerías y centros de tratamiento de

gas, no especificados anteriormente, los cuales se utilizan como combustibles.

- ✓ Productos petroleros no energéticos: son aquellos productos que no se utilizan con fines energéticos aun cuando poseen un considerable contenido energético; entre ellos se pueden mencionar los asfaltos, solventes, aceites, grasas y otros lubricantes.
- Derivados del carbón mineral: en este grupo se incluyen el coque de coquería y los gases tanto de coquería como de los altos hornos; que a continuación se describen:
  - Coque de carbón mineral: material sólido no fundible, de alto contenido de carbono, obtenido como resultado de la destilación destructiva del carbón mineral en las coquerías.
  - Gas de coquería: es el gas obtenido como producto secundario en el calentamiento intenso del carbón mineral o coque, con una mezcla de aire y vapor, en las coquerías. Está compuesto de monóxido de carbono, nitrógeno y pequeñas cantidades de hidrógeno y dióxido de carbono.
  - Gas de alto horno: se obtiene como un subproducto de la actividad de producción de acero en altos hornos, siendo usado generalmente como combustible para fines de calentamiento en la planta.

### **1.1.3.2.2. Fuentes de energía secundaria renovable**

En este grupo están incluidas todas las fuentes energéticas generadas a través de la transformación de la biomasa:

- **Carbón vegetal:** obtenido de la destilación destructiva de la madera en ausencia de oxígeno, en las carboneras; absorbe humedad rápidamente, por lo cual suele contener un 10 a 15% de agua, además de un 0.5 a 1.0% de hidrógeno y un 2 a 3% de cenizas, con un poder calorífico de 6500 kcal/kg. Estas características pueden variar según la calidad de la leña que le dé origen; en algunos casos puede sustituir al coque en los procesos siderúrgicos y ser consumido en la industria y en el sector residencial para cocción.
  
- **Biocarburantes:** combustibles líquidos sustitutos parciales, o totales, de combustibles de origen fósil como la gasolina y el diesel; se obtienen de la transformación de la biomasa e incluyen:
  - **Etanol:** líquido incoloro que puede producirse por fermentación de materias vegetales con un alto contenido de azúcar, como el jugo de caña de azúcar o melazas; materias vegetales con un alto contenido de almidón, como la mandioca, maíz, sorgo, trigo, etc.; y materias con un alto contenido de celulosa: leña y desechos vegetales. Puede ser utilizado como alcohol anhidro o hidratado, solo o mezclado con gasolina en motores de combustión interna. La obtención del etanol a partir del almidón es más compleja debido a que este debe ser hidrolizado (cambio molecular por dilución, descomposición o transformación con moléculas de agua) previamente, para

convertirlo en azúcar. A partir de la celulosa es aún más complejo porque primero se debe realizar un pretratamiento de la materia vegetal, para que la celulosa pueda ser atacada por las enzimas hidrolizantes. El rendimiento en la obtención de etanol es mayor a partir de sustancias con alto contenido de azúcares; el rendimiento es intermedio para sustancias que contienen almidón y es bajo para las celulosas.

- Biodiesel: combustible líquido obtenido de la transesterificación de aceites vegetales con un alcohol ligero, principalmente metanol (alcohol metílico, incoloro y tóxico, obtenido por destilación de la madera) que produce glicerina como subproducto. Tiene propiedades similares a las del diesel derivado del petróleo y puede ser utilizado en motores de combustión interna del ciclo diesel, realizando pequeñas adecuaciones. Es utilizado puro o en mezcla con el diesel convencional. La ventaja de este combustible es que proviene de fuentes primarias renovables y por lo tanto contribuye a la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La desventaja es que para su producción en grandes volúmenes, se requiere de grandes extensiones de cultivos de oleaginosas, lo que es un limitante en el caso de los países de pequeña extensión territorial.
- Biogás: constituido principalmente por metano, obtenido de la fermentación anaeróbica de desechos biomásicos y de rellenos sanitarios. Generalmente se emplea como combustible de motores de combustión interna acoplados a generadores de electricidad y en menor cantidad como sustituto del gas licuado de petróleo para el sector doméstico en las áreas rurales.

## 1.2. Biocombustibles

### 1.2.1. Conceptos

- Biomasa
  - “Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía renovable, entendiendo como tal que, por lo menos, se consume a un ritmo inferior o igual al que se produce. (Abrego Garrués Javier, Reseau Adeline y García Galindo Daniel ,2010).
  - “Materia orgánica generada a través de procesos biológicos, de origen vegetal y animal, que presenta periodos de formación rápidos y continuos, provocados o espontáneos que generan energía. (De Juana Sardón José María, 2003).
- Biocombustibles
  - “Etimológicamente se refiere a combustibles de origen biológico, obtenidos de una fuente de energía renovable, con periodos de producción cortos y sustentables. Se consideran productos químicos obtenidos de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial, desechos orgánicos o de cualquier otra forma de biomasa. Internacionalmente se utilizan de forma indiscriminada los términos biocombustibles, biocarburantes o bioenergéticos. (Manual de Biocombustibles, 2009).

- “Comúnmente se consideraba como biocombustibles o biocarburantes al etanol, biodiesel y biogás, siendo sus principales usos en carburación de motores térmicos. Como bioenergéticos se conoce a aquellos combustibles en estado sólido como leña, pellets, briquetas, carbón vegetal, utilizados para la generación de calor o de vapor; en la actualidad se considera biocombustible, agrocombustibles o bioenergéticos a toda fuente de energía adquirida o generada por fuentes renovables de energía (Coviello, Manlio y Altomonte Hugo, 2003).

### **1.2.2. Clasificación de biocombustibles**

Las características fisicoquímicas de la biomasa son relevantes para la determinación del proceso de conversión de la misma, el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar, además de influir en el tipo de tratamiento previo a realizar, facilitando la elección más conveniente técnica y económicamente para los proyectos energéticos.

La siguiente clasificación es una síntesis de las clasificaciones contenidas en Energías Renovables para el Desarrollo, 2003, Energías Renovables, 2009 y Atlas de las agroenergías y los biocombustibles en América Latina, 2007.

#### **1.2.2.1. Composición química y física**

Determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; además influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

#### **1.2.2.2. Contenido de humedad (H.R.)**

Es la relación de la masa de agua contenida, por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%.

#### **1.2.2.3. Porcentaje de cenizas**

Indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material.

#### **1.2.2.4. Poder calórico**

Determina la energía disponible en la biomasa, es decir la cantidad de energía que puede generar, esta directamente relacionado con su contenido de humedad.

#### **1.2.2.5. Densidad aparente**

Es el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta bajo condiciones establecidas.

#### **1.2.2.6. Recolección, transporte y manejo**

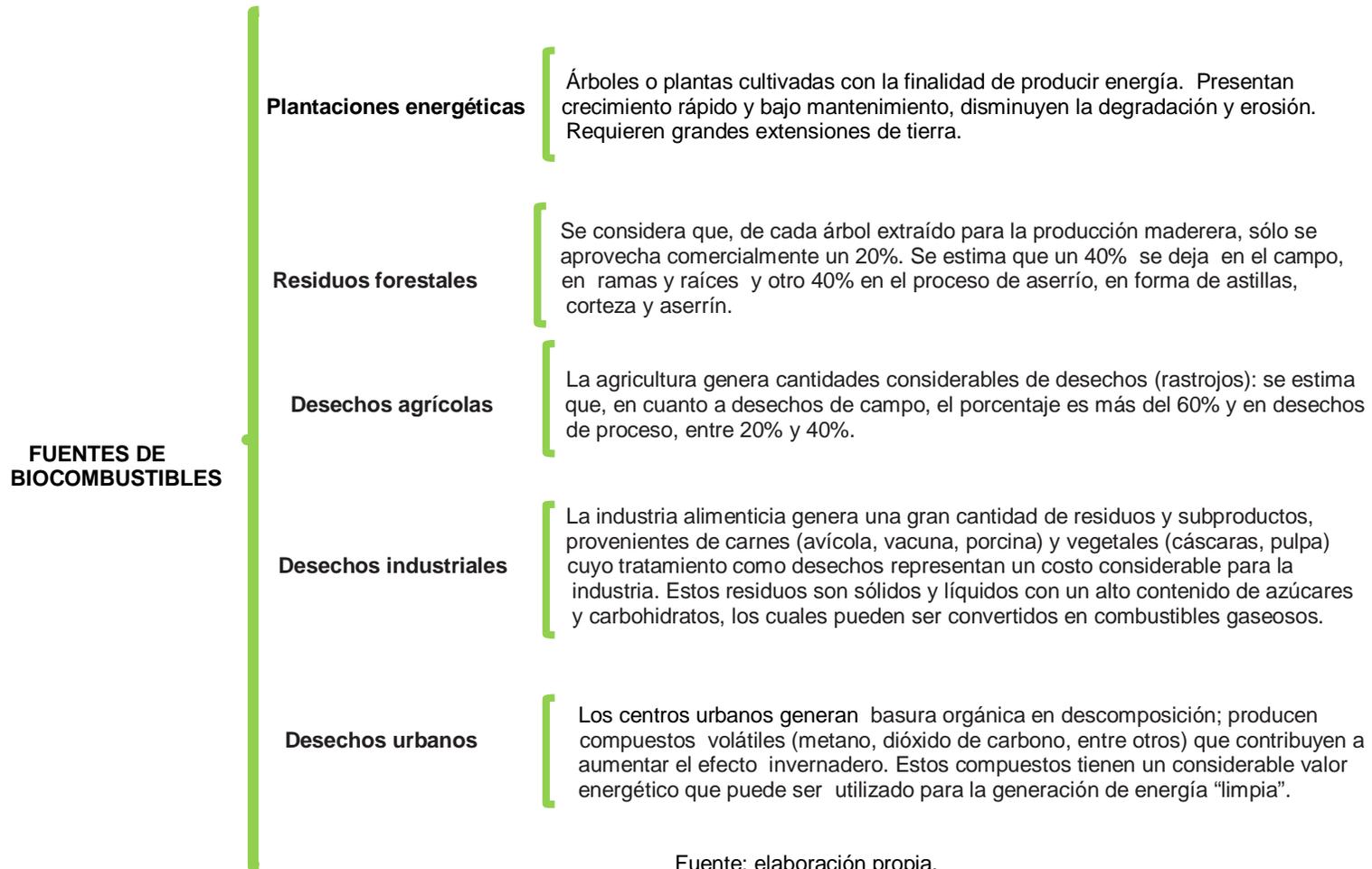
Factores imprescindibles en la determinación de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética.

### **1.2.3. Fuentes de biocombustibles**

La producción, oferta, demanda y calidad de los biocombustibles a producir depende de la materia prima con que se elaboran y la disponibilidad que exista de esta.

A continuación se presenta la síntesis de las fuentes biomásicas utilizadas en la elaboración de biocombustibles, por su disponibilidad y viabilidad económica como fuentes generadoras de biocombustibles.

Figura 2. Fuentes de biocombustibles



### **1.2.3.1. Plantaciones energéticas**

Son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años.

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

También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación; adicionalmente, este tipo de cultivos sirve para controlar la erosión y la degradación de los suelos. (Zanotti, Jr. 2008)

### **1.2.3.2. Residuos forestales**

Son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en el área centroamericana. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín. (Comisión centroamericana de ambiente y desarrollo, 2008).

### **1.2.3.3. Desechos agrícolas**

La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros): se estima que solo en el campo el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%. Se considera que el 50% de estos es utilizado como leña para uso doméstico en zonas aledañas.

En este rubro se incluye el estiércol de animales de granja generalmente utilizado como abono orgánico. (Informe Final. Encuesta Nacional de Leña consumo de la leña en hogares y pequeña industria en la República de Guatemala, 2011).

### **1.2.3.4. Desechos industriales**

Están constituidos por residuos sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos.

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía; los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria (FOCER, 2002).

### **1.2.3.5. Desechos urbanos**

Se encuentran constituidos principalmente por; residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras, generados en su mayoría por centros urbanos; estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede

ser utilizado para la generación de energía “limpia”; aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía.

La mayoría de los países centroamericanos carecen de adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación (FOCER, 2002).

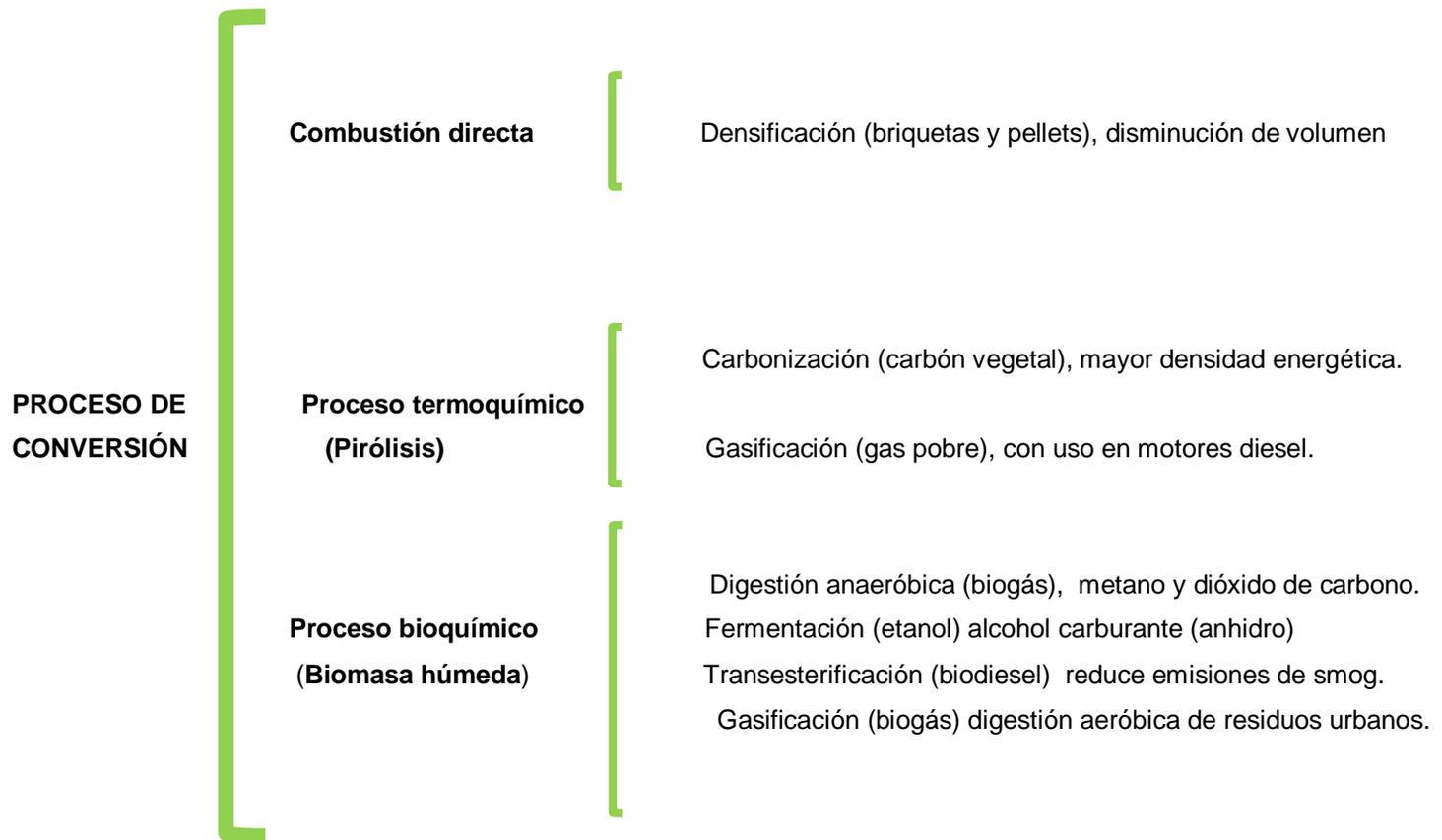
#### **1.2.4. Proceso de conversión de biocombustibles**

Para elegir el proceso de conversión de biomasa adecuado se debe evaluar la factibilidad técnica y económica de este, considerar parámetros y condiciones que permitan estimar los beneficios económicos y ambientales esperados.

Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia como la dendroenergía y la cogeneración.

A continuación se presenta un resumen de los procesos de conversión para la elaboración de combustibles de origen biomásico.

Figura 3. **Proceso de conversión de biomasa**



Fuente: elaboración propia.

#### **1.2.4.1. Procesos de combustión directa**

Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, por ejemplo, para la cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas.

También se aprovecha en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad. Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros más avanzados como combustión de lecho fluidizado.

Los procesos tradicionales de este tipo, generalmente, son muy ineficientes porque mucha de la energía liberada se desperdicia y puede causar contaminación cuando no se realizan bajo condiciones controladas.

Estos resultados pueden eficientizar considerablemente el proceso con prácticas de operación mejoradas y un diseño adecuado del equipo, por ejemplo, secar la biomasa antes de usarla, reduciendo así la cantidad de energía utilizada para la evaporación del agua en la misma.

En el caso de los procesos industriales, usar pequeños pedazos de leña y atender continuamente el fuego, supliendo pequeñas cantidades, resulta en una combustión más completa y eficiente y la regulación de entrada del aire para lograr una combustión más completa y con aislamiento para minimizar las pérdidas de calor.

#### **1.2.4.1.1. Densificación**

Proceso para compactar la biomasa en briquetas o pellets, para facilitar su utilización, almacenamiento y transporte. Generalmente son empleados en usos domésticos, comerciales e industriales. La materia prima puede ser aserrín, desechos agrícolas y partículas de carbón vegetal, el cual se compacta bajo presión alta.

#### **1.2.4.2. Procesos termoquímicos**

Estos procesos transforman la biomasa en un producto de más alto valor, con densidad y valor calorífico mayor, permitiendo un uso y transporte más eficiente. Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, sin hacerlo completamente, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos, que pueden ser usados como combustible para generar calor y electricidad. El proceso básico se llama pirólisis o carbonización y se divide en:

##### **1.2.4.2.1. Carbonización**

Es la forma más común de la conversión termoquímica de temperatura mediana. La biomasa se quema con una disponibilidad restringida de aire, lo cual impide que la combustión sea completa. El residuo sólido se usa como carbón vegetal, el cual tiene mayor densidad energética que la biomasa original, no produce humo y es ideal para uso doméstico.

La materia prima más común es la madera, aunque también se utilizan residuos forestales como cáscaras de coco y algunos residuos agrícolas; el

proceso se lleva a cabo en hornos de tierra, de mampostería y de acero, estos últimos incrementan los costos de producción.

#### **1.2.4.2.2. Gasificación**

Utiliza una mayor proporción de oxígeno a mayores temperaturas, con el objetivo de optimizar la producción del llamado “gas pobre”, constituido por una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y metano, con proporciones menores de dióxido de carbono y nitrógeno. Este se puede utilizar para generar calor y electricidad, y se puede aplicar en equipos convencionales, como los motores de diesel. La composición y el valor calorífico del gas dependen de la biomasa utilizada.

#### **1.2.4.3 Procesos bioquímicos**

Utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termoquímicos; los más importantes son:

##### **1.2.4.3.1. Digestión anaeróbica**

Digestión de biomasa humedecida por bacterias en un ambiente sin oxígeno (anaeróbico) que produce un gas combustible llamado biogás. En el proceso, se coloca la biomasa (generalmente desechos de animales) en un contenedor cerrado (el digestor) y allí se deja fermentar; después de unos días, dependiendo de la temperatura del ambiente, se habrá producido un gas, que es una mezcla de metano y dióxido de carbono.

La materia remanente dentro del digestor es un buen fertilizante orgánico. También se pueden utilizar aguas negras y mieles como materia prima, lo cual sirve, además, para tratar el agua.

#### **1.2.4.3.2. Fermentación**

Utilizada en la producción de combustibles líquidos como etanol. Este se produce a través de la fermentación de azúcares, almidones o materia celulósica. Esta tecnología se ha utilizado durante siglos para la producción de licores y, más recientemente, para generar sustitutos de combustibles fósiles para transporte; estos combustibles se pueden utilizar en forma pura o mezclados con otros, para transporte o para la propulsión de máquinas.

#### **1.2.4.3.3. Transesterificación**

Compuesto por ácidos grasos y ésteres alcalinos obtenidos de grasas animales, aceites vegetales o grasa mixtas recicladas, derivados orgánicamente, que se combinan con alcohol; etanol o metanol (obtenido de la destilación destructiva de la madera) y se alteran químicamente para formar ésteres grasos como el etil o metilo éster.

Estos pueden ser mezclados con diesel o usados directamente como combustibles en motores comunes. El biodiesel es utilizado, típicamente, como aditivo del diesel en proporción del 20%, dependiendo del costo del combustible base y de los beneficios esperados. Una ventaja es que reduce considerablemente las emisiones, el humo negro y el mal olor.

#### **1.2.4.3.4. Gasificación**

Producción de gas combustible de la fermentación de los desechos sólidos urbanos. Este es una mezcla de metano y dióxido de carbono; la fermentación de los desechos y la producción de gas es un proceso natural y común en los rellenos sanitarios; sin embargo, generalmente este gas no es aprovechado.

Además de producir energía, su explotación y utilización reduce la contaminación, el riesgo de explosiones en estos lugares y disminuye la cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

En la actualidad, la combustión directa es el proceso más aplicado para usos energéticos de la biomasa, especialmente en el área rural, los procesos más avanzados como la gasificación y la digestión anaeróbica han sido desarrollados como alternativas más eficientes, convenientes para facilitar el uso de la biomasa con equipos modernos.

La aplicación de estos no es común por los costos altos que conllevan, tanto en el proceso de producción como en los equipos necesarios para su uso, la complejidad para su aplicación necesita de capacitación para los procesos de producción, el uso y mantenimiento de los equipos.

Los procesos de conversión de biomasa fueron sintetizados de Energías Renovables, 2009, Manual de Biocombustibles, 2009 y Atlas de las agro energías y los biocombustibles en América Latina, 2007 (ver anexo 2).

### **1.2.5. Energía generada por biocombustibles**

A través de los diferentes procesos de conversión de biomasa en biocombustibles, esta es transformada generalmente en tres tipos de energía.

#### **1.2.5.1. Calor y vapor**

A través de la combustión de biomasa o biogás. El calor puede ser el producto principal para aplicaciones en calefacción y cocción, o ser un subproducto de la generación de electricidad en ciclos combinados de electricidad y vapor.

#### **1.2.5.2. Electricidad**

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

#### **1.2.5.3. Cogeneración (calor y electricidad)**

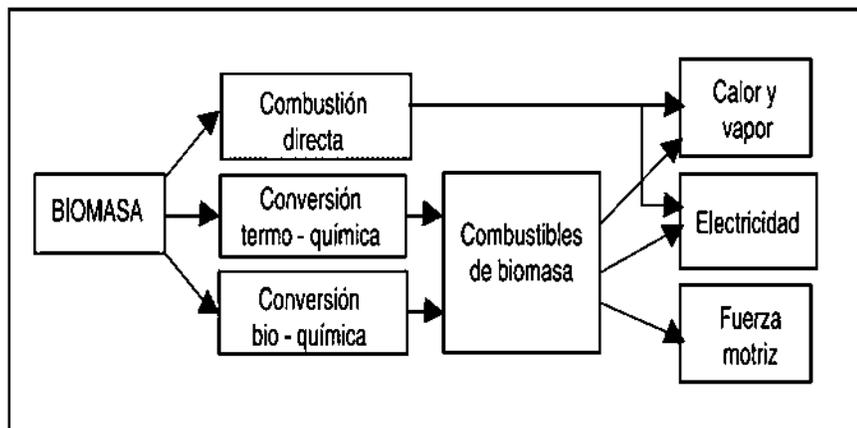
Se refiere a la producción simultánea de vapor y electricidad, aplicable en muchos procesos industriales que requieren las dos formas de energía.

En América Central este proceso es muy común en los ingenios de azúcar, que aprovechan los desechos del proceso, principalmente el bagazo de

caña disponible en grandes cantidades; en los últimos años ha existido la tendencia a mejorar el proceso para generar más electricidad y vender el excedente a la red eléctrica.

A continuación se presenta la gráfica número 4 que resume e ilustra los principales procesos de conversión de la biomasa en biocombustible y la transformación de estos en las tres principales fuentes energéticas.

Figura 4. **Procesos de conversión y transformación de biomasa**



Fuente: FOCER, septiembre 2002. P. 19.

### 1.2.6. Costos de los biocombustibles

A continuación se presenta en la figura 5, un resumen de los costos por producción de combustibles biomásicos.

Figura 5. **Costos de biocombustibles****Costos de  
biocombustibles**

**1. Económicos:** infraestructura, tecnología y equipo (para transporte, almacenamiento, producción y uso.

- Materia prima: necesidad de grandes extensiones de tierra para producción rentable.
- Transporte y almacenamiento: inversiones iniciales altas debido volúmenes grandes por baja densidad energética.
- Costos por producción: requerimiento de combustibles fósiles para maquinaria y equipos e insumos agroquímicos para garantizar cosechas, entre otros.

**2. Ambientales:** emisión de GEI en producción de materia prima y biocombustibles, cambio de uso de suelos con monocultivos que afectan el equilibrio ecológico de flora y fauna nativas, contaminación de recursos hídricos.

**3. Sociales:** competencia por recursos naturales (hídricos y edáficos) por plantaciones extensas migraciones por déficit habitacional, etc.

Fuente: elaboración propia.

### **1.2.6.1. Costos por materia prima**

Por su naturaleza, la materia prima biomásica tiene una baja densidad de energía, es decir, se requieren grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción neta de energía.

Este es uno de los factores por el que los costos de los biocombustibles se ven incrementados, y en consecuencia, con menor oportunidad de competir en el mercado energético con los combustibles de origen fósil.

La materia prima para la elaboración de los biocombustibles tiene costos y periodos de producción más baratos y más cortos que la materia prima necesaria para la producción de los combustibles fósiles.

La principal desventaja radica en la necesidad de grandes extensiones de tierra para su cultivo, para que el proceso de producción sea económicamente rentable y por competir en uso, de áreas cultivables con plantaciones alimentarias, textiles, medicinales, etc. (Sostenibilidad Energética en América Latina y el Caribe: Aporte de la Fuentes Renovables, CEPAL, 2003)

### **1.2.6.2. Costos por transporte y almacenamiento**

Debido a que la materia prima requerida para la elaboración de biocombustibles tiene un menor contenido energético respecto de los combustibles fósiles, se requiere de mayores volúmenes, equipo e instalaciones, para transporte y almacenamiento.

El volumen requerido por la materia prima determina el factor de escala del sistema (dimensiones) y los procesos auxiliares (previos y posteriores a la producción); estos requerimientos repercuten en costos económicos altos, limitando la competitividad económica con los combustibles fósiles. (Seminario Biocombustibles de Guatemala 2011, Dirección General de Hidrocarburos, MEM)

### **1.2.6.3. Costos por producción**

La producción de combustibles biomásicos requiere de grandes cantidades de energía, generalmente energía generada por combustibles fósiles, en forma de calor o energía eléctrica, para el funcionamiento de los equipos que constituyen la planta productora.

Son estas cantidades de energía necesarias para el proceso de producción las que incrementan los costos en forma directa por tratarse de equipos y tecnología nueva con poca eficiencia energética.

Esta dependencia de los combustibles fósiles para generar o producir combustibles biomásicos es irónica pues el aporte de gases efecto invernadero (GEI) durante el proceso de producción es alto y el costo ambiental (cambio climático) es irreversible. (DIGI. Implicaciones del Desarrollo de agrocombustibles en Guatemala, 2007)

### **1.2.6.4. Costos ambientales**

La producción de materia prima para la elaboración de biocombustibles, compite en el uso de suelos de áreas cultivables

poniendo en riesgo la seguridad alimentaria, industria textil y farmacéutica, que dependen del sector agropecuario.

La disponibilidad de recursos hídricos se ve comprometida por la necesidad de grandes cantidades del mismo para la elaboración de los biocombustibles; se estima que por cada galón de biodiesel producido se requiere de 10 galones de agua, la contaminación por uso de abonos y plaguicidas en las plantaciones para producción de materia prima, así como por subproductos generados durante la producción, que generalmente se descartan sin tratamientos previos a la disposición final.

El costo principal radica en la pérdida de flora y fauna nativa por la producción de monocultivos que generan la materia prima para la producción de biocombustibles.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generados por la industria de agroquímicos y combustibles fósiles empleados en procesos de producción de biocombustibles impactan en forma directa al medio ambiente contribuyendo con el aporte de gases de efecto invernadero (GEI) responsables del cambio climático. (Informe Ambiental del Estado, GEO Guatemala, 2009)

#### **1.2.6.5. Costos económicos**

Estos se encuentran determinados por la falta de infraestructura, tecnología y equipo que permita una producción, almacenamiento, distribución y uso de la materia prima y los biocombustibles de forma eficiente y efectiva, que permitan producción sustentable, económica y técnicamente factible.

Los biocombustibles líquidos o biocarburantes (etanol, metanol y biodiesel), tienen costos de producción más bajos, generalmente forman parte de una coproducción de productos agrícolas, el proceso de producción es eficiente, la tecnología y equipo a utilizar para su elaboración cuenta con más tiempo de desarrollo tecnológico y en consecuencia mayor eficiencia. (Implicaciones del Desarrollo de Agrocombustibles en Guatemala, 2007)

Los biocombustibles sólidos tienen los costos de producción más bajos en el mercado energético, a excepción de los procesos más elaborados como la densificación y carbonización que requieren de equipos y tecnologías más sofisticadas, y la mayor demanda a nivel regional, tanto a nivel urbano como rural (La Energía y las Metas del Milenio en Guatemala, Honduras y Nicaragua, 2008).

#### **1.2.6.6. Determinación de precios para los biocombustibles**

La metodología para la determinación de precios internacionales para los biocombustibles se basa principalmente en los siguientes costos:

- Para biocombustibles sólidos, se basan en disponibilidad de materia prima, poder energético, oferta y demanda local, factores socioculturales, aranceles, entre otros.
- Para biocombustibles líquidos, se basan en disponibilidad de materia prima, poder energético, oferta y demanda nacional e internacional, disponibilidad de equipos para su uso, aranceles, entre otros.

- Para biocombustibles gaseosos, se basan en disponibilidad de materia prima, poder energético, proceso de producción, infraestructura para distribución y almacenamiento, oferta y demanda, disponibilidad de equipos para su uso, factores socioculturales, aranceles, entre otros. (Energías renovables para el Desarrollo, 2003)

### **1.3. Impacto ambiental generado por biocombustibles**

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN, es la institución responsable de realizar evaluaciones, estudios e inspecciones periódicas sobre los impactos ambientales que las actividades económicas del país generan, con la finalidad de regularlas garantizando un desarrollo agrícola, industrial, comercial y económico sostenible.

En la actualidad el MARN no cuenta con fuente de datos estadísticos ni información específica sobre evaluación o inspección de proyectos de producción biomásica con fines energéticos, con el propósito de establecer y supervisar acciones que mitiguen los impactos al ambiente, para garantizar la conservación de los recursos naturales del país.

En Guatemala existen instituciones públicas y privadas que se dedican a la cuantificación de los recursos naturales, auditorías ambientales y acciones para mitigar los impactos ambientales que genera la actividad económica del país.

Entre las instituciones se encuentran el Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad Rafael Landívar (perfil ambiental), Universidad del Valle de Guatemala (Departamento de Desarrollo e investigación Ambiental), el Banco de Guatemala, el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y

organizaciones internacionales como el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Organización Latinoamericana de Desarrollo de Energía (OLADE).

La legislación sobre desarrollos energéticos sostenibles para energías renovables es mínimo y generalmente inoperante, motivo por el que este tipo de desarrollo carece de apoyo y garantías legales a nivel nacional.

Los biocombustibles tienen periodos de producción, para materia prima y elaboración de combustible, cortos (renovables) y continuos (sostenibles), respecto de su uso tienen la ventaja de contribuir con la disminución de emisiones atmosféricas contaminantes, específicamente dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, reduciendo los impactos ambientales originados por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), siempre que la combustión de estos se lleve a cabo en forma eficiente.

A pesar de las anteriores ventajas en la producción y uso de biocombustibles, estos generan diferentes impactos en el ambiente a nivel local y nacional por la producción de materia prima a través de monocultivos y la producción de los biocombustibles, restringiendo la viabilidad de los proyectos energéticos que los incluyen.

La biomasa se encuentra constituida, principalmente, por carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre y agua, dependiendo de la humedad relativa, cuando esta se quema, se efectúa una reacción química que combina el carbono con oxígeno del ambiente, formándose dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el hidrógeno con oxígeno para formar vapor de agua.

Cuando la combustión es completa y la biomasa se quema totalmente, todo el carbón se transforma en CO<sub>2</sub>. Considerando que los árboles y plantas cuando están en crecimiento capturan CO<sub>2</sub> de la atmósfera para realizar sus procesos de crecimiento y reproducción (fotosíntesis) al quemar la biomasa, en términos netos, no se está agregando CO<sub>2</sub> a la atmósfera. No obstante, cuando la combustión no es completa, se forman monóxido de carbono (CO), hidrocarburos, óxidos nitrogenados y otros materiales, que sí pueden generar impactos serios en la salud de los usuarios, además de contribuir a la generación de gases de efecto invernadero. (Manual de Biocombustibles, 2009 y Perfil Ambiental de Guatemala, 2008-2009.)

Las razones por las cuales la combustión de biomasa puede resultar incompleta son las siguientes:

- Cuando la entrada de aire en la cámara de combustión no es adecuada, no hay suficiente oxígeno disponible para transformar todo el carbono en CO<sub>2</sub>. Esto puede ser causado por el diseño inadecuado del equipo, la falta de ventilación o la sobrecarga con el combustible.
- Cuando la biomasa tiene alto porcentaje de humedad, la temperatura de combustión no es suficientemente elevada, como para completar las reacciones químicas necesarias para llevar a cabo una combustión completa.

Estas ocasionan costos sociales altos relacionados con problemas de salud, como: dolores de cabeza, enfermedades respiratorias, afecciones oculares, etc. Las más afectadas son las mujeres y los niños por estar expuestos a los gases de combustión incompleta durante varias horas al día en sus hogares.

Las emisiones contaminantes por producción de biocombustibles, siempre que la combustión de los mismos se lleve a cabo de forma completa, no son generadas por consumir estos como fuentes energéticas sino por el uso de combustibles derivados del petróleo, para el funcionamiento del equipo requerido para su producción, transporte y almacenamiento.( Biomasa Manual sobre energías renovables, 2002)

### **1.3.1. Impactos generados por producción de biocombustibles**

La Conferencia de Alto Nivel sobre la Seguridad Alimentaria Mundial “Los Desafíos del Cambio Climático y la Bioenergía” 2008, convocada por la FAO, convinieron en que es esencial evaluar detalladamente las perspectivas, riesgos y oportunidades que plantean los biocombustibles.

Entre los posibles riesgos ambientales por producción se estiman el deterioro de los recursos edáficos e hídricos inherentes y un incremento en los precios de los alimentos al comprometer su producción por la producción de materia prima para biocombustibles.

Los efectos que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tienen en el cambio climático, generan impactos ambientales que ocasionan la pérdida total y parcial, temporal o permanentes de los diferentes ecosistemas y los recursos naturales del país y que también repercuten en la pérdida de la producción alimentaria. (Manual de Biocombustibles, 2009).

Existe además la generación de subproductos durante la elaboración de biocombustibles, glicerina en la producción de biodiesel y las aguas mieles en

el caso de la producción del etanol que contaminan los diferentes recursos naturales debido a la ineficiente disposición final de los mismos.

El impacto ambiental que genera la producción de biocombustibles puede clasificarse a través de diferentes ámbitos entre ellos, por el impacto en los recursos naturales afectados. En la tabla I se presenta una matriz con el resumen de los impactos ambientales generados por la producción de biocombustibles en los recursos naturales comprometidos y las acciones de mitigación recomendadas.

Tabla I. **Impactos ambientales generados en producción de biocombustibles**

RECURSOS NATURALES	FUENTE	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDAS DE MITIGACION
<b>Sistema hídrico</b>	Ríos, arroyos, lagunas, lluvia, fuentes subterráneas	Moderado a alto con desarrollo sostenible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso controlado y sostenible</li> <li>• Tratamiento de aguas residuales</li> <li>• Restricción con agroquímicos</li> </ul>
<b>Sistema edáfico</b>	Áreas agrícolas, bosques naturales y cultivados	Moderado a alto con desarrollo sostenible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restricción de agroquímicos</li> <li>• Rotación en uso</li> <li>• Tratamientos orgánicos</li> </ul>
<b>Sistema atmosférico</b>	Microclimas, temperatura, humedad relativa	Moderado a alto con desarrollo sostenible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restricción de agroquímicos</li> <li>• Restricción uso de rosas</li> <li>• Control deforestación</li> </ul>
<b>Flora y fauna</b>	Flora y faunas nativas	Moderado a alto con desarrollo sostenible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respeto por ecosistemas naturales nativos</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

La ponderación de los impactos ambientales referidos en la matriz anterior, fueron establecidos a través del listado taxativo de proyectos, obras, industrias y actividades publicados en la página del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

La producción de biocombustibles se encuentra dentro de la categoría de Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura, División 01 Agricultura, Ganadería, Caza y Actividades de Servicio Conexas, y División 02 Silvicultura, Extracción de madera y actividades conexas, donde la ponderación dependerá de la extensión de áreas a cultivar y cantidad de ganado que genera materia prima ( estiércol).

#### **1.3.1.1. Impactos en recursos edáficos**

Son generados principalmente por el cambio en el uso de suelos, se considera que este tipo de impactos, además de transformar los ecosistemas (flora y fauna) al cambiar los cultivos tradicionales, deterioran los suelos por el uso excesivo de agroquímicos (abonos y pesticidas) que garantizan la calidad y cantidad de las producciones, provocan erosiones por el tipo de monocultivos que se emplean, contribuyen con la disminución de captación hídrica por lluvias debido a la eliminación de bosques naturales, por competir en espacio y en nutrientes con plantaciones para producir materia prima, entre otras.

#### **1.3.1.2. Impactos en los recursos hídricos**

Son ocasionados por contaminación con abonos y pesticidas (insumos químicos) utilizados en las plantaciones para garantizar la producción de materia prima y que modifican la flora y fauna regional, en especial los ecosistemas aledaños a los efluentes hídricos.

Influyen en la cantidad de agua necesaria para riego de plantaciones especialmente en verano, y para la elaboración de biocombustibles que compiten por recursos hídricos con las zonas agrícolas alimentarias, modificando el caudal ecológico de efluentes regionales que brindan abastecimiento a comunidades aledañas para usos domésticos y por la ineficiente disposición de los subproductos y residuos que la producción de estos generan, sin que exista una disposición final adecuada de los mismos.

#### **1.3.1.3. Impacto en recursos atmosféricos**

La reducción de bosques naturales para áreas de cultivos disminuyen las fuentes de captación hídrica generan tierras áridas, erosionables, provocando disminución del manto acuífero subterráneo y generando modificaciones en la temperatura y humedad relativa del lugar (microclima).

#### **1.3.1.4. Impacto social**

El cultivo de materia prima para la producción de biocombustibles requiere de grandes extensiones de tierra para que su producción sea económicamente rentable, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria local y nacional, por la competencia de áreas cultivables y recursos hídricos disponibles.

Es necesaria una socialización efectiva de los proyectos energéticos de biocombustibles en las comunidades rurales, para que su desarrollo no se vea afectado por los impactos sociales, entre ellos la migración por déficit habitacional debido a las grandes extensiones de tierras usadas para siembras.

### **1.3.2. Impactos generados por uso de biocombustibles**

El uso de los biocombustibles dentro del mercado energético como complemento de los combustibles fósiles, está, contemplado de forma gradual, debido a que el uso en forma pura, ocasiona deterioro en los equipos actuales (principalmente empaques) y el 80% de los equipos que actualmente se utilizan están diseñados para funcionar únicamente con combustibles derivados de petróleo.

La producción de este nuevo equipo para el uso de mezclas de combustibles conlleva a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) por parte de las plantas productoras de estos, que funcionan en la actualidad con combustibles fósiles.

La eficiencia en el uso de los biocombustibles tendrá una reducción significativa en la facturación por combustibles derivados del petróleo, en la reducción de gases efecto invernadero generados y permitirá mitigar los impactos ambientales como el cambio climático a largo plazo. (Atlas de las agroenergías y los biocombustibles en América Latina, 2007). El impacto ambiental generado por el uso eficiente de los biocombustibles es nulo, es decir que no existe deterioro ambiental atmosférico o déficit energético pues la energía utilizada como biocombustible es la misma que estuvo almacenada en forma de biomasa y solo se lleva a cabo un proceso de transformación de la misma.

## 2. PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL

A nivel mundial, el uso de biocombustibles tiene una creciente demanda especialmente en el continente europeo donde es obligatorio el uso de los mismos en el sector transporte y en el sector industrial se encuentra legislada la compra de bonos de carbono para las empresas que tienen emisiones de gases efecto invernadero y cuyas medidas de mitigación no son suficientes para reparar el efecto adverso.

A nivel continental, Brasil es el mayor productor de etanol, en la actualidad está legislado el uso de E10 (10% etanol y 90% gasolina) para el sector transporte y se considera una futura readecuación para el uso de E15, con la finalidad de disminuir su factura energética, respecto de combustibles derivados de petróleo, y los impactos ambientales generados por emisiones GEI.

En Colombia, la Federación Nacional de biocombustibles realizó el estudio “Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia” donde se determinó que el etanol reduce las emisiones de gases efecto invernadero en un 74%, respecto de las emisiones de las gasolinas convencionales.

En Estados Unidos se lleva a cabo la producción de biodiesel a partir de maíz, según la agencia para la Protección Ambiental (EPA), este tipo de biodiesel logra reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 50% respecto del diesel (National Biodiesel Board NBB, 2011)

A nivel regional, Nicaragua exportará 10.35 millones de litros de etanol a California, Estados Unidos, producidos por parte de la Empresa Nicaragua Sugar Estates Limited (NSEL) para la zafra 2011-2012.

El primer año fue 2007, con 16.8 millones, en 2009 produjo la cifra máxima de 54.6 millones y este año será de 10.35 millones (La Prensa, [www.laprensa.com.ni](http://www.laprensa.com.ni), 22/05/2012).

A nivel nacional Guatemala cuenta con una producción anual aproximada de 265, 000,000 litros de etanol y 1, 3092,000 galones de biodiesel según datos referidos por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.

La demanda de biocombustibles en el mercado energético mundial, genera incrementos en la producción de estos y en consecuencia, provoca disminución en los precios de los mismos para garantizar su competitividad.

## **2.1. Fuentes energéticas**

El desarrollo económico, social y ambiental de la sociedad tiene relación directa y proporcional con el desarrollo energético del país; en consecuencia, los costos y efectos negativos que este desarrollo energético genera, se reflejarán en costos para dichos ámbitos.

La población en las áreas rurales del país, (más del 51% de la población, según cifras publicadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en 2010), ha padecido los efectos de catástrofes naturales, pérdida de cosechas, viviendas y salud, como consecuencia de efectos de cambio climático generado por el uso indiscriminado de combustibles fósiles.

Guatemala cuenta con fuentes energéticas primarias y secundarias diversas que permiten abastecer la demanda energética del país tanto del área urbana como del área rural, sin necesidad depender exclusivamente de los combustibles de origen fósil.

La riqueza y diversidad arbórea nacional permite que un alto porcentaje, más del 51% de la población en el área rural, utilice leña como combustible principal para abastecer sus necesidades energéticas básicas, además del alto potencial hídrico, geotérmico, eólico y 4 yacimientos de petróleo para generación energética.

### **2.1.1. Fuentes energéticas primarias en Guatemala**

Las fuentes de energía primaria, renovable y no renovable, que se contabilizan en la matriz energética de Guatemala son; petróleo, carbón mineral, hidroenergía, geoenergía, leña y bagazo de caña, que a excepción del carbón mineral, son producidas en Guatemala.

La tabla II, presenta un resumen del balance energético de las fuentes de energía primaria renovable y no renovable, medidas en miles de barriles equivalentes de petróleo (KBEP) publicadas en el Informe balance energético 2010, por la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas.

Tabla II. **Balance energético de energías primarias 2010, (KBEP)**

ACTIVIDADES	PETR	CRBN	HYDR	GEOE	LEÑA	BCAÑ	Total Primarias
Producción	4,331.9	0.00	2,981.10	1,679.10	37,253.01	8,019.61	<b>54,264.72</b>
Importación	0.00	2,878.7	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>2,878.72</b>
Exportación	3,692.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>3,692.95</b>
Variación Inventario	-144.8	-400.2	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>-545.03</b>
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>494.12</b>	<b>2,478.5</b>	<b>2,981.10</b>	<b>1,679.10</b>	<b>37,253.01</b>	<b>8,019.61</b>	<b>52,905.47</b>
Refinerías	-494.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>-494.12</b>
Centrales Eléctricas	0.00	-2,478	2,963.79	1,679.1	0.00	-5,613.7	<b>-12,735.14</b>
Auto productores	0.00	0.00	-17.31	0.00	0.00	2,405.88	<b>-2,423.20</b>
<b>TOTAL TRANSFORMACION</b>	<b>-494.12</b>	<b>-2,478</b>	<b>2,981.10</b>	<b>1,679.10</b>	<b>0.00</b>	<b>8,019.61</b>	<b>-15,652.45</b>
Residencial	0.00	0.00	0.00	0.00	36,135.42	0.00	<b>36,135.42</b>
Comercio y Servicios	0.00	0.00	0.00	0.00	1,117.59	0.00	<b>1,117.59</b>
<b>CONSUMO ENERGETICO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>37,253.01</b>	<b>0.00</b>	<b>37,253.01</b>
NO ENERGETICO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
<b>CONSUMO FINAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>37,253.01</b>	<b>0.00</b>	<b>37,253.01</b>

Fuente: Informe Balance Energético 2010, DGE, Ministerio de Energía y Minas.

En este se refleja la contabilización del flujo energético en las diferentes etapas de la cadena energética, como producción, exportación, importación, transformación y consumo, tomando como referencia el ámbito nacional para el periodo 2010. La producción total de energías primarias para el año 2010 fue de 54,264.72 KBEP, de los que 4,331.90 KBEP son aporte de fuentes energéticas primarias no renovables, específicamente petróleo correspondiente a un 8% del total de las energías primarias.

La producción nacional de energías primarias renovables fue de 49,932.82 KBEP correspondiente a hidroenergía, geoenergía, leña y bagazo de caña, que representan un 92% en la producción total de las fuentes energéticas primarias.

La leña 37,253.01 KBEP representa un 70.4% del total de energías primarias renovables ofertadas y se encuentran divididos en 36,135.42 KBEP para uso residencial, principalmente para cocción de alimentos; de acuerdo con cifras publicadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en 2006, el 60%

de los hogares urbanos y rurales, utilizaba leña para consumo doméstico en forma parcial, combinada con gas propano o kerosén, o en forma total, utilizando exclusivamente leña.

El resto 1,117.59 KBEP de leña son utilizados en el sector comercio y servicios, panaderías, tortillerías, restaurantes, caleras, ladrilleras, artesanías, secado de granos, etc., especialmente en el área rural.

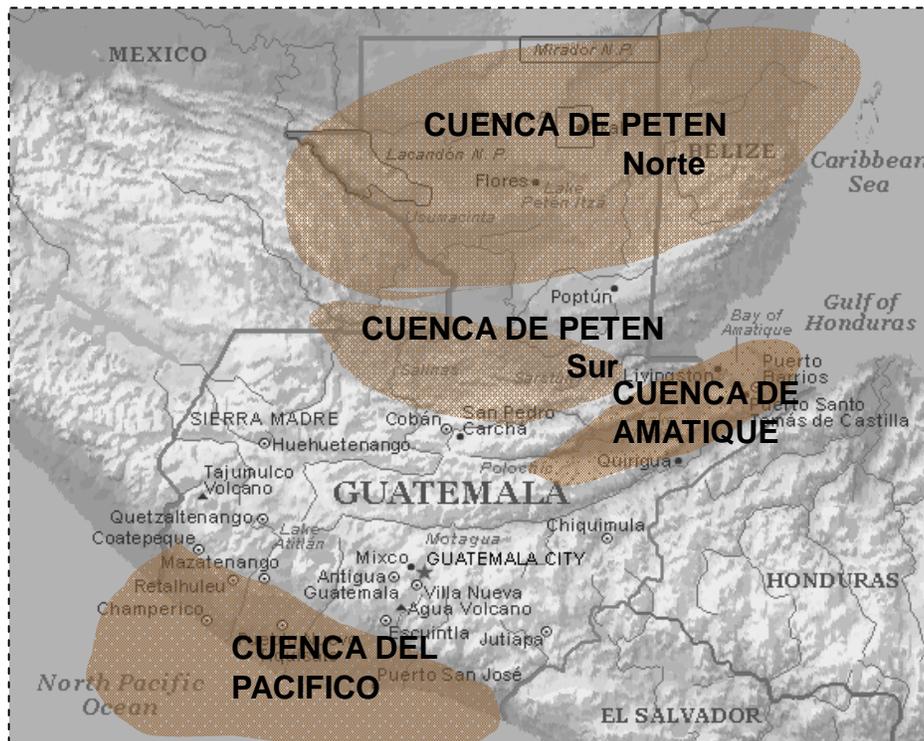
El volumen total de leña refleja la producción de esta a través de manejo forestal, con licencia y permisos exentos de licencia, autorizado y supervisado por el Instituto Nacional de Bosques, sin contar la leña que se produce de las limpiezas de plantaciones frutales (café, cardamomo, arroz, etc.), bosques naturales con fines recreativos, plantaciones energéticas, residuos de la industria maderera, etc. que representan un alto porcentaje en el consumo de leña en el sector residencial.

El resto de fuentes de energías primarias renovables son utilizadas para generación de energía eléctrica, a través de las hidroeléctricas, geotérmicas y el bagazo de caña, como refleja la tabla II, Balance Energético de energías primarias, en el total de transformaciones de energía 15,652.45 KBEP.

Respecto de la producción de petróleo, Guatemala cuenta con reservas probadas, equivalentes a 83 millones de barriles; reservas posibles, equivalentes a 750 millones de barriles; reservas posibles de gas licuado de petróleo, equivalentes a 330 kilogramos por pie cúbico al día; de acuerdo con datos publicados en el Informe de Biocombustibles de Guatemala realizado por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas. La figura 6 ilustra el mapa con áreas en exploración y explotación de crudo en el país, indicando la ubicación y designación correspondiente, cuenca Petén

Norte, cuenca Petén Sur, cuenca de Amatique y cuenca del Pacifico, realizado por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.

Figura 6. **Áreas de exploración y explotación de petróleo en Guatemala.**



Fuente: Biocombustibles Guatemala, Ministerio de Energía y Minas.

### 2.1.2. Fuentes energéticas secundarias en Guatemala

Guatemala tiene una diversidad de fuentes energéticas secundarias renovables y no renovables, dentro de las no renovables; se encuentran: la electricidad, productos derivados del petróleo como el gas licuado de petróleo

(GLP), las gasolinas (GAS), el kerosén (KER), el diesel oíl (DOIL), el *fuel oíl* (FOIL), *pet-coque* (COQE) y productos no energéticos (NOEN).

En la tabla III se presenta un resumen del balance energético de energías secundarias en Guatemala, medidas en miles de barriles equivalentes de petróleo; la contabilización del flujo energético se realizó en las diferentes etapas de la cadena energética, tomando como referencia para el análisis el ámbito nacional, elaborado por la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, en el Informe de Balance Energético 2010.

Tabla III. **Balance energético de energías secundarias 2010, (KBEP)**

ACTIVIDADES	ELEC	GLP	GAS	KER	DOIL	FOIL	COQE	NOEN	Total
Importación	224.5	2,666.9	7,653.1	560.9	8,947.2	4,056.1	625.4	78.4	<b>24,812.4</b>
Exportación	86.1	760.0	235.1	0.0	216.0	64.2	0.0	138.5	<b>1,500.0</b>
Variación Inventario	0.0	-24.2	-126.5	12.5	453.4	-134.0	340.5	18.0	<b>539.6</b>
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>138.4</b>	<b>1,882.7</b>	<b>7,291.5</b>	<b>573.4</b>	<b>9,184.5</b>	<b>3,857.8</b>	<b>965.9</b>	<b>-42.2</b>	<b>23,852.0</b>
Refinerías	0.0	0.0	0.4	3.1	167.9	0.0	0.00	297.8	<b>469.2</b>
Centrales eléctricas	5,055.1	0.0	0.0	0.0	-11.0	-2,922.5	0.00	0.0	<b>2,121.6</b>
Auto productores	455.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-145.0	0.00	0.0	<b>309.9</b>
<b>TOTAL TRANSFORMACIÓN</b>	<b>5,510.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.4</b>	<b>3.1</b>	<b>157.0</b>	<b>-3,067.6</b>	<b>0.00</b>	<b>297.8</b>	<b>2,900.7</b>
Consumo propio	236.1	0.0	0.4	3.1	167.9	0.0	0.0	0.0	<b>407.5</b>
Pérdidas	735.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>735.4</b>
Transporte	0.0	18.8	7,109.5	275.2	8,439.6	0.0	0.0	0.0	<b>15,843.2</b>
Industria	1,892.2	376.5	145.6	34.4	733.9	790.3	965.9	0.0	<b>4,938.8</b>
Residencial	1,530.7	1,449.7	0.0	252.3	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>3,232.7</b>
Comercio y servicios	1,254.0	37.7	36.4	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>1,339.5</b>
<b>CONSUMO ENERGÉTICO</b>	<b>5,648.5</b>	<b>1,882.7</b>	<b>7,291.9</b>	<b>576.5</b>	<b>9,341.5</b>	<b>790.3</b>	<b>965.9</b>	<b>0.0</b>	<b>26,497.2</b>
NO ENERGÉTICO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	255.6	<b>255.6</b>
<b>CONSUMO FINAL</b>	<b>5,648.5</b>	<b>1,882.7</b>	<b>7,291.9</b>	<b>576.5</b>	<b>9,341.5</b>	<b>790.3</b>	<b>965.9</b>	<b>255.6</b>	<b>26,752.8</b>

Fuente: Informe de Balance Energético 2010, DGE, Ministerio de Energía y Minas.

En la tabla III se observa que las energías secundarias no renovables (petróleo y sus derivados) utilizadas en el país son importadas en su totalidad

24,812.4 KBEP, principal motivo por el que el precio de los combustibles depende directamente del mercado internacional.

Entre los factores que determinan el incremento en los precios de petróleo y sus derivados además del mercado energético internacional se encuentran:

- La disminución de los volúmenes de producción, muchos de los yacimientos de crudo con grados de maduración óptimos (altos valores energéticos) están disminuyendo.
- La situación geopolítica, guerras civiles, intervenciones extranjeras, entre otras en los países dueños de pozos petroleros o refinerías, factores climáticos, huracanes o tormentas, catástrofes ambientales, hundimiento o derrames de buques transportadores además de los condicionamientos y regulaciones de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP).
- El volumen total de importación de las fuentes energéticas secundarias depende del consumo energético nacional de las mismas (26,752.8 KBEP), es decir, de las demandas energéticas del sector transporte (59.79%), del sector industrial (18.63%) y finalmente del sector residencial (12.20%), con la finalidad de satisfacer la demanda energética nacional.

El Informe de Balance Energético 2010 para energías secundarias, no incluye, producción, oferta, demanda, transformación, importación o exportación de las energías secundarias renovables, por no contar con información estadística relacionada con el tema.

El Ministerio de Energía y Minas a través del Vice ministerio de Desarrollo Sostenible, aún pendiente de iniciar funciones, es responsable de cuantificar, supervisar, e incentivar el desarrollo de energías renovables, así como su incorporación en la matriz energética nacional; lamentablemente aún se encuentra pendiente de activación.

### **2.1.3. Consumo energético por producto energético generado**

El consumo total de energía en el país para el año 2010, fue de 64,005.79 KBEP, distribuidos de la siguiente forma: consumo de energías primarias 37,253.01KBEP o 58.2% y consumo de energías secundarias 26,752.77 KBEP o 41.8%.

El Ministerio de Energía y Minas realizó un registro del consumo nacional de las fuentes energéticas secundarias no renovables, petróleo y sus productos derivados, para los años 2010 y 2011, medido en miles de barriles de petróleo, a través del Departamento de Análisis Económico de la Dirección General de Hidrocarburos, resumido en la tabla IV.

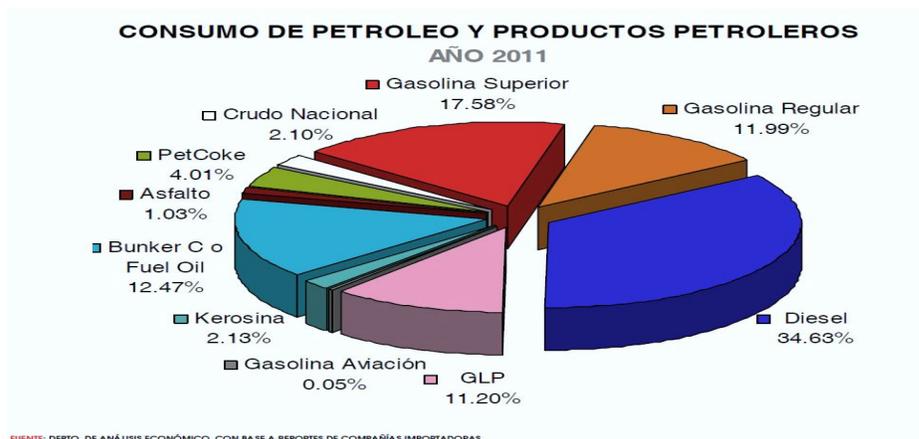
Tabla IV. **Consumo de petróleo y productos petroleros en Guatemala, 2010- 2011**

CONCEPTO/ AÑO	2010 (KB)	2011 (KB)	VARIACIÓN	
			ABSOLUTA	RELATIVA
Gasolina superior	4,924,60	4,726.78	-197,81	-4,02
Gasolina regular	3,242,09	3,222.41	-19,68	-0,61
<b>TOTAL GASOLINAS</b>	<b>8,166,69</b>	<b>7,949.20</b>	<b>-217,49</b>	<b>-2,66</b>
Diesel	9,250,20	9,309.59	59,40	0,64
GLP	2,809,56	3,010.21	200,66	7,14
Gasolina aviación	14,08	14.20	0,13	0,89
Kerosín	606,58	573.41	-33,18	-5,47
Bunker C o fuel oil	3,610,51	4,106.88	496.37	13,75
Asfalto	257,38	276.13	18,76	7,29
<i>PetCoke</i>	965,93	1,077.14	111,21	11,51
<b>TOTAL DERIVADOS</b>	<b>25 680,92</b>	<b>26 316,77</b>	<b>635,85</b>	<b>2,48</b>
Crudo nacional	485,79	563.31	77,52	15,96
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>26 166,71</b>	<b>26,880.08</b>	<b>713,37</b>	<b>2,73</b>

Fuente: Departamento de Análisis Económico, DGH, Ministerio de Energía y Minas.

El consumo energético para productos derivados de petróleo se incrementó en 635.85 KBEP, del año 2010 al año 2011; mientras que el consumo de crudo nacional reflejó un incremento de 77.52 KBEP en el mismo periodo de tiempo; finalmente el consumo energético total de petróleo y sus derivados se incrementó en un 2.73% respecto del consumo del 2010. Se presentan en forma gráfica los porcentajes de combustibles derivados del petróleo consumido en el país por tipo de energético para el año 2011, realizados por el Departamento de Análisis Económico de la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, con base en reportes de compañías importadoras publicados en el informe Biocombustibles de Guatemala.

Figura 7. **Consumo de petróleo por producto energético generado**



Fuente: Departamento de Análisis Económico, DGH, Ministerio de Energía y Minas.

La figura 7 ilustra que el combustible con mayor demanda nacional es el diesel 9 309.59 KBEP o 34.63% del consumo total; además de su uso industrial en plantas generadoras de energía eléctrica, existe creciente demanda en el sector transporte donde la mayor parte de vehículos de transporte pesado utiliza este tipo de combustible, las gasolinas con 7 949.9293 KBEP o 29.6% del consumo total, utilizadas principalmente para el sector transporte.

Finalmente el bunker con un consumo de 4,106.88KBEP o 12.4% del consumo energético de petróleo y sus derivados a nivel nacional.

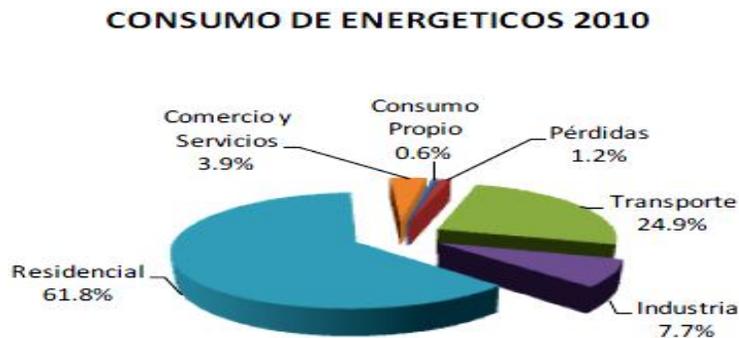
#### **2.1.4. Consumo energético por sector**

El consumo energético de fuentes primarias y secundarias, por los diferentes sectores económicos, refleja el crecimiento de estos y su incidencia en la economía nacional.

Estos datos permiten realizar proyecciones de demanda de fuentes energéticas a corto y mediano plazo y establecer parámetros para el fortalecimiento y diseño de estrategias para ofertar las fuentes energéticas en el mercado nacional.

Los porcentajes de consumos energéticos a nivel nacional por sector, se ilustran en la figura 8, publicada en el Informe de Balance Energético 2010, realizado por la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, también utilizada como punto referente en la publicación Biocombustibles de Guatemala realizada por la Dirección General de Hidrocarburos del mismo Ministerio.

Figura 8. Consumo energético por sector 2010



Fuente: Ministerio de Energía y Minas Informe del Balance Energético 2010, DGE.

En Guatemala, el 61.8% del consumo energético corresponde al sector residencial constituido principalmente por el consumo de energía eléctrica (tabla III) y el consumo de leña (tabla II) para actividades domésticas.

El sector transporte ocupa el segundo lugar en consumo energético con el 24.9% de fuentes energéticas secundarias, derivados de petróleo, principalmente por gasolinas y diesel y finalmente el sector industrial con el 7.7% del consumo energético nacional.

## **2.2. Fuentes energéticas biomásicas**

Los estudios realizados por Organización Latinoamericana de Energía OLADE, refieren que los países latinoamericanos tienen potencial de generación energética a partir de una matriz con componentes de energías renovables primarias y secundarias, suficientes para abastecer sus demandas energéticas.

La oferta de energías renovables en Guatemala es grande y diversa 52,905.47 KBEP; el uso eficiente y sostenible de los biocombustibles, garantiza una disminución de la crisis energética ocasionada por los costos que el uso indiscriminado e ineficiente de combustibles fósiles genera.

En la actualidad, la producción y uso de los combustibles biomásicos está condicionada a la disponibilidad de la materia prima y biocombustibles, la facilidad de distribución y almacenamiento, los equipos y tecnología para su producción y uso, y por los precios de estos en el mercado energético.

El uso de los biocombustibles en el país se encuentra determinado por sus características físicas que finalmente determinan el equipo a utilizar para su consumo, dividiéndolos de la siguiente forma:

### **2.2.1. Biocombustibles sólidos**

Obtenidos de la producción sustentable de leña a través de plantaciones energéticas residuos forestales por podas, raleos o mantenimiento de plantaciones y bosques, cascarillas de arroz y café, bagazo de caña, residuos de la industria maderera, etc.

Se utilizan para la generación de calor en calderas, para generación de vapor con propósitos distintos; generación de calor o de electricidad, para la cocción de alimentos en el sector residencial y en el sector servicios; panaderías, tortillerías restaurantes, en el sector industrial; secado de granos y deshidrataciones, para procesos artesanales de caleras, salinas, etc.

La Organización Latinoamericana de Energía OLADE y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, en colaboración con los Estados Miembros de Naciones Unidas, entre otras, han realizado proyectos de investigación como: Proyecto Leña y Propuesta de Política Pública para el Aprovechamiento Sostenible y Eficiente de la Leña en Guatemala, respectivamente, con la finalidad de determinar el uso de leña a nivel nacional.

El consumo de energía en los países centroamericanos se caracteriza por una alta participación de la biomasa, en su mayor parte leña; 35% de abastecimiento energético en el área rural es adquirido a través de residuos agroforestales (rastros), mientras que el Ministerio de Energía y Minas publicó en el Informe de Balance Energético 2010, que el consumo energético de leña para Guatemala, representa el 70% del total de las fuentes energéticas primarias en el país (tabla II).

La leña es utilizada en los hogares principalmente para cocción de alimentos y calentamiento de la vivienda. Se estima que cerca de un 51% de la población centroamericana (19 millones de habitantes, alrededor del 50% de la población) continúa dependiendo de la leña, para realizar sus actividades domésticas. Tres países centroamericanos, Guatemala, Honduras y Nicaragua, reportan la mayor demanda de leña (Propuesta de Política Pública para el Aprovechamiento Sostenible y Eficiente de la Leña en Guatemala 2011).

La demanda de leña en las áreas rurales se debe a que son las regiones más pobres del país, es decir que carecen de poder adquisitivo para comprar energéticos convencionales (de origen fósil) de mayor eficiencia energética y los equipos adecuados para su uso (estufas, hornos, contenedores o cilindros para su almacenamiento) y por la falta de infraestructura vial que brinde acceso y permita un abastecimiento continuo de los mismos.

Generalmente, la adquisición de la leña como residuo forestal, es gratuita especialmente en temporadas de limpias, de fácil recolección y almacenamiento, porque no necesita contenedores especiales ni tiene un periodo de degradación corto, además no necesita de equipos específicos para su uso.

### **2.2.2. Biocombustibles líquidos**

En la producción de biocombustibles es la industria con mayor desarrollo tecnológico del país en la actualidad, por la demanda en el sector transporte e industrial como complemento de los combustibles fósiles.

Se encuentran constituidos por el etanol, elaborado a través de azúcares (caña, remolacha, melaza y frutas), almidones (maíz, yuca y papa) o material celulósico (bagazo de caña, madera y pulpa de papel), el metanol elaborado a través de destilación de madera y el biodiesel elaborado a través de aceites vegetales, grasas animales, vírgenes o recicladas, mixtas o puras.

El mayor porcentaje de la producción de etanol, 80%, en 2009 fue exportado a; Centroamérica 2.25%, Norteamérica 22.26%, diferentes destinos de la Unión Europea 75.49% y a Suramérica 0.000139%; cifras referidas por Asociación de Gremial de Exportadores (AGEXPORT) especialmente para el sector transporte e industrial, un pequeño porcentaje es utilizado en la industria nacional de bebidas, sector farmacéutico y cosmético, y es obtenido principalmente de la caña de azúcar (Asociación de Azucareros de Guatemala, ASAZGUA).

Los destinos específicos del etanol en porcentajes son: del 76% exportado a Europa; 42% a Holanda, 30% a Italia, 4% a España, 18% a Suiza y 6% a Alemania. El 22% exportado a Norteamérica; 99.9% a México y 0.00002% a Estados Unidos. Del 2% exportado a Centroamérica, 47% a El Salvador y 53% a Nicaragua, Mientras que a Suramérica el 100% para Colombia.

La producción nacional de biodiesel, de acuerdo con publicaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos MAGA, el Ministerio de Energía y Minas MEM a través de la Dirección General de Hidrocarburos aún no genera volúmenes de producción suficientes para satisfacer la demanda de consumo a nivel nacional, tanto para el sector transporte como para el sector industrial.

### **2.2.3. Biocombustibles gaseosos**

Los biocombustibles en estado gaseoso se encuentran constituidos por el biogás procedente de residuos orgánicos, el gas pobre obtenido por destilación destructiva de madera y los gases de incineración generados por residuos orgánicos e inorgánicos.

En la actualidad no cuentan con un volumen de producción que les permita la competitividad con los combustibles fósiles homólogos (gas natural y gas licuado de petróleo), para abastecer la demanda energética nacional.

El volumen, poder energético, densidad, y demás características fisicoquímicas de los biocombustibles gaseosos dependen de la materia prima que los genera, generalmente diversa e irregular; y los volúmenes disponibles de esta, son los que finalmente determinan el costos de los mismos.

En el país actualmente la generación de estos biocombustibles se realiza en pequeñas escalas, principalmente en fincas agropecuarias y comunidades del área rural para autoconsumo, los costos para equipos, instalación, almacenamiento y traslado, no permiten su competitividad en el mercado energético actual para producciones a gran escala.

Otro de los inconvenientes para la incorporación de los biocombustibles gaseosos en el mercado energético nacional es la falta de capacitación de los usuarios tanto para el proceso de producción, como para el manejo y mantenimiento de los equipos necesarios para su uso.

Los usos más relevantes, para los biocombustibles, son la generación de calor y vapor y como complementos o sustitutos de los combustibles fósiles en el sector residencial, transporte y el sector industrial.

El uso de los biocombustibles se encuentra limitado en la actualidad por la falta de inversión en desarrollo tecnológico para la producción, transporte y almacenamiento, equipo adecuado para el uso de los biocombustibles tanto sólidos, líquidos y gaseosos, y la capacitación mínima necesaria para los productores y usuarios finales.

### **2.3. Oferta y demanda de fuentes energéticas biomásicas**

El constante incremento en los precios del petróleo, la disminución del número de yacimientos, los conflictos geopolíticos que la extracción y procesamiento de estos presentan y que más del 80% de infraestructura actual utiliza algún derivado de petróleo para su funcionamiento, ha generado una crisis energética en la actualidad, especialmente en los países centroamericanos según publicaciones del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, en su Informe Energético Anual 2010.

Estas crisis energéticas incentivan la inversión y desarrollo de nuevas tecnologías que permitan la exploración y explotación eficiente y efectiva de fuentes energéticas renovables de fácil y rápida adquisición, con producción sostenible, con la finalidad de abastecer la demanda energética, promoviendo nuevas fuentes de abastecimiento, generando nuevas industrias y replanteando la distribución en la matriz energética nacional.

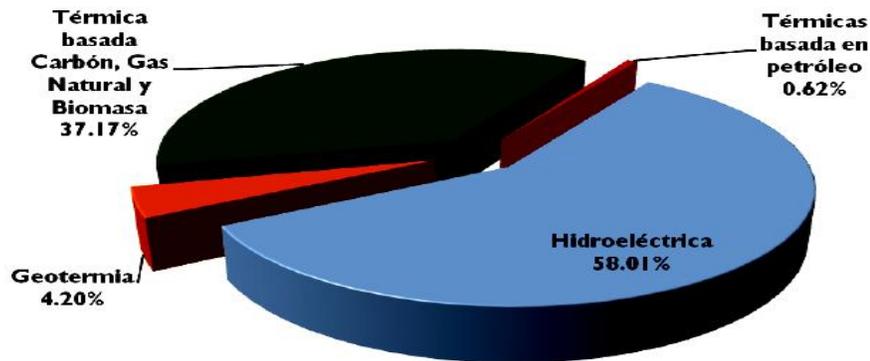
Estas energías renovables son fuentes alternativas, complementarias y no sustitutas de los combustibles fósiles; la Unión Europea al igual que los Estados Unidos, pretende disminuir su consumo de petróleo entre un 10% a un 20% realizando mezclas de combustibles fósiles (derivados de petróleo) con agrocombustibles (derivados de biomasa), refiere la Agencia Internacional de Energía (AIE), boletín informativo 2010.

Guatemala cuenta con potencial para generar un alto porcentaje de energía eléctrica requerida en el país, a través de energías renovables, disminuyendo costos en importación de combustibles fósiles, así como impactos ambientales que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ocasionan por el uso indiscriminado de estos.

La demanda energética en el país, tanto de fuentes primarias como secundarias, supera la oferta de las mismas, generando un déficit energético, especialmente en las áreas rurales del país donde la falta de infraestructura vial y el poco poder adquisitivo para combustibles convencionales no permiten un desarrollo económico y social.

El Ministerio de Energía y Minas, en la Política Energética 2010, promueve la participación de energías renovables (biomasa, geotérmica e hidroeléctricas) dentro de la matriz energética para generación de energía eléctrica, rubro de mayor demanda 5,648.5 KBEP (cuadro No.2) a nivel nacional, a través de una proyección realizada para el año 2022 en Guatemala, ilustrada en la figura 5, donde se presenta en porcentajes, la participación de energías renovables dentro de la matriz energética proyectada para el año 2022.

Figura 9. **Proyección para energías renovables en matriz energética 2022**



**Ilustración 7. Matriz Energética Objetivo para 2022**

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, Política Energética 2010.

La proyección evidencia el alto potencial nacional para generación a través de energías renovables, solo en el sector eléctrico, con generación energética a través de hidroenergía (58.01%) y energía biomásica (37.17%), específicamente carbón vegetal, gas natural (metano) y combustibles biomásicos (leña, carbón, bagazo de caña, etanol y biodiesel).

### **2.3.1. Oferta y demanda de biogás**

Respecto de la oferta de biogás en Guatemala, no existe ninguna estimación cuantificable real sobre volúmenes de producción registrados por parte de ninguna institución privada o gubernamental, para abastecer la demanda nacional.

En la actualidad se tiene conocimiento de tres proyectos de producción de biogás en Guatemala registrados en la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas;

- La destilería servicios manufactureros produce biogás a partir de vinaza, un subproducto de la producción de etanol, no se reporta su capacidad de producción y su uso es para autoconsumo.
- En el vertedero de la zona 3, la empresa INBIO, S.A., invertirá aproximadamente cinco millones de dólares (\$. 5 000,000.00) en los primeros dos años produciendo de 2 a 4 MW de generación eléctrica a partir de biogás.
- En el relleno Las Periqueras, AMSA desea realizar un proyecto de biogás para producir aproximadamente 1 MW de generación eléctrica.

Se estima que la mayor producción y uso en la actualidad se realiza principalmente en granjas agropecuarias privadas o experimentales, dirigidas principalmente por las universidades del país, dedicadas a la crianza de ganado bobino, vacuno, porcino o aviar, para autoconsumo.

En el área rural se han desarrollado numerosos proyectos para generación de biogás a través de biodigestores (digestión anaerobia) donde la principal materia prima son los desechos domésticos orgánicos; lamentablemente la capacitación para el uso y mantenimiento de los equipos y sistemas de transporte no han sido suficientes ni oportunos, motivo por el que dejan de ser sustentables y poco atractivos, económica y energéticamente, para los usuarios.

La producción de gas natural (metano) tiene demanda además para uso en motores de combustión interna, para generación eléctrica, para calefacción y acondicionamiento, en el sector doméstico para cocción de alimentos y para consumo en vehículos modificados (carros de carreras).

### **2.3.2. Oferta y demanda de carbón**

El carbón vegetal en Guatemala no tiene registros de producción debido a que la mayor producción de este se realiza de forma artesanal en las áreas rurales, en hornos de tierra o mampostería y la materia prima para su elaboración es contabilizada como especies agroforestales con fines de leña.

El Concejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP y el Instituto Nacional de Bosques INAB, autorizan los volúmenes de madera que se utilizan para la producción de carbón, sin embargo la cantidad de este es poco significativa, comparada con la que se autoriza para su uso como leña motivo por el que no cuentan con registros de volúmenes de producción. (Ing. Wilfredo Villagrán SIFGUA, INAB)

La demanda nacional de carbón se encuentra principalmente en el sector doméstico; para cocción de alimentos, y el sector de servicios (restaurantes, deshidratación de productos agrícolas, etc.) tanto del área rural como de la urbana, por la facilidad de adquisición, almacenamiento, uso y manejo.

La Superintendencia de Administración Tributaria SAT reportó que en 2011, Guatemala exportó Q. 2 085 000,00 de carbón y Q 579 000,00 en importaciones del mismo, sin especificar volúmenes, porcentajes, o destinos.

### 2.3.3. Oferta y demanda de leña

La producción nacional de leña en Guatemala se realiza a través de 433 plantaciones energéticas y 7,306 autorizaciones registradas en el Instituto Nacional de Bosques, que producen 187,744.98 m<sup>3</sup> con licencia y 649,750.80 m<sup>3</sup> exentos de licencia, totalizando 837,495.78 m<sup>3</sup> de leña para el año 2011. (Ver anexo 5, producción de leña)

Para calcular la demanda nacional de leña, la metodología para determinar los volúmenes anuales consumidos por el sector residencial, se ha basado en dos aspectos: el consumo promedio anual por familia a nivel nacional y el número de familias.

Las estimaciones se basan en un consumo anual per cápita en 1.8 m<sup>3</sup> de leña; esto representa un consumo familiar aproximado de 8.46 m<sup>3</sup> al año para familias urbanas y 9.9 m<sup>3</sup> para familias rurales (Informe Final, Encuesta Nacional de Leña, CEPAL, MEM).

El modelo para la estimación es:

$C(\text{año}) = (NFU \times 4.7 \times 1.8) + (NFR \times 5.5 \times 1.8)$ , donde:

C = Consumo anual

NFU = Número de familias urbanas

NFR = Número de familias rurales

4.7 = Estimado de personas por hogar en el ámbito urbano

5.5 = Estimado de personas por hogar en el ámbito rural

1.8 = Estimado de consumo per cápita en metros cúbicos

El volumen en metros cúbicos luego es trasladado a toneladas métricas, asumiendo densidades medias de madera de 0.60 (Tn/m<sup>3</sup>) toneladas por metro cúbico; luego las toneladas de leña se convierten en toneladas equivalentes de petróleo (TEP) con un factor de conversión de 0.184; posteriormente, las toneladas a barriles de petróleo.

El Instituto Nacional de Bosques realizó el estudio “Los bosques energéticos en Guatemala y el uso de leña” en 2008 en el que se determinó que el consumo de leña en los hogares guatemaltecos asciende a 19, 696, 056 tareas de leña al año, una tarea son 0.882m<sup>3</sup>, a un precio nacional promedio de Q.206.00 por tarea (ver anexo 5) es decir, un total de Q. 4, 057, 387,536.00 anual, por consumo de leña a nivel nacional.

El consumo en los sectores industria y agricultura no se contabilizan en el balance energético, porque no existe una metodología para su estimación; sin embargo la Dirección Nacional de Empresas de Guatemala y sus Locales (DINEL) reportó consumos mayores a los 3 millones de metros cúbicos para 2007.

Estudios recientes sobre cobertura forestal y plantaciones forestales a nivel departamental, establecen que los departamentos con mayor cobertura forestal son: el Petén 61%; Totonicapán 52% y El Quiché 47%; y que los departamentos con menor cobertura son Escuintla 4.25%; Retalhuleu 4.6% y Suchitepéquez 5.07% (Instituto Nacional de Bosques, INAB).

Los departamentos con mayor porcentaje de familias que consumen leña como combustible para cocinar, también coinciden con los departamentos con coberturas forestales altas, tal es el caso de Quiché, Huehuetenango, Alta y Baja Verapaz.

La producción de leña es parte del manejo forestal nacional, tanto para áreas protegidas, a cargo del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) que no se incluyen en la cuantificación de producción de leña, porque no cuentan con información actualizada, como para las áreas no protegidas a cargo del Instituto Nacional de Bosques INAB.

Estos volúmenes de producción se llevan a cabo en forma sostenibles es decir, administrados en forma permanente, con la finalidad de alcanzar un flujo continuo de bienes y servicios deseados del bosque, sin una reducción indebida en sus valores inherentes ni en su productividad futura y sin efectos indebidos en el ambiente físico y social (Organización Internacional de Maderas Tropicales, OIMT).

Se presenta la tabla V con la producción nacional de leña, información publicada por el Sistema Nacional de Información Estadística Forestal de Guatemala (SIFGUA), realizada con apoyo de la Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT) para el año 2011.

Tabla V. **Producción Nacional de leña (m<sup>3</sup>) para áreas no protegidas**  
**2011**

DEPARTAMENTO	CON LICENCIA (m <sup>3</sup> )	EXENTO DE LICENCIA (m <sup>3</sup> )	TOTAL (m <sup>3</sup> )
Alta vera Paz	19,882.52	46,963.44	66,845.96
Baja vera paz	12,131.45	7,256.46	19,387.91
Chimaltenango	13,790.00	16,495.92	30,285.92
Chiquimula	2,347.51	620.01	2,967.52
El Progreso	2,815.69	460.54	3,276.23
Escuintla	13,525.92	37,459.64	50,985.56
Guatemala	14,243.54	12,043.13	26,286.67
Huehuetenango	1,318.46	2,365.59	3,684.05
Izabal	796.53	17,942.92	18,739.45
Jalapa	12,678.14	1,947.98	14,626.12
Jutiapa	1,337.94	386.42	1,724.36
Petén	354.05	4,604.12	4,958.17
Quetzaltenango	33,071.16	76,336.86	109,408.02
Quiché	12,335.46	1,425.65	13,761.11
Retalhuleu	13,234.76	133,509.48	146,744.24
Sacatepéquez	885.39	13,429.11	14,314.50
San Marcos	4,595.86	41,187.08	45,782.94
Santa Rosa	16,374.21	2,829.79	19,204.00
Suchitepéquez	2,811.70	3,789.43	6,601.13
Totonicapán	3,295.76	216,675.69	219,971.45
Zacapa	5,918.93	404.30	6,323.23
<b>TOTAL</b>	<b>187,744.98</b>	<b>649,750.80</b>	<b>837,495.78</b>

Fuente: Sistema Nacional de Información Estadística Forestal de Guatemala (SIFGUA).

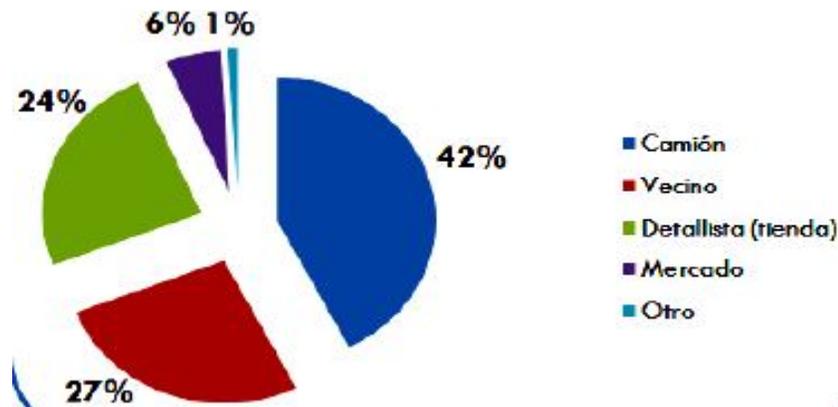
La oferta total de leña es 837,495.78 m<sup>3</sup> o 684.88 KBEP para áreas protegidas, producida en 2011, es decir; un 2% de la demanda de leña en 2010 (ver tabla II) el déficit de la misma, 98% se cubre con extracción de leña en bosques naturales, rastrojos y con las actividades de limpieza de plantaciones agroforestales.

Estimaciones realizadas por CEPAL reflejan que cerca de un 51% de la población centroamericana (19 millones de habitantes, alrededor del 50% de la población) continúa dependiendo de la leña. Los países que reportan mayor demanda de leña a nivel centroamericano son: Guatemala, Honduras y Nicaragua.

La demanda de leña a nivel nacional se encuentra determinada por varios factores, entre ellos los económicos: pobreza y pobreza extrema, especialmente en las áreas rurales y las zonas marginales de las grandes ciudades, reflejados en el poco poder adquisitivo para la compra de combustibles fósiles y los equipos necesarios para su uso, estufas, hornos etc.

Del total de la población que consume leña en forma total o parcial, el 72% lo hace a través de compra ver gráfica número 6, y el 28% restante lo hace a través de recolección, ver figura 10.

Figura 10. **Lugares donde se compra leña en Guatemala**



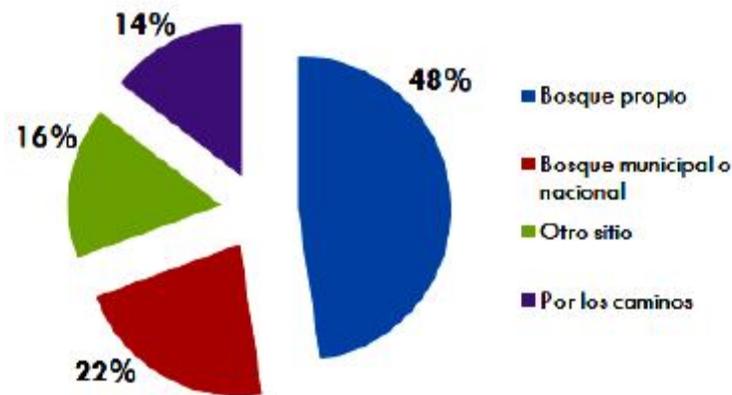
Fuente: Informe final. Encuesta leña en Guatemala, Comisión Económica para América Latina Y Ministerio de Energía y Minas. P. 19.

El 42% de la población realiza la compra de leña en camiones ubicados en las plazas o mercados locales; estos forman parte del sector económico informal y en la mayoría de los casos son solo distribuidores, lamentablemente no existe ningún registro o control sobre este tipo de ventas; el 27% realiza la compra a algún vecino que cuenta con producción de leña o la adquiere de limpiezas realizadas en las plantaciones (rastros) y el 24% la compra en las tiendas locales.

Los volúmenes de leña se compran a través de las diferentes medidas locales como tercio, manojo, tarea, etc. (ver anexo 6).

Respecto de la leña que se recolecta en forma gratuita, se carece de información que indique el volumen o especie arbórea consumida.

Figura 11. Lugares de recolección de leña gratuita en Guatemala



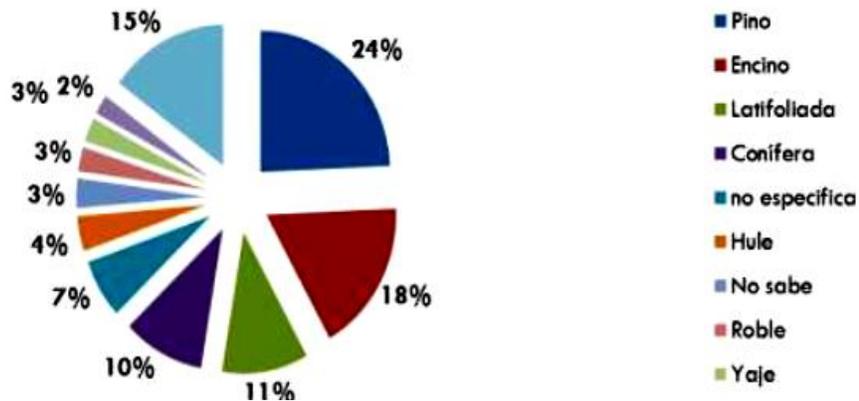
Fuente: Informe final. Encuesta leña en Guatemala, Comisión económica para América Latina y Ministerio de Energía y Minas. P. 20.

El 18% de la población que recolecta leña, el 48% en bosques naturales; 22% en bosques municipales o nacionales y un 16% no especifica los sitios de recolección; este porcentaje de la población pertenece a sectores de extrema pobreza tanto del área rural como del área urbana.

Otros factores determinantes para la demanda de leña son los socioculturales, es decir los hábitos de uso, que depende de las regiones (frías o cálidas), de las especies arbóreas nativas, generación de humo, producción de brasa o carbón, periodo de combustión, etc.

En la figura 12 se resumen las especies de mayor demanda para la producción de leña a nivel nacional, dividido por regiones.

Figura 12. **Especies arbóreas más utilizadas para la producción de leña en Guatemala**



Fuente: Informe final. Encuesta leña en Guatemala, Comisión económica de energía para América Latina y Ministerio de Energía y Minas. P. 21.

El primer lugar de preferencia como especie para producción de leña es el pino, con el 24%; el segundo lugar es para el encino, con 18%; estas preferencias radican en el hecho de que presentan rápida y mejor producción de llama y de brasa y su tiempo de duración es mayor al resto de especies, lo que representa un ahorro en la economía familiar; además son especies de rápido crecimiento y las plantaciones no son susceptibles a plagas ni necesitan cuidados especiales para su desarrollo (Bosques Energéticos, INAB).

El uso de leña como principal fuente energética tiene impactos negativos en la calidad de vida de la población; estimaciones realizadas por el Ministerio de Salud reflejan un pronóstico de vida no mayor a los 50 años para personas directamente expuestas, además de estar considerada como causa de deforestación.

#### **2.3.4. Oferta y demanda de etanol**

La producción nacional de etanol se realiza a través de las plantaciones de caña de azúcar, específicamente de las mieles, subproducto generado en la elaboración de azúcar.

En Guatemala operan actualmente 12 Ingenios, ubicados en 4 departamentos de la costa del Pacífico, Escuintla, Santa Rosa, Suchitepéquez y Retalhuleu.

En la zafra 2010-11, estas fábricas cultivaron un área de 235 mil hectáreas, que representan el 2.15% del área nacional y el 7.83% del área total cultivable. (ASAZGUA, 2012). Guatemala cuenta con 5 destilerías para la producción de etanol: Palo Gordo, Servicios Manufactureros, Darsa, Bioetanol, Alcoholes MAG, registradas a través de la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.

Un resumen de la información sobre capacidad instalada, factor de planta, días de operación al año, así como los volúmenes de producción de etanol, se resume en la tabla VI, publicada en el documento Biocombustibles de Guatemala realizado por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.

Tabla VI. **Estimaciones del volumen de producción de refinerías de etanol en Guatemala**

Nombre	Capacidad instalada (l/día)	Factor de planta	Días de Operación	Producción anual estimada (litros)
Palo Gordo	120 000	65%	150	<b>12 000 000</b>
Servicios Manufactureros	120 000	95%	330	<b>38 000 000</b>
DARSA	250 000	95%	330	<b>80 000 000</b>
Bioetanol	600 000	95%	150	<b>90 000 000</b>
Alcoholes MAG	300 000	95%	150	<b>45 000 000</b>
<b>Total</b>	<b>1 390 000</b>			<b>265 000 000</b>

Fuente: Biocombustibles de Guatemala, Ministerio de Energía y Minas.

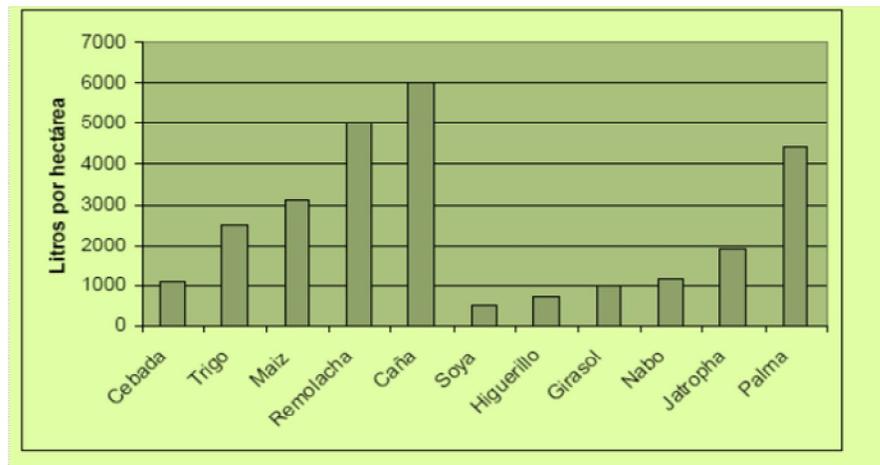
La capacidad instalada de las destilerías es del 95% a excepción de la destilería Palo Gordo que trabaja con el 65%; este porcentaje obedece a que fue de las primeras destilerías en operar y el diseño inicial de la planta no fue para producir etanol. Las estimaciones realizadas por la Dirección General de Hidrocarburos establece que la producción total de etanol es de 1 390, 000 millones de litros diarios o 265 millones de litros anuales.

Solamente la refinería de BIOETANOL produce etanol anhídrido para uso automovilístico nacional; las demás refinerías (4 ubicadas en 12 ingenios) producen y exportan etanol para usos industriales; información referida por la Dirección General de Hidrocarburos. Actualmente, el país tiene el potencial para remplazar cantidades significativas de combustibles fósiles (10%) en muchas aplicaciones de transporte; por ejemplo, la mezcla denominada E10, constituida con 10% de etanol y 90% de petróleo, que resulta aplicable en la mayoría de motores de ignición, sin que necesiten de modificación previa.

Registros de la Dirección General de Hidrocarburos indican que el consumo anual de gasolinas es de 1, 270 millones de litros al año y que solo se necesitarían 127 millones de litros de etanol (10% consumo de gasolinas) de un total de 265 millones de litros anuales producidos; es decir que existiría un excedente de producción de 138 millones de litros de etanol disponibles.

Respecto de la materia prima para producir etanol en la figura 13 se aprecian los rendimientos de materia prima para la producción de biocombustibles carburantes y los rendimientos de producción medidos en litros de biocombustible producidos por hectárea cultivada, publicado en el documento Implicaciones del desarrollo de agrocombustibles en Guatemala, USAC, DIGI, 2007.

Figura 13. **Rendimiento de materia prima para producción de agro combustibles en Guatemala**



Fuente: USAC, DIGI, Implicación del desarrollo de agro combustibles en Guatemala, septiembre 2007. P. 40.

En la gráfica se aprecia que la caña de azúcar es la materia prima que genera mayor rendimiento para producción de etanol, aproximadamente de 6,000 litros por hectárea; el promedio de productividad de la caña en Guatemala es de 93 toneladas de caña por hectárea, promedio de productividad más alto en la región centroamericana (Análisis de mercado HART ENERGY, Implicaciones del Desarrollo de Agro combustibles en Guatemala).

En segundo lugar se encuentra la remolacha, con un rendimiento aproximado de 5,000 litros por hectárea; y en tercer lugar el maíz, con un rendimiento aproximado de 3,000 litros por hectárea cultivada.

El maíz es la principal materia prima para la producción de etanol en Estados Unidos, elevando los costos de producción no solo por el menor rendimiento por hectárea, sino por su competencia con el uso de suelo para producción alimentaria.

De la producción total de etanol solo un 20% se emplea en el mercado nacional, específicamente para las industrias de bebidas, fármacos y cosméticos, el 80% restante se exporta a diferentes destinos de Centroamérica (2%), Europa (76%) y Norteamérica (22%), para el sector transporte, principalmente con la finalidad de usarlo en mezclas carburantes en las gasolinas, cifras referidas por la Asociación Guatemalteca de Exportadores AGEXPORT.

El uso de etanol como combustible carburante reduce las emisiones de gases efecto invernadero hasta en un 74% con respecto de las gasolinas convencionales. (Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia).

### **2.3.5. Oferta y demanda de biodiesel**

En Guatemala la materia prima más utilizada para la elaboración de biodiesel es la *Jatropha curcas* con un total de 13,500 hectáreas cultivadas en toda la república, con una producción de 3,766 litros de aceite a través de diferentes proyectos experimentales (Alianza en Energía y Ambiente, OLADE); además de las plantaciones de productoras de aceite que no se encuentran registradas, pero que se estiman en 50, 000 hectáreas aproximadamente (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos MAGA).

El aceite de palma aceitera *Elaeis guineensis* o palma africana es otra de las materias primas para la elaboración de biodiesel; estas crecen a un ritmo promedio de 8 mil hectáreas anuales, en San Marcos, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Quiché, Izabal y el sur de Petén, según datos estadísticos del Gremial de Palmicultores de Guatemala (Grepalma).

Las fincas palmeras producen 140 mil toneladas métricas de aceite al año, de los cuales se exportan 100 mil (70%) a México y Centroamérica y se consumen 40 mil (30%) en el país, en un área de 110 mil hectáreas, convirtiendo a los productores guatemaltecos en los más eficientes por hectárea del mundo, un negocio que generó exportaciones por US\$176 914,069.00 millones en 2011 (Banguat).

Las 110, 000 hectáreas de palma africana cultivada representan el 2%; de toda la superficie agrícola del país y en lo que va del año 2012 las exportaciones por este rubro ascienden a US\$ 68 529,482.00 (Banguat).

En la actualidad se tiene registrada una producción de biodiesel de 4,640 galones por día, con un total de 8 plantas de producción registradas en la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas: Biocombustibles de Guatemala S.A., Combustibles Ecológicos S.A., Comunidad Nueva Alianza, Empacadora Toledo, Fuerza Verde, Guate biodiesel S.A., Helios S.A, y Tecnoserve.

Respecto de los rendimientos de materia prima para producción de biodiesel (figura 13) la palma africana ocupa el primer lugar en rendimiento; es la materia prima que genera mayores volúmenes de producción de biodiesel con 4,500 litros de aceite por hectárea además reduce las emisiones de gases efecto invernadero en un 83% respecto de las emisiones del diésel, según estudios realizados por la Federación Nacional de biocombustibles de Colombia.

Sin embargo su producción afecta directamente la seguridad alimentaria pues requiere de grandes extensiones de tierra para su producción; recursos hídricos disponibles para riego y requiere de áreas despejadas de bosques además el precio de venta como producto comestible es más rentable que su precio como combustible; fuente referente, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos MAGA.

La *Jatropha curcas* conocida en el ámbito nacional como piñón, con rendimiento de producción de 2,000 litros por hectárea, ocupa el segundo lugar en rendimientos de producción, pero el primero en uso como materia prima para las producciones nacionales de biodiesel; otras materias primas potenciales para la elaboración del biodiesel son las algas marinas microespecie de rápido crecimiento y volúmenes de producción rentables (fase experimental) y los aceites reciclados que se generan principalmente en restaurantes, industria

alimenticia y las grasas animales; fuente referente, Universidad del Valle de Guatemala.

En la tabla VII, publicado en Biodiesel de Guatemala a través de la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, se resume información sobre las plantas productoras de biodiesel registradas en el Ministerio de Energía y Minas, la capacidad instalada medida en galones diarios y materia prima utilizada por cada una.

Tabla VII. **Plantas productoras de biodiesel en Guatemala**

Productor	Capacidad Instalada Galones/ día	Materia Prima
Biocombustibles de Guatemala S.A	1,500	Jatropha Curcas, Aceite reciclado
Combustibles Ecológicos S.A	500	Aceite reciclado
Comunidad Nueva Alianza	50	Aceite reciclado, Jatropha, curcas
Empacadora Toledo	500	Grasa de cerdo y aceite reciclado de pollo campero
Fuerza Verde	50	Aceite reciclado
Guatebiodisel S.A	1,500	Aceite reciclado, soya, maíz, girasol
Helios S.A	290	Aceite reciclado, Jatropha curcas
Tecno Serve	250	Jatropha curcas, aceite reciclado, semilla de hule
<b>Total</b>	<b>4,640</b>	

Fuente: Biocombustibles Guatemala, Ministerio de Energía y Minas.

En tabla VII se observa que en la actualidad no se produce biodiesel a través de palma africana a pesar de generar mayores rendimientos de producción por las razones anteriormente expuestas; las 8 plantas productoras registradas están generando biodiesel a partir de aceites reciclados especialmente de aceite de Jatropha curcas o piñón y aceites reciclados de la industria alimentaria.

En Guatemala, la industria del biodiesel es más reciente que la industria del etanol, y en la actualidad su producción se limita a demanda de autoconsumo en motores estacionarios y vehículos automotores de empresas privadas o plantas experimentales.

El uso de biodiesel reduce las emisiones de gases efecto invernadero en un 83% con respecto a las emisiones generadas por el diesel derivado del petróleo. (Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia).

Existen varios proyectos pilotos para la producción de etanol, biodiesel y gas metano o biogás, de acuerdo con información brindada por la Sección de Energías Renovables, Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, entre ellos están:

- Almacenamiento y consumo de gas metano, Morales, Izabal
- Biodiesel para desarrollo rural, Cuyotenango, Suchitepéquez
- Extractora la Francia, Morales, Izabal
- Generadora de palma africana, Morales, Izabal
- Operación de planta de biodiesel, Palín, Escuintla
- Planta de biodiesel sarandí, Guatemala ciudad, zona 12
- Planta de proceso de etanol, Siquinalá, Escuintla.
- Planta elaboradora de biodiesel, Usumatlán, Zacapa
- Planta piloto de biodiesel con *Jatropha curcas*, Nueva Concepción, Escuintla

Respecto de la legislación actual para producción y uso de biocombustibles en Guatemala se cuenta con:

- Decreto ley 17-85 Ley del Alcohol Carburante que en la actualidad es inoperante.
- El reglamento técnico centroamericano RTCA 75.02.43:07 “Biocombustibles Biodiesel (B100) y sus Mezclas con Aceite Combustible Diesel, Especificaciones”.

Este iniciaría con una demanda de 7.01 millones de galones de biodiesel al año para realizar mezclas B2, 2% biodiesel y 98% diesel; pero carece de aplicabilidad dada la escasa producción actual de biodiesel de 1.46 millones de galones al año; existe un faltante de 5.5 millones de galones para que pueda incluirse en el consumo energético como mezcla en el sector transporte.

La Comisión Nacional de Biocombustibles, reactivada en 2010, tiene a su cargo velar por el desarrollo de biocombustibles en el país, con apego a las políticas de Gobierno. Entre sus propósitos está la creación del marco jurídico que promueva la investigación y el desarrollo para el cultivo, producción, transformación, comercialización y uso de los biocombustibles.

Está constituida por las siguientes dependencias:

- Ministerio de Energía y Minas (MEM)
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA)
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
- Ministerio de Economía (MINECO)
- Ministerio de Relaciones Exteriores (MINEX)

El abastecimiento en la demanda de biocombustibles a nivel nacional e internacional debe realizarse de forma objetiva responsable y sostenible, para que la oferta no limite el abastecimiento agrícola alimentario y cause déficit en la producción de insumos agrícolas para el resto de industrias como las textiles y farmacéuticas que también dependen de ellos, y para su efecto se evalúa desde 2010, la creación del Vice Ministerio de Desarrollo como parte del Ministerio de Energía y Minas.

#### **2.4. Costos de biocombustibles en Guatemala**

Los costos de los biocombustibles están determinados por la producción de materia prima, tecnología y proceso de elaboración y por el uso de estos.

La materia prima mayoritariamente agroforestal depende en forma directa de factores climáticos, recursos edáficos, cambio en el uso de suelos, disponibilidad de recursos hídricos, oferta y demanda local e internacional, disponibilidad de infraestructura para distribución y almacenamiento, tecnología y procesos requeridos para su procesamiento.

La tecnología y los procesos de producción adecuados para la elaboración de biocombustibles determinan en forma directa los costos de producción de estos, además de los insumos que requieren, químicos, energía eléctrica, etc., para que los procesos de producción sean eficientes y efectivos.

Los usos y la demanda que los biocombustibles tienen dentro del mercado energético también determinan los costos, a mayor demanda mayor volumen de producción y mayor rentabilidad en el proceso.

Finalmente la importancia de la estimación de costos para producción de biocombustibles radica en que estos influyen directamente en el establecimiento de los precios en el mercado energético nacional e internacional, así los costos en materia prima, proceso de producción, almacenamiento, distribución, inversión de equipos para su uso (estufas, motores, etc.) y factores económicos (demanda y oferta) determinarán el precio final del producto.

Los incentivos fiscales, Programas de Incentivos Fiscales Forestales, PINFOR, herramienta de la Política Nacional Forestal a largo plazo que inició en 1997 y tiene vigencia hasta el año 2016 (ver anexo 9) y las garantías en la legislación energética del país, Políticas Energéticas, MEM, gestiones ambientales para proyectos energéticos MARN, MAGA, INAB, MUNICIPALIDADES, etc. son un componente esencial para la determinación de costos y precios de los biocombustibles; lamentablemente en la actualidad estos no representan una garantía que estimule la producción de biocombustibles en forma competitiva en el país para abastecer la demanda del mercado energético nacional.

Para la mayoría de las comunidades del área rural, los combustibles de fuentes biomásicas representan la única fuente de energía disponible para abastecer sus necesidades básicas como cocción de alimentos e iluminación; es necesario el desarrollo de tecnologías eficientes y los desarrollos sostenibles para la producción de biocombustibles con la finalidad de abastecer la demanda energética. Finalmente, pero no menos importantes se encuentran los costos ambientales que la producción de monocultivos representan para la seguridad alimentaria, conservación de fauna y flora nativas y el déficit habitacional que las grandes extensiones de cultivos representan para las comunidades del área rural.

No debe de olvidarse que es el uso indiscriminado de los combustibles fósiles, principal causa del cambio climático, el responsable de una mayor intensidad y frecuencia de fenómenos climáticos extremos; Guatemala ha sufrido en los últimos años fuertes impactos por exceso de precipitaciones pluviales, tormentas y huracanes, así como largos episodios de sequía y extensión del corredor seco en la zona oriente del país, que limitan el desarrollo integral del mismo.

Estos eventos han generado altos impactos ambientales, como la pérdida completa y permanente de ecosistemas, la disminución en calidad y disponibilidad de los recursos hídricos y edáficos, además de impactos en el sector social como enfermedades respiratorias, intestinales e inmunológicas (alergias) asociadas.

La población de las áreas rurales del país, más del 51% de la población, según cifras publicadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en 2010, ha padecido los efectos de catástrofes naturales, pérdida de cosechas, viviendas y salud, consecuencia de efectos del cambio climático.

Es imperante invertir en tecnología y procesos sustentables para la producción y uso de los biocombustibles como complementos de los combustibles fósiles, con la finalidad de reducir la crisis energética y mitigar los impactos ambientales generados que finalmente se reflejan en costos económicos en el sector social, específicamente en salud.

A continuación se presenta en la tabla VII, el resumen de la información cuantificable, anteriormente expuesta.

Tabla VIII. Resumen de información cuantitativa

BIO COMBUSTIBLE	MATERIA PRIMA	OFERTA NACIONAL	PLANTAS PRODUCTORAS	IMPACTO GENERADO
<b>BIOGAS</b>	Vinaza Residuos de relleno sanitario zona 3 y AMSA	Generación de 3-5 MW	1. Servicios manufactureros	Disminución de GEI, generados en rellenos sanitarios
			2.INBIO, S.A.	
			3.Las periqueras	
<b>LEÑA</b>	11,088.19 hectáreas de plantaciones	837,495.78 metros cúbicos/ anuales	433 plantaciones y 7,200 permisos de extracción	Generadores de bonos de carbono
<b>ETANOL</b>	235,000 hectáreas de caña de azúcar	265,000,000 litros/ año	1.Palo gordo	Reducción GEI 74% en mezclas con gasolinas
			2.Servicios manufactureros	
			3.DARSA	
			4.Bioetanol	
			5.Alcoholes Mag	
<b>BIODIESEL</b>	13,500 hectáreas de Jatropha	4,640 galones/día	1. Biocombustibles de Guatemala, S.A 2.Combustibles ecológicos S.A.	Reducción GEI 83% en mezclas con diésel
	90,000 hectáreas de palma africana	140,000 Tm de aceite/ año	3. Comunidad nueva alianza 4. Empacadora Toledo 5. Fuerza verde 6. Guatebiodiesel S.A. 7. Helios S.A. 8. Tecno serve	

Fuente: elaboración propia.



### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Variables

Para realizar el presente trabajo de investigación fue necesario considerar las siguientes variables:

##### 3.1.1. Variables independientes

Tabla IX. Variables independientes

No.	PARÁMETROS	VARIABLES INDEPENDIENTES
1	Combustibles no renovables	Geográficos Políticos Sociales Climáticos
2	Combustibles renovables	

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Variables dependientes

Tabla X. Variables dependientes

No.	PARÁMETROS	VARIABLES DEPENDIENTES
1	Combustibles no renovables	Producción Demanda Precios
2	Combustibles renovables	Usos Impacto ambiental Legislación Aranceles

Fuente: elaboración propia.

## 3.2. Delimitación del campo de estudio

### 3.2.1. Área

El área que se delimitó como objeto de estudio para realizar el trabajo de investigación fue la República de Guatemala.

Algunos parámetros, producción, oferta, demanda, y precios, fueron establecidos a nivel regional y continental para determinados combustibles.

### 3.2.2. Proceso

Para el efecto se realizaron consultas bibliográficas físicas y electrónicas, nacionales y regionales, entrevistas en las instituciones gubernamentales y privadas responsables del tema y visitas a las plantas procesadoras y proyectos energéticos que en la actualidad se dedican a la producción y uso de los combustibles de origen biomásico.

### 3.3. Recurso humano

Tabla XI. Recurso humano

No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Investigador	1
2	Asesor	1
	Total	2

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Materiales disponibles

El equipo utilizado fue el siguiente:

Tabla XII. Recursos materiales disponibles

No.	DESCRIPCIÓN
1.	Computadora
2.	Impresora
3.	Papel
4.	Internet
5.	Bibliotecas (físicas y electrónicas)
6.	Vehículo

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Técnica

El trabajo de investigación se desarrolló con una técnica mixta; es decir una combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas que se describen a continuación:

- Técnica cualitativa: para elaborar el panorama energético nacional sobre biocombustibles se realizaron consultas bibliográficas físicas y electrónicas, entrevistas a las instituciones nacionales e internacionales involucradas en el tema y visitas a las diferentes plantas productoras y proyectos energéticos que los involucran.

- Técnica cuantitativa: para la generación de las matrices con información energética, equivalencias y precios, se procedió luego del establecimiento de parámetros requeridos, materia prima, características fisicoquímicas, costos y precios, a realizar los cálculos matemáticos necesarios para su elaboración.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

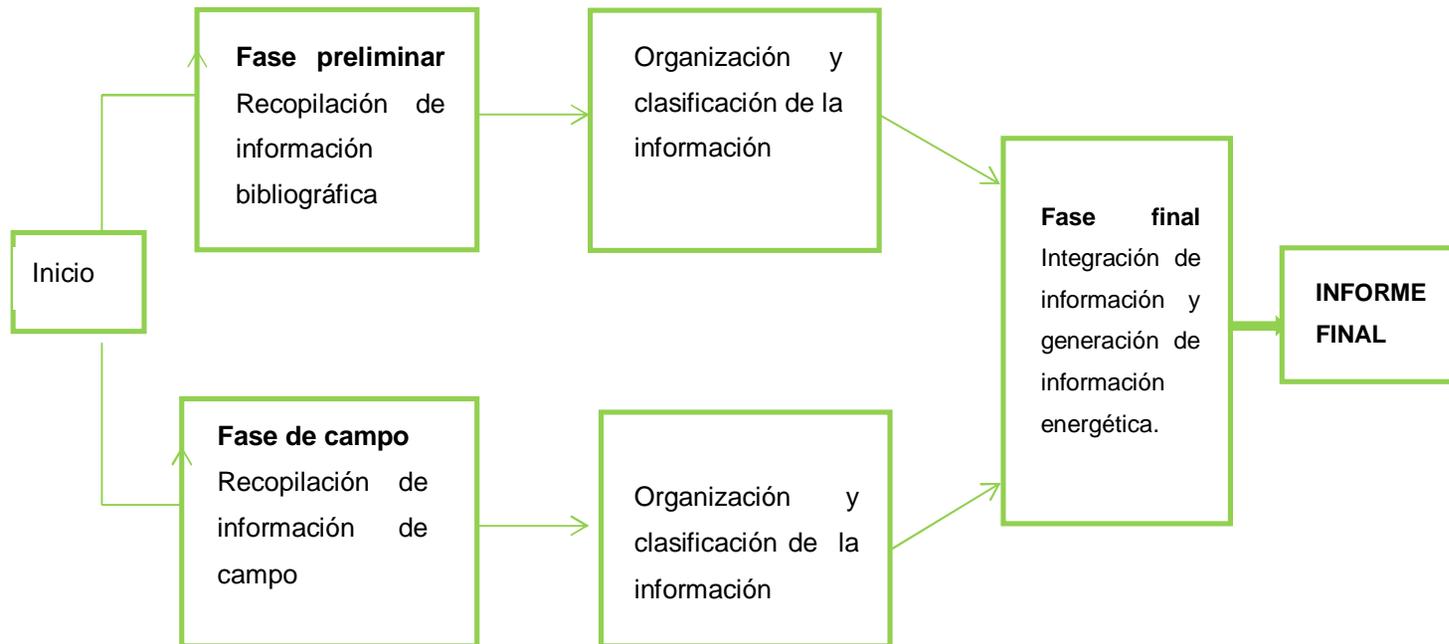
Inicialmente se recopiló y ordenó la información requerida de acuerdo al siguiente procedimiento

- Se procedió a recopilar información sobre la situación energética nacional de combustibles renovables y no renovables en la actualidad, de fuentes bibliográficas físicas y electrónicas disponibles en las diferentes bibliotecas de las universidades e instituciones relacionadas con el tema, ubicadas en la ciudad capital;
- La información recopilada se procesó sintetizándola y clasificándola de acuerdo con los siguientes parámetros: características físicas, fuentes de origen y oferta y demanda en el mercado energético, con la finalidad de generar una fuente de consulta resumida, actualizada y confiable sobre los combustibles renovables y no renovables en el país;
- Se solicitó información a través de las oficinas de información pública, en las siguientes instituciones gubernamentales; Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos, Ministerio de Finanzas Públicas, Banco de Guatemala e Instituto Nacional de Bosques;

- Se realizaron entrevistas dirigidas a las personas responsables del tema en las siguientes instituciones privadas; Universidad del Valle de Guatemala, Instituto de Agricultura y Recursos Naturales, Asociación de Productores de Combustibles Renovables, Asociación de Azucareros de Guatemala, Asociación de Exportadores de Guatemala, plantas productoras de biocombustibles y proyectos energéticos involucrados en el tema (Ver resumen en anexo 3);
- Obtenida la información de campo, se procedió a sintetizarla y organizarla con la finalidad de generar información actual, cuantificable y de trazabilidad, sobre el tema de biocombustibles en el país;
- Se procedió a integrar la información bibliográfica con la información de campo obtenida, con la finalidad de brindar una panorámica nacional sobre los combustibles renovables y no renovables en Guatemala, como herramienta útil en la toma de decisiones para proyectos energéticos que involucren biocombustibles.

A continuación se presenta un diagrama que ilustra el procedimiento realizado para llevar a cabo la metodología de investigación anteriormente descrita.

Figura 14. **Procedimiento para recopilación y organización de la información**



Fuente: elaboración propia.



## **4. GENERACIÓN DE TABLAS CON INFORMACIÓN ENERGÉTICA, Y ECONÓMICA DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y BIOMÁSICOS**

Para la elaboración de las tablas con contenidos energéticos es necesario utilizar las unidades de medida físicas de cada fuente; estas pueden ser de volumen (para líquidos y gases), de masa para sólidos o de energía en algunos casos. Por lo general cada fuente presenta una unidad de medida distinta, dificultando la comparación o agregación entre fuentes energéticas; motivo por el que se procedió a homogeneizarlas en unidades internacionales comunes en el mercado energético. Las medidas energéticas utilizadas son:

- BTU: Unidad térmica británica, cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 libra de agua en un grado Fahrenheit.
- J: Joule, equivalencia entre energía calórica y energía mecánica.
- Cal: Caloría, cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en 1 grado centígrado.
- KW/h: Kilowatt por hora, cantidad de energía producida o consumida en el transcurso de una hora (comúnmente utilizada en el sector eléctrico).
- B.e.p.: barril equivalente de petróleo, cantidad de energía liberada durante la quema de un barril de petróleo; se utiliza como medida internacional y permite el manejo de cifras pequeñas.

Para las medidas volumétricas de los biocombustibles se utilizaron:

- l: Litro cantidad de líquido contenido en un decímetro cúbico.
- m<sup>3</sup>: Metro cúbicos, volumen de un cubo de un metro de arista.
- gal: Galones, unidad volumétrica inglesa, para medir líquidos.
- gm: gramos unidad básica de peso y masa en el Sistema Métrico Decimal, equivalente al peso o la masa de 1 cm<sup>3</sup> de agua destilada a 4 °C

Para realizar las equivalencias energéticas se utilizaron los factores de conversión publicados en Biomasa Manual de Energías Renovables FOCER, que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla XIII. Factores de equivalencias energéticas

FACTORES EQUIVALENTES PARA BIOCOMBUSTIBLES				
BTU	cal	J	KWh	B.e.p
1	251.99576	1055.05585 296877	2.93E-04	1.72E-07
3.97E-03	1	4.18679994 088239	1.16E-06	6.85E-10
9.48E-04	0.2388459	1	2.78E-07	1.64E-10
3,412.1416	859,845.23	3,600,000	1	5.88E-04
5.80E+06	1.46E+09	6.11E+09	1700	1

Fuente: BIOMASA. Manual de energías renovables, FOCER. P. 12.

Para realizar las conversiones volumétricas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Para los barriles equivalentes de petróleo (B.e.p) el valor en galones o en litros varía ligeramente con la composición específica del lote de crudo que se analiza; para efectos de cálculos se utilizó como referencia el crudo *West Texas Intermediate*, publicado en la página electrónica del Ministerio de Energía y Minas, del que se derivan los combustibles que regularmente se importan al país.

Para llevar a cabo las conversiones volumétricas se utilizaron los factores de conversión, publicados en Biomasa, Energías Renovables, FOCER.

Tabla XIV. **Factores de conversiones volumétricas**

1 barril americano	=	5.614583	Pies cúbicos
	=	42.0	Galones americanos
	=	158.98	Litros
	=	0.15898	Metros cúbicos
1 metro cúbico	=	1000	Litros
		35.3147	Pies cúbicos
		6.2898	Barriles americanos
1 litro		264.172	Galones americanos
	=	1	Decímetro cúbico

Fuente: SIEE-OLADE. P. 16.

Los datos específicos, densidad, humedad relativa, etc, utilizados para los biocombustibles, dependen de la materia prima que los genera; para el efecto se estimaron datos de las materias primas utilizadas en el mercado energético nacional.

En el caso de los biocombustibles sólidos los datos dependen de la especie arbórea generadora; en Guatemala las especies que más se utilizan para propósitos energéticos son el pino, el ciprés y el roble. Para efectos de cálculos se utilizó la densidad promedio sugerida en Informe Final. Encuesta nacional de leña (consumo de la leña en hogares y pequeñas industrias en la República de Guatemala.

En el caso de biocombustibles líquidos, etanol y biodiesel se utilizaron datos específicos de etanol producido de azúcar y biodiesel de palma africana, por ser la materia prima más utilizada en el país para su elaboración. (Impactos ambientales de la Producción de agrocombustibles con base a caña de Azúcar en la costa sur de Guatemala 2009 y Utilización del biodiesel como combustible alternativo para motores de combustión interna en Guatemala, 2004)

De igual forma, para los biocombustibles gaseosos se consideró la materia prima más utilizada en el mercado nacional, residuos urbanos para el caso de biomezclas o biogás y residuos industriales para gases de incineración.

Por el motivo anteriormente detallado, el poder energético de los biocombustibles se encuentra estimado en rangos, y para determinar el valor adecuado a utilizar se emplearán criterios estadísticos para rechazo de datos o análisis discriminante conocido como la prueba  $T_n$  o prueba T, que consiste en calcular un cociente y compararlo con una tabla estándar de la prueba, para decidir si el valor debe conservarse o rechazarse; para el efecto se utilizó la ecuación:

$$T_n = (X_q - X_n) / S$$

Donde:

$T_n$ = Cociente a comparar en tabla

$X_q$ =datos a evaluar

$X_n$ =promedio de datos

S= desviación estándar

Finalmente, se compara el valor  $T_n$  con una tabla estándar de la prueba T, para la cantidad adecuada de medidas o valores replicados, contenidas en los libros de estadística básica.

El análisis estadístico de datos dudosos para poder energético no fue necesario, porque estos están determinados por la materia prima que los genera y generalmente es constante, las variaciones radican en una o dos centésimas, considerándolas despreciables. Respecto de los precios de los biocombustibles sólidos, su precio se basa en los precios de la leña (ver anexo 6), incrementándose por los procesos de producción, transporte y almacenamiento hasta en un 80% (Informe final, Encuesta Nacional de Leña, 2011 y Los Bosques energéticos en Guatemala y el uso de leña, 2008).

Para los combustibles líquidos, específicamente etanol y biodiesel, las empresas productoras Palo Gordo y Servicios Manufactureros (única que produce etanol carburante) refieren en entrevista realizada que el precio de estos, expresado en quetzales, por poder energético generado, no reflejan los costos reales debido a que la biomasa tienen menor poder energético que los combustibles fósiles y que los costos por producción, transporte y distribución en la actualidad son altos. (Ingeniero Roberto González, Midence Ingenio Santa Ana, abril, 2012).

Para fines prácticos se consideró el precio final de los biocombustibles con un 80% del mismo, constituido por costos en producción y transporte, siempre que las producciones se realicen a grandes escalas, para que su comercialización en el mercado energético sea rentable. Los datos de densidad, valor energético y precios de biocombustibles a nivel nacional y regional, se encuentran en la tabla XV (ver anexos 4 al 8).

Tabla XV. **Datos fisicoquímicos de biocombustibles**

PRODUCTO	DENSIDAD	PODER ENERG.	PRECIO (Q/gal)
Pellets	600 kg/m <sup>3</sup>	4,000_4500 kcal/kg.	144,31
Briquetas	11.5 Kg/m <sup>3</sup>	7 995,59 BTU/lb.	100,00
Carbón vegetal (horno)	55lb/m <sup>3</sup>	32,550 KJ/kg.	5,00
Carbón vegetal ( destilación)	170-500 Kg/m <sup>3</sup>	3,000 Kcal/m <sup>3</sup>	16,00
Leña	600 Kg/m <sup>3</sup>	16, 747 KJ/kg	14,40
Etanol (azúcar)	0,789Kgr/L	26746 .27 BTU/l	35,00
Etanol (Jatropha)	0,789 Kg/L	6397 Kcal/Kg	38,00
Melaza de caña	1,420 Kg/m <sup>3</sup>	2 512,08 KJ/Kg	-----
Metanol	0,791Kgr/L	19250 KJ/kg	10,00
Biodiesel (palma)	850-900 g/ml	34 920 BTU/L	45,00
Biodiesel ( girasol)	0,890 Kg/L	40 mJ/ Kg	47,00
Biodiesel (colza)	0,900 Kg/L	40 mJ/Kg	48,00
Biomezcla ( biogás)	108 Kg/m <sup>3</sup>	5, 500-6200 kcal/m <sup>3</sup>	2,50 aprox.
Gas pobre (madera)	90 Kg/m <sup>3</sup>	5, 752BTU/m <sup>3</sup>	3,00
Calor (incineración)	Depende de materia prima	13 490,19 BTU/L	1,5 aprox.

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1. Matriz con contenido energético de biocombustibles**

La matriz con contenido energético de biocombustibles tiene la finalidad de presentar la síntesis del poder energético generado por kilogramo de biocombustible en las unidades energéticas más comunes en el mercado nacional y regional, a fin de establecer comparaciones prácticas y objetivas entre los diferentes biocombustibles y los procesos de producción involucrados.

Para elaborar la matriz con contenido energético de los biocombustibles en las diferentes unidades energéticas se procedió a:

- En la primera columna se colocaron los procesos requeridos para la obtención de los biocombustibles.
- En la segunda columna se colocan los productos generados por los procesos de producción.
- En las columnas 3 a 7, se calcularon los valores del poder energético generados por kilogramo para cada biocombustible, en diferentes unidades energéticas.

Tabla XVI. **Matriz con poder energético generado por kilogramo de biocombustible**

Unidades energéticas generadas / kilogramos de biocombustible						
Proceso	Producto	BTU	Kcal	KJ	Kwh	B.e.p
Densificación	Pellets	18 956,34	4 776,91	20 000,00	5,55	0,00326
	Briquetas	17 857,44	4 500,00	18 840,60	5,23	0,00308
Carbonización	Carbón vegetal	23 809,92	6 000,00	25 120,80	6,97	0,00410
Gasificación	Gas pobre	18 008,52	4 538,07	19 000,00	5,27	0,00310
Fermentación	Etanol	25 392,02	6 398,68	26 790,00	7,44	0,00438
	Metanol	18 245,48	4597,78	19 250,00	5,34	0,00315
	Biogás	25 794,08	6 500,00	27 214,20	7,55	0,00445
	Melaza caña	2 380,99	600,00	2 512,08	0,69	0,00041
Trans esterificación	Biodiesel palma	38 064,33	9 592,05	40 160,00	11,15	0,00656
	Biodiesel Jatropa	37 699,04	9 500,00	39 774,60	11,04	0,00649
Fermentación anaerobia	Biomezcla	24 169,33	6 090,57	25 500,00	7,08	0,00416
Incineración	Calor	23 809,92	6 000,00	25 120,80	6,97	0,00410
Destilación de madera	Carbón vegetal	17 857,44	4 500,00	18 840,60	5,23	0,00308
Cultivo energético	Leña	15 873,28	4 000,00	16 747,20	4,65	0,00274
Aprovechamiento de algas	Etanol	25 392,02	6 398,68	26 790,00	7,44	0,00438
	Biodiesel	34 121,41	8 598,45	36 000,00	10,00	0,00588

Fuente: elaboración propia.

## **4.2. Matriz de equivalencias energéticas entre biocombustibles**

La matriz de equivalencias energéticas tiene por objeto brindar comparaciones cuantitativas entre los valores de contenido energético de los diferentes biocombustibles, con la finalidad de facilitar las evaluaciones energéticas a realizar.

Una vez determinados los valores de poder energético para cada uno de los biocombustibles, se procedió a calcular sus equivalentes con el resto de biocombustibles referidos.

Las filas representan los parámetros de referencia y las columnas sus equivalentes; es decir, las cantidades energéticas necesarias para generar la misma cantidad de energía por unidad másica o la cantidad de masa necesaria para generar una unidad energética.

Matemáticamente se procedió a dividir el poder energético de un biocombustible con el poder energético de cada biocombustible en las unidades energéticas establecidas, determinando de esta forma los factores de equivalencia entre ellos.

El factor de equivalencia será el mismo independientemente de la unidad energética que se decida utilizar; las equivalencias de densidad energética corresponden tanto para unidades energéticas como para unidades másicas.

Tabla XVII. Matriz de equivalencias energéticas para biocombustibles

Producto	Pellets	Briquetas	Carbón vegetal	Gas pobre	Etanol	Metanol	Biogás	Melaza de caña	Biodiésel palma	Biodiésel Jatropha	Bio-mezcla	Calor	Carbón vegetal	Leña	Etanol (algas)	Biodiésel (algas)
Pellets	1.00	1.06	0.80	1.05	0.75	1.04	0.73	7.96	0.50	0.50	0.78	0.80	1.06	1.19	0.75	0.56
Briquetas	0.94	1.00	0.75	0.99	0.70	0.98	0.69	7.50	0.47	0.47	0.74	0.18	1.00	1.13	0.70	0.52
Carbón vegetal	1.26	1.33	1.00	1.32	0.94	1.31	0.92	10.00	0.63	0.63	0.99	1.00	1.33	1.50	0.94	0.70
Gas pobre	0.95	1.01	0.76	1.00	0.71	0.99	0.70	7.56	0.47	0.48	0.75	0.76	1.01	1.13	0.71	0.53
Etanol	1.34	1.42	1.07	1.41	1.00	1.39	0.98	10.66	0.67	0.67	1.05	1.07	1.42	1.60	1.00	0.74
Metanol	0.96	1.02	0.77	1.01	0.72	1.00	0.71	7.66	0.48	0.48	0.75	0.77	1.02	1.15	0.72	0.53
Biogás	1.36	1.44	1.08	1.43	1.02	1.41	1.00	10.83	0.68	0.68	1.07	1.08	1.44	1.63	1.02	0.76
Melaza de caña	0.13	0.13	0.10	0.13	0.09	0.13	0.09	1.00	0.06	0.06	0.10	0.10	0.13	0.15	0.09	0.07
Biodiésel palma	2.01	2.13	1.60	2.11	1.50	2.09	1.48	15.99	1.00	1.01	1.57	1.60	2.13	2.40	1.50	1.12
Biodiésel Jatropha	1.99	2.11	1.58	2.09	1.48	2.07	1.46	15.83	0.99	1.00	1.56	1.58	2.11	2.37	1.48	1.10
Biomezcla	1.28	1.35	1.02	1.34	0.95	1.32	0.94	10.15	0.63	0.64	1.00	1.02	1.35	1.52	0.95	0.71
Calor	1.26	5.58	1.00	1.32	0.94	1.31	0.92	10.00	0.63	0.63	0.99	1.00	1.33	1.50	0.94	0.70
Carbón vegetal	0.94	1.00	0.75	0.99	0.70	0.98	0.69	7.50	0.47	0.47	0.74	0.75	1.00	1.13	0.70	0.52
Leña	0.84	0.89	0.67	0.88	0.63	0.87	0.62	6.67	0.42	0.42	0.66	0.67	0.89	1.00	0.63	0.47
Etanol (algas)	1.34	1.42	1.07	1.41	1.00	1.39	0.98	10.66	0.67	0.67	1.05	1.07	1.42	1.60	1.00	0.74
Biodiésel (algas)	1.80	1.91	1.43	1.89	1.34	1.87	1.32	14.33	0.90	0.91	1.41	1.43	1.91	2.15	1.34	1.00

Fuente: elaboración propia.

Las filas representan la cantidad de biocombustible que equivale a un kilogramo del biocombustible en referencia (cuadro verde).

Analizando la primera fila (pellets), se requieren de 1.062 kilogramos de briquetas para generar la misma energía que genera 1 kilogramo de pellets o 1 kilogramo de pellets genera 1.06 veces más energía que las briquetas.

En las columnas se presenta la cantidad de biocombustible referente (cuadro verde) equivalente a un kilogramo de los biocombustibles a analizar.

Es decir, la unidad másica o energética del combustible referente (columna) para generar una unidad másica o energética de cada uno de los biocombustibles (filas.)

Analizando la primera columna, se requiere 0.94 kilogramos de pellets para producir la misma cantidad de energía que genera 1 kilogramo de briquetas o que las briquetas producen solo el 94% de la energía que genera un kilogramo de pellets.

#### **4.3. Matriz de poder energético por galón para biocombustibles y combustibles fósiles**

La matriz de poder energético por galón para biocombustibles y combustibles fósiles tiene por objeto brindar comparaciones cuantitativas entre los valores de generación energética con la finalidad de homogeneizar unidades y facilitar las evaluaciones energéticas a realizar.

El proceso se realizó de la siguiente manera:

- Se multiplicó el poder energético por la densidad de cada biocombustible con la finalidad de convertir las unidades másicas en unidades volumétricas;
- Se utilizaron los factores de conversión para convertir las unidades volumétricas a galones de biocombustible;
- Se calcularon galones por ser la unidad volumétrica con la que se vende a la mayoría de combustibles en Guatemala y con la finalidad de homogeneizar las medidas;
- Para los combustibles fósiles se realizó el mismo procedimiento con los datos de la tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Datos fisicoquímicos de combustibles fósiles**

<b>TIPO</b>	<b>PODER ENERGÉTICO</b>	<b>DENSIDAD</b>
Gasolina superior	7.962 Kcal/l	730 Kg/cm <sup>3</sup>
Gasolina regular	7.674 Kcal/l	680 Kg/cm <sup>3</sup>
Diesel	132,000 BTU/gal	840Kg/cm <sup>3</sup>
Bunker	150,000 BTU/gal	975Kg/cm <sup>3</sup>
Gas GLP	1077 BTU/ pie <sup>3</sup>	0.55Kg/l

Fuente: elaboración propia.

Los valores de poder energético de los combustibles fósiles varían, de acuerdo con la procedencia del crudo; no todos los yacimientos de petróleo cuentan con la misma composición, tiempo de maduración, etc. y no siempre se compra crudo del mismo destino o yacimiento.

Para efectos de cálculo se tomó como referencia el petróleo West Texas Intermediate, con el que usualmente se abastece la demanda nacional, para determinar el poder energético de estos (Referencia: [www.mem.gob.gt](http://www.mem.gob.gt)).

El procedimiento para elaborar la matriz de equivalencias la tabla XVII, es similar al procedimiento para la elaboración de la matriz de equivalencias energéticas para biocombustible tabla XVII, Matriz de equivalencias de biocombustibles.

Los parámetros de referencia los constituyen los combustibles fósiles por su mayor contenido energético y para manejar cifras de números enteros.

Tabla XIX. **Matriz de equivalencias energéticas de combustibles fósiles y biocombustibles (BTU/gal)**

Poder energético por galón y sus equivalencias para combustibles fósiles y biocombustibles.						
PRODUCTOS	Btu/gal	Superior	Regular	Diésel	Bunker	GLP
		114 500	114 000	132 000	150 000	8 056,49
PELLETS	43 054,87	2,66	2,65	3,07	3,48	0,19
BRIQUETAS	158 023,15	0,72	0,72	0,84	0,95	0,05
CARBÓN VEGETAL	1 686,41	67,90	67,60	78,27	88,95	4,78
GAS POBRE	21,77	5 259,53	5 236,56	6 063,39	6 890,22	370,07
ETANOL 95%	101 246	1,13	1,13	1,30	1,48	0,08
BIODIÉSEL	132 191,22	0,87	0,86	1,00	1,13	0,06
BIOGAS	67,57	1 694,54	1 687,14	1 953,53	2 219,92	119,23
GASES/COMBS	51,07	2 242,02	2 232,23	2 584,9	2 937,15	157,75
LEÑA	36 052,43	3,18	3,16	3,66	4,16	0,22

Fuente: elaboración propia.

Las cifras en cada fila brindan la cantidad de galones necesarios de biocombustible, para generar la misma cantidad de energía que generaría un galón de combustible fósil referido (ubicado en la columna).

Por ejemplo, en la primera fila y primera columna, se necesitan 2.65 galones de pellets para generar los mismos BTU que genera un galón de gasolina superior, o que un galón de gasolina superior genera 2.65 veces más poder energético que lo que genera un galón de pellets.

#### 4.4. Matriz de precios por unidad energética generada para biocombustibles y combustibles fósiles y sus equivalencias

El objetivo de la matriz es establecer el precio necesario para la generación energética y las comparaciones o equivalencias entre los combustibles fósiles y biomásicos. Esta permite establecer la diferencia

monetaria y en producción energética de los combustibles fósiles, respecto de los biocombustibles.

Para la elaboración de la matriz se utilizaron los precios por galón de los combustibles fósiles, publicados en la página electrónica del Ministerio de Energía y Minas ([www.mem.gob.gt](http://www.mem.gob.gt)) para el 12 de junio de 2012.

Tabla XX. **Precios de combustibles fósiles**

<b>TIPO</b>	<b>PRECIO (Q)/ gal</b>
Gasolina superior	33.71
Gasolina regular	32.10
Diesel	29.18
Bunker	22.69
Gas licuado de petróleo	0.008

Fuente: elaboración propia.

Se estimaron los precios de los biocombustibles en el mercado energético, tomando como base los costos de producción, 80% del precio final y el 20% calculado con base en la producción energética de estos. (Ver tabla XV).

En el caso de la determinación de los precios, estos fueron calculados en quetzales, por tratarse de la moneda nacional, utilizando para el efecto la siguiente tasa de cambio; Q. 7.87 por dólar y 9.83 por euro, publicada en la página electrónica del banco de Guatemala con fecha 12 de junio 2012.

Para determinar el precio por generación energética, se procedió a multiplicar los precios en quetzales por galón de los combustibles a comparar con el inverso del factor determinado en la tabla XXI, de la siguiente forma: (Q/ galones) X (galones/ BTU); el factor resultante representa el precio de los combustibles por valor energético generado, es decir, Q/BTU resumidos en la siguiente tabla.

Tabla XXI. **Precios por energía generada para combustibles fósiles y combustibles biomásicos**

<b>Matriz de precios de combustibles por energía generada</b>			
	<b>Precio (Q/gal)</b>	<b>(BTU/gal)</b>	<b>Q/Btu</b>
<b>PELLETS</b>	144,31	43 054,87	0,00335
<b>BRIQUETAS</b>	100	158 023 ,15	0,00063
<b>CARBÓN VEGETAL</b>	5	23 809,92	0,00021
<b>GAS POBRE</b>	3	21,77	0,13780
<b>ETANOL 95%</b>	35	101 246	0,00035
<b>BIODIÉSEL</b>	45	132 191,22	0,00034
<b>BIOGAS</b>	2,5	67 57	0,03700
<b>GASES/COMBS</b>	1,5	51 07	0,02937
<b>LEÑA</b>	14,4	36 052	0,00040
<b>Superior</b>	33,71	114 500	0,00029
<b>Regular</b>	32,1	114 000	0,00028
<b>Diésel</b>	29,18	132 000	0,00022
<b>Bunker</b>	22,69	150 000	0,00015
<b>GLP</b>	0,008	8 056,49	0,00000

Fuente: elaboración propia.

El precio de los biocombustibles no está establecido por el poder energético que generan; los costos de producción son altos y la tecnología para su desarrollo aún no es eficiente razón por la que no existe competitividad en el mercado energético respecto de los combustibles fósiles.

Esta diferencia en los costos se debe principalmente a la disponibilidad de la materia prima, costos en los procesos de producción, y tecnología y equipos, etc. que finalmente se ven reflejados en los precios de los biocombustibles.

Las equivalencias de precios por generación energética de combustibles fósiles y biocombustibles, establecen las unidades monetarias o energéticas necesarias para que un combustible sustituya a otro.

Tabla XXII. **Matriz de precios por energía generada para combustibles fósiles y biocombustibles y sus equivalencias**

Matriz de equivalencia de precios por generación energética						
PRODUCTO		Superior	Regular	Diesel	Bunker	GLP
	Q/BTU	0,0003	0,0003	0,00023	0,00016	1,00E-04
PELLETS	0,00335	11,17256499	11,17256499	14,57291086	20,94855936	3,35E+01
BRIQUETAS	0,00063	2,109395575	2,109395575	2,751385532	3,955116703	6,33E+00
CARBÓN	0,00021	0,699988352	0,699988352	0,913028285	1,31247816	2,10E+00
GAS POBRE	0,13780	459,3477262	459,3477262	599,1492081	861,2769867	1,38E+03
ETANOL 95%	0,00035	1,152308898	1,152308898	1,503011606	2,160579183	3,46E+00
BIODIÉSEL	0,00034	1,13471984	1,13471984	1,480069356	2,1275997	3,40E+00
BIOGAS	0,03700	123,3288935	123,3288935	160,8637741	231,2416753	3,70E+02
GASES	0,02937	97,9048365	97,9048365	127,7019607	183,5715684	2,94E+02
LEÑA	0,00040	1,331410185	1,331410185	1,736621981	2,496394097	3,99E+00

Fuente: elaboración propia.

La interpretación de las equivalencias es la siguiente: con el costo que generó un BTU de pellets, se genera 11.17 BTU de gasolina superior, 11.17 BTU de gasolina regular 14.57 BTU y 20.94 BTU de bunker, que son más baratos que las gasolinas.

La elaboración de herramientas técnicas a través de matrices con información sobre contenidos energéticos, equivalencias y precios de los combustibles biomásicos y los combustibles de origen fósil, brindan información resumida para realizar decisiones en forma rápida, práctica y objetiva en proyectos energéticos que los involucren.

## CONCLUSIONES

1. La información generada permite evaluar y realizar decisiones objetivas sobre la panorámica energética nacional y el contenido energético, precios, producción, uso o sustitución de los combustibles biomásicos, considerando los costos económicos y ambientales que estos implican.
2. La información obtenida permite realizar equivalencias en las unidades más utilizadas en el mercado energético, unidad térmica británica (BTU) para generación de calor, kilowatt hora (KW-h) para generación de energía eléctrica y barriles equivalentes de petróleo (BEP) para estimaciones en el mercado internacional; y los precios por energía generada en quetzales tanto para combustibles fósiles como biocombustibles; además proporciona las equivalencias energéticas entre los biocombustibles.
3. Guatemala cuenta con plantaciones de bosques energéticos, plantaciones de caña de azúcar, plantaciones de *Jatropha curca* y palma africana, suficientes para producir combustibles de origen biomásico en forma sostenible, abastecer la demanda energética actual a nivel nacional y mitigar los efectos adversos generados por el consumo indiscriminado de combustibles fósiles.



## RECOMENDACIONES

1. Promover la participación de combustibles biomásicos en la matriz energética nacional con la finalidad de disminuir la demanda actual en el país; especialmente en el área rural donde el bajo poder adquisitivo y la falta de infraestructura vial impiden el abastecimiento energético con otro tipo de combustibles.
2. Fortalecer, actualizar y ejecutar la legislación e incentivación fiscal existente, relacionada con los combustibles biomásicos, para garantizar la competitividad de estos en proyectos energéticos dentro del mercado energético nacional.
3. Fortalecer la capacidad de análisis y planificación del sistema energético nacional para garantizar decisiones objetivas y prácticas en el uso de los biocombustibles y mitigar los impactos económicos, sociales y ambientales que el uso indiscriminado de combustibles convencionales genera.
4. Incentivar la inversión en el desarrollo de tecnologías eficientes y programas de desarrollo sostenible para la producción y uso de biocombustibles, con la finalidad de abastecer la demanda energética nacional.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁBREGO GARRUÉS Javier, Reseau Adeline y García Galindo Daniel. *Energía de la biomasa, volumen I*, Universidad de Zaragoza, 2010. 557 p.
2. AGENCIA DE ENERGÍA DE BARCELONA. *Unidades y equivalencias energéticas*. [en línea]. Disponible en: [enerxia.wordpress.com/.../unidades-y-equivalencias-energéticas/](http://enerxia.wordpress.com/.../unidades-y-equivalencias-energéticas/). [Consulta: febrero 2012]
3. AGUILAR PERIS José y Gonzales de Posada Francisco. *El efecto invernadero, el cambio climático, la crisis medioambiental y el futuro de la tierra*. Real Academia Nacional de Medicina. Madrid 2003. 105 p.
4. ARPEL-LICA. *Manual de biocombustibles*. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe. Arpel 2009. 190 p.
5. CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). *La energía y las metas del milenio en Guatemala, Honduras y Nicaragua*. 2008. 90 p.
6. CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe *Propuesta de política pública para el aprovechamiento sostenible y eficiente de la leña en Guatemala*. Guatemala 2011. 66 p.

7. CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Sostenibilidad energética en América Latina y El Caribe: el aporte de las fuentes renovables*. 2003. 100p.
8. CEPAL. Comisión Económica para Latinoamérica y Ministerio de Energía y Minas. *Informe Final, encuesta nacional de leña (consumo de la leña en hogares y pequeña industria en la República de Guatemala)*. Guatemala, abril 2011. 41 p.
9. COMISIÓN CENTROAMERICANA DE AMBIENTE Y DESARROLLO – CAD- y Consejo Agropecuario Centroamericano –CAC- 2008. *Programa estratégico regional para el manejo de los ecosistemas forestales*. Comité Técnico de Bosques. 48 p.
10. Conferencia de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas. *Convención Marco sobre el Cambio Climático*. Rio de Janeiro 1992.
11. CONTRERAS S, Ana Beatriz. *Impactos ambientales de la producción de agrocombustibles en base a caña de azúcar en la costa sur de Guatemala*. Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos. Guatemala, 2009. 60 p.
12. COVIELLO Manlio y ALTOMONTE, Hugo. *Sostenibilidad Energética en América Latina y el Caribe: El aporte de las fuentes renovables*. Conferencia Regional para América Latina y el Caribe sobre Energías Renovables, Brasilia, 29 y 30 de octubre de 2003, por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 80 p.

13. DÍAZ BORRÁS Andrés José. *Utilización del biodiesel como combustible alternativo para motores de combustión interna en Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, noviembre 2004. 175 p.
14. DE JUANA SARDÓN, José María (Coo.) *Energías renovables para el desarrollo*. 2 ed. España: Editorial Paraninfo, 2003. 331 p.
15. FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES DE COLOMBIA. *Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de Biocombustibles en Colombia Growing Green*, Asociación de Combustibles Renovables. Colombia 2012. Boletín informativo. 25 p.
16. FOCER. Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central. BUN-CA. *Biomasa Manual sobre Energía Renov.* Costa Rica. Septiembre, 2002. 56 p.
17. GARCÍA CAAL, Edwin Rolando. *Presentación de resultados finales. Cuenta Integrada del Bosque*, Instituto Nacional de Bosques. Universidad Rafael Landívar. Guatemala, 2012. 56 p.
18. GARCÍA PRADO, Romel. *Caracterización Energética de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería Escuela de Estudios de Postgrado. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Guatemala, 2008. 143 p.
19. GARCÍA, Fabio; HERNÁNDEZ, Gabriel; LUNA, Néstor. *Manual de estadísticas energéticas 2011*. Organización latinoamericana de energía (OLADE). 2011. 191 p.

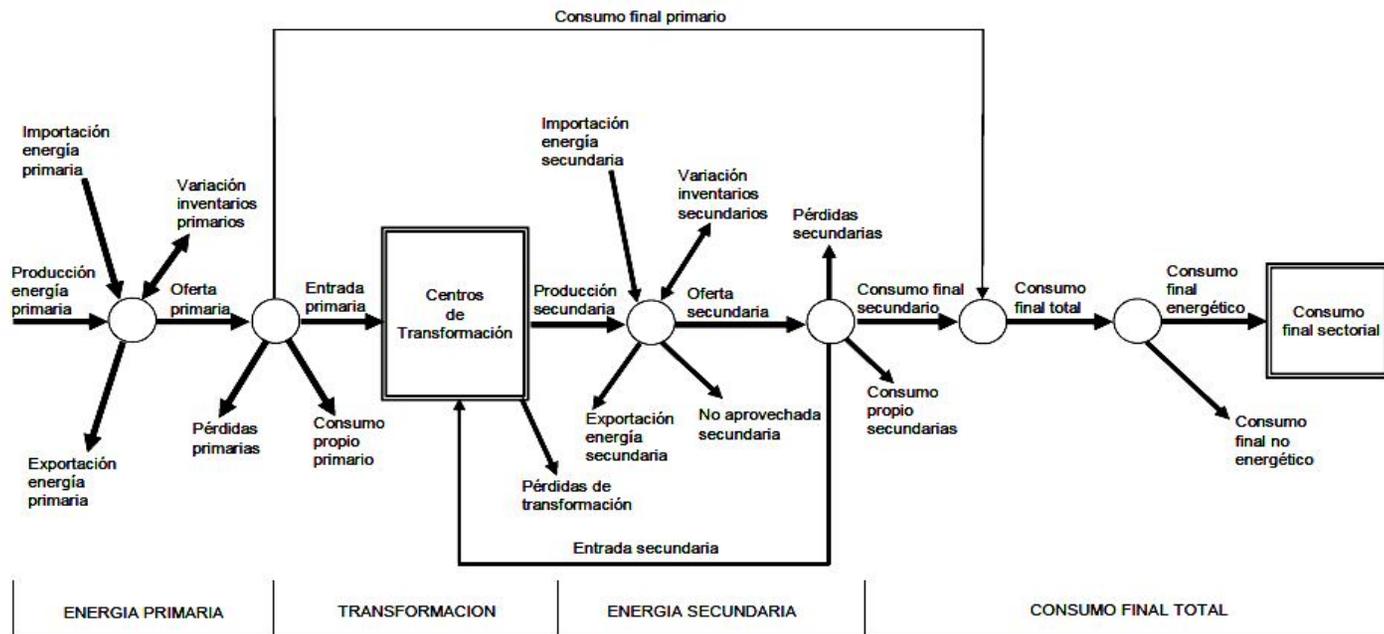
20. GONZÁLEZ VELASCO Jaime. *Energías renovables*. 1ª ed. Barcelona Reverté, 2009, 670 p.
21. Guatemala. *Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Presidencia de la República, Acuerdo Gubernativo # 431-2007. Guatemala, 2007. 20p.
22. IICA, MAC, MARNR, MEM, UCV Venezuela. *1er seminario nacional sobre agroenergía en Venezuela*. IICA Biblioteca Venezuela, 2008, 130 p.
23. Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente. *Perfil Ambiental de Guatemala, 2008-2009*. Guatemala, 2009. IARNA/URL. 343 p.
24. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. *Atlas de las agroenergías y los biocombustibles en América Latina*. 2007. [en línea] disponible en [www.iica.int](http://www.iica.int). [consulta: marzo 2012].
25. MARN. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Política Nacional de Cambio Climático*. Gobierno de Guatemala, Guatemala. 2009. 30 p.
26. MARN. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Visión Prospectiva de los Biocombustibles en Guatemala*. Primer Simposio: Presente y Futuro de los Biocombustibles en Guatemala, julio 2010.
27. MARN-URL/IARNA-PNUMA. *Informe Ambiental del Estado-GEO Guatemala, 2009*. Guatemala, 2009. 286 p.

28. MARTINÉZ H., H. A. *Estudio sobre leña en hogares y pequeña industria y distribuidores de Guatemala*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica 1982, Serie Técnica. Informe Técnico No. 27. 64 p.
29. MEM. Ministerio de Energía y Minas. *Estadísticas energéticas, subsector eléctrico 2010*. Guatemala, octubre 2011. 9 p.
30. MEM. Ministerio de Energía y Minas. *Política Energética 2008-2022. República de Guatemala*. Guatemala, 2008. 40p.
31. MEM. Ministerio de Energía y Minas. *Política Energética y Minera 2008-2015*. Guatemala: Paz editores, octubre 2007. 100 p.
32. OCHOA O., Werner Armando. *Implicaciones del desarrollo de agrocombustibles en Guatemala*. Universidad de San Carlos de (USAC). Dirección General de Investigación (DIGI). Guatemala. noviembre 2007. 88 p.
33. OLADE. Organización Latinoamericana de Energía. *Sistema de Información económica energética*. Quito, Ecuador, octubre, 2010. 12 p.
34. PÉREZ M, Carlos Isaac y RAMÍREZ M, Miguel. *Estudio de mercado del biodiesel en El Salvador, Honduras y Nicaragua*. World Busines Council for Sustainable Development (WBCSD), agosto 2008. 82 p.

35. TAY OROXÓN, José Manuel. *Evolución Tecnológica de la fabricación de equipos domésticos para combustión de leña como consecuencia del tipo de materiales utilizados. Ensayo de eficiencia.* Estudio de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Postgrado. Guatemala mayo 2007. 87 p.
  
36. ZANOTTI, JR. *Los bosques energéticos en Guatemala y el uso de leña.* Instituto Nacional de Bosques (INAB). Guatemala 2008. 66p.

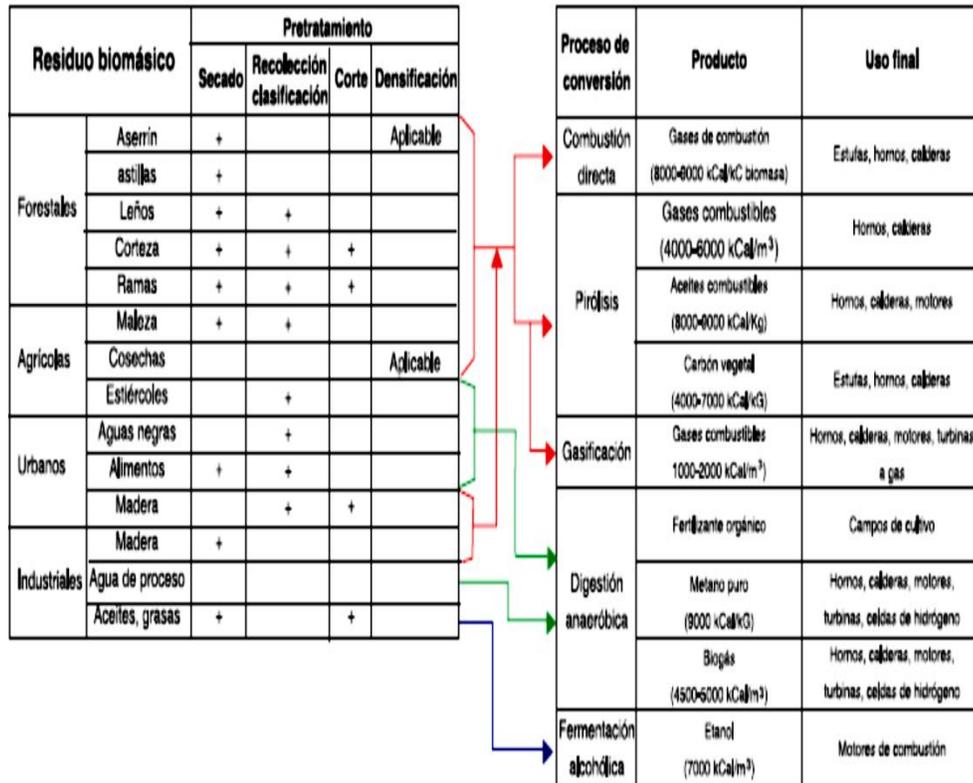
# ANEXOS

Anexo 1. Estructura de la cadena energética



Fuente: OLADE 2011. P. 133.

## Anexo 2. Vía de transformación de biomasa



Fuente: BIOMASA, Manual de biocombustibles. P.110.

### Anexo 3. Resumen de entrevistas realizadas

INSTITUCIÓN	DEPENDENCIA	ENCARGADO	APORTE INFORMATIVO
<b>Ministerio de Energía y Minas</b>	Dirección general de energía	Ing. Oswaldo García	Balance energético nacional, producción uso y legislación de biocombustibles
		Ing. Otto Ruíz	Proyectos energéticos, proyectos piloto y proyecciones energéticas biomásicas.
	Dirección general de hidrocarburos	Ing. Luis Pedroza	Volumen de producción etanol y biodiesel
<b>Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales</b>	Gestión ambiental Cambio climático	Oficina de información pública	Evaluación de proyectos de producción de biomasa
<b>Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos</b>	Dirección de desarrollo agrícola	Oficina de información pública	Plantaciones de monocultivos con fines energéticos, oferta y demanda, legislación, riesgos e impactos ambientales potenciales.
	Departamento de cultivos agro industrializables		
<b>Ministerio de Finanzas Públicas</b>	Superintendencia de Administración Tributaria	Oficina de información pública	Importaciones y exportaciones de combustibles biomásicos, incentivos fiscales por producción
<b>Banco de Guatemala</b>	Departamento de importaciones y exportaciones	Oficina de información pública	Volúmenes de exportación e importación de combustibles, plantaciones energéticas.
<b>Universidad del Valle de Guatemala</b>	Facultad de ingeniería Escuela de Ingeniería Química	Ing. Gamaliel Zambrano	Proceso de producción, rendimientos, costos y requerimientos para usos de biodiesel
		Ing. Jaime Rosales	
<b>Asociación de Palmicultores de Guatemala</b>	Asociación de Palmicultores	Msc. Ing. Carlos Ramírez	Información regional y continental sobre cultivos, legislación nacional y normativas internacionales.
<b>Asociación de Azucareros de Guatemala</b>	Centro guatemalteco de investigación y capacitación de la caña	Dr. Msc. Ing. Qco. Rodolfo Espinoza	Producción, refinerías, costos, rendimientos, usos, de plantaciones de caña y etanol
	Instituto privado de investigación sobre el cambio climático	Oficina de información y divulgación	
<b>Instituto Nacional Bosques</b>	Sistema de información Forestal de Guatemala	Oficina de información pública	Plantaciones energéticas, producción y precios de leña, especies arbóreas más utilizadas, incentivos forestales
	Dirección de Industria y Comercio Forestal	Ing. Wilfredo Villagrán	
	Dirección de manejo y conservación de bosques	Jorge García, coordinador SIFGUA.	
<b>Asociación de Exportadores de Guatemala</b>	Gerencia de servicio al cliente	Licda. Lorena Pérez	Volúmenes y destinos de exportación de combustibles biomásicos
<b>Universidad Rafael Landívar</b>	<b>Instituto de Agricultura y Recursos Naturales</b>	Msc. Ing. Juventino Gálvez	Cuenta integrada de energía y emisiones, cuenta integrada del bosque, cuenta integrada de residuos, sistema de contabilidad ambiental y económica.

Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. **Características fisicoquímicas de biocombustibles**

<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>PODER ENERGÉTICO</b>
Etanol ( caña)	794 Kg/m <sup>3</sup>	26.7 MJ/Kg
Biodiesel (palma)	40.16 MJ/Kg	860-900 g/ml
Biodiesel (Jatropha)	39.77 MJ/ Kg	0.875-0.9 g/cm <sup>3</sup>

Fuente: Biooils energy, /www.bio-oils.com/BIOCARBURANTES

<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>PODER ENERGETICO</b>
Leña	600 Kg/m <sup>3</sup>	16,747 Kj/Kg

Fuente: Diagnóstico Leña, pág. 25.

<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>PODER ENERGÉTICO</b>
Biogás	108 Kg/m <sup>3</sup>	5,500-6,200 Kcal/m <sup>3</sup>

Fuente: www.solucionespracticas.org.pe/td/pdf/Biogas.ppt Bolivia 2011.

Estos varían de acuerdo con la materia prima utilizada, desechos urbanos, desechos industriales (industria alimenticia), desechos agroindustriales (estiércol), etc.

Anexo 5. **Poder calórico de especies más utilizadas de leña**

ESPECIE	Eucalipto	Pino	Cedro	Ciprés	Encino
<b>PODER CALORICO (Kcal/kg)</b>	4,593	4,892	4,316	5,123	4,658

Fuente: [www.aquis.cl/Sobre-Medio-Ambiente.html](http://www.aquis.cl/Sobre-Medio-Ambiente.html). Guatemala, 2011.

Anexo 6. **Poder calórico de productos de origen maderable**

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

Fuente: RWEDP, 2002, pág. 33.

El poder calorífico varía en función del contenido de humedad y del tipo de leña utilizada. Este valor se reduce aproximadamente a unas 3.500 kcal/kg en la madera secada al aire, con un 20% de humedad residual. A mayor contenido de humedad, el poder calorífico se reduce sustancialmente.

Las especies que se utilizan para leña en el país, dependen de la zona geográfica; aunque no existen estudios recientes a nivel nacional que permitan dar un dato preciso sobre la preferencia de las especies, esta parece depender principalmente de su disponibilidad.

## Anexo 7. Producción nacional de leña 2012

PRODUCCION DE LEÑA; Número, área y volumen autorizado y registrado de licencias forestales y exentos de licencias.								
DEPARTAMENTO	Licencias autorizadas y POA's activos					Exentos		Volumen total aprovechado (m³)
	Cantidad	Área bajo manejo (has)	No. de POA's aprobados	Volumen autorizado (m³)	Área de aprovechamiento	Cantidad	Volumen Aprovechado (m³)	
Alta Verapaz	94	1,147.19	97	59,692.07	955.36	609	177,652.20	237,344.27
Baja Verapaz	40	376.00	53	37,680.09	757.29	344	31,448.75	69,128.84
Chimaltenango	46	518.56	50	26,371.88	168.28	732	29,283.16	55,655.04
Chiquimula	3	316.83	5	8,312.18	100.19	103	900.63	9,212.81
El Progreso	12	166.12	9	5,941.02	185.01	38	1,490.67	7,431.69
Escuintla	24	1,384.28	26	17,942.98	967.17	180	58,865.24	76,808.22
Guatemala	49	151.87	51	24,023.83	145.38	77	25,511.90	49,535.73
Huehuetenango	3	14.35	6	3,201.17	13.70	617	4,374.17	7,575.34
Izabal	1	90.00	3	2,900.02	114.69	27	133,897.23	136,797.25
Jalapa	24	929.83	32	27,027.07	652.08	197	4,927.91	31,954.98
Jutiapa	7	29.66	9	3,857.17	54.85	95	784.56	4,641.73
Petén	5	734.49	6	2,646.86	812.42	93	90,882.86	93,529.72
Quetzaltenango	22	494.48	24	37,153.54	325.16	726	80,105.57	117,259.11
Quiché	36	126.78	44	27,398.39	143.25	281	4,200.68	31,599.07
Retalhuleu	12	2,677.70	13	17,029.50	2,652.90	347	194,947.36	211,976.86
Sacatepéquez	8	7.79	11	2,421.25	6.94	182	23,560.96	25,982.21
San Marcos	10	1,282.38	12	9,965.20	425.77	866	71,252.48	81,217.68
Santa Rosa	13	158.69	16	23,558.64	499.32	80	3,739.14	27,297.78
Sololá	0	0.00	0	0.00	0.00	1,068	6,636.59	6,636.59
Suchitepéquez	13	430.21	13	4,527.64	123.66	414	292,452.45	296,980.09
Totonicapán	9	47.82	11	4,760.04	79.37	127	1,029.82	5,789.86
Zacapa	2	3.16	6	8,342.85	131.40	103	82,712.61	91,055.46
Totales	433	11,088.19	497	354,753.39	9,314.19	7,306	1,320,656.94	1,675,410.33

Fuente: Sistema de Información forestal de Guatemala.

## Anexo 8. Precios de biocombustibles

<b>BIOCOMBUSTIBLE</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>Precio por litro</b>
Biodiesel	30/6/2012	\$1.46
Etanol	30/6/2012	\$1.16

Fuente: Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, 2012, pág.40.

- Etanol brasileiro: \$ 0.98-1.25 /litro. **Fuente diario de Sao Paulo 6/6/2012**
- Pellets: 4,51 c€/KWh en sacos de 15 kilos y en 3,38 c€/kWh a granel. La astilla de pino triturada también se mantiene en 1,39 c€/kWh equivalente a 14.67 c€/ galón. **Fuente: La producción de energía con pellets. grupoarteko.blogspot.com.**
- Carbón vegetal: Q. 1.83/kg de pino. **Fuente: www.mundoanuncio.com.gt/oferta-distribucion-ca.**

**Anexo 8. Precio promedio de la tarea de leñas para las diferentes regiones en Guatemala**

Subregión	Promedio
Metropolitana I, Municipio, Guatemala	Q.385.00
II-1, Municipio, Tactic, A. V.	Q.97.00
II-2, Municipio, Rabinal, B. V.	Q.275.00
II-3, Municipio, Cobán, A. V.	Q.112.00
II-4, Municipio, San Jerónimo, B. V.	Q.275.00
II-5, Municipio, Fray Bartolomé, A. V.	Q.105.00
II-6, Municipio, Ixcan, Quiche.	Q.143.00
III-1, Municipio, Izabal,	Q.268.00
III-2, Municipio, Zacapa,	Q.300.00
III-3, Municipio, Chiquimula,	Q.228.00
III-4, Municipio, El Progreso, Gustatoya	Q.224.00
IV-1, Municipio, Jalapa	Q.245.00
IV-2, Municipio, Santa Rosa,	Q.163.00
IV-3, Municipio, Jutiapa	Q.215.00
V-1, Municipio, Sacatepéquez	Q.213.00
V-2, Municipio, Chimaltenango	Q.192.00
VI-1, Municipio, Quetzaltenango	Q.220.00
VI-2, Municipio, San Marcos	Q.186.00
VI-3, Municipio, Totonicapán	Q.175.00
VI-4, Municipio, Sololá,	Q.161.00
VII-1, Municipio, Quiché	Q.224.00
VII-2, Municipio, Huehuetenango	Q.337.00
VII-3, Municipio, Soloma	Q.167.00
VIII-1, Municipio, San Benito	Q.278.00
VIII-2, Municipio, Poptun	Q.123.00
VIII-3, Municipio, Sayaxché	Q.200.00
VIII-4, Municipio, La Libertad	Q.206.00
IX-1, Municipio, Suchitepéquez	Q.174.00
IX-2, Municipio, Escuintla	Q.159.00
IX-3, Municipio, Retalhuleu	Q.146.00
IX-4, Municipio, Coatepeque	Q.180.00
<b>Promedio</b>	<b>Q.206.00</b>

Fuente: Los Bosques Energéticos, INAB, 2008. P. 40.

Anexo 9. **Unidades de medida de leña más utilizadas en Guatemala**

UNIDAD	No. DE LEÑOS
Tarea	400-900
Carga	70-150
Tercio/Manojo	20-25
Carretilla	120-200
Pick up	500-800

Fuente: Informe Final Encuesta Leña.

Anexo 10. **Programa de Incentivos Fiscales, Instituto Nacional de Bosques**

PINFOR 1998-2011					
Actividad	Proyectos	Área (ha.)	Monto (Q.)	Beneficiarios	Empleos
Reforestación	4,722	107,76 4.59	1,091,346,79 7.30	327,794	72,617
Manejo de Bosque Natural	2,474	201,78 5.86	245,215,047. 78	5,748 <sup>40</sup>	122,508
Total	,196	309,55 0.45	1,336,561,84 5.08	73 3,542	195,125

Fuente: Sistema informativo forestal de Guatemala. SIFGUA, 2012.