



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

EVALUACIÓN PRIMARIA DEL PROYECTO DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ, *APERTURE ENGINE*, COMO INSTRUMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN GUATEMALA

Braulia Raquel Tintí Rivas

Asesorado por el Ing. Erick Leonel Hernández Girón

Guatemala, julio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN PRIMARIA DEL PROYECTO DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ, *APERTURE ENGINE*, COMO INSTRUMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BRAULIA RAQUEL TINTÍ RIVAS

ASESORADO POR EL ING. ERICK LEONEL HERNÁNDEZ GIRÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|-----------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Ismael Homero Jeréz González |
| EXAMINADOR | Ing. César Augusto Akú Castillo |
| EXAMINADOR | Ing. Víctor Hugo García Roque |
| 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:

EVALUACIÓN PRIMARIA DEL PROYECTO DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ, *APERTURE ENGINE*, COMO INSTRUMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 30 de abril de 2012.



Braulia Raquel Tintí Rivas

Guatemala, 15 de enero de 2014

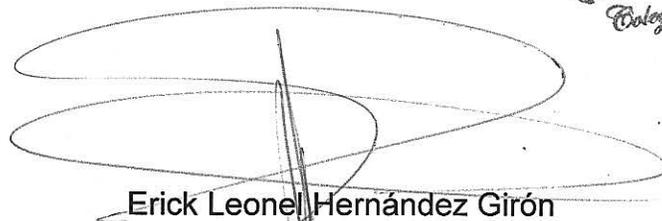
Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Presente

Ha finalizado la etapa de asesoría del trabajo de graduación del estudiante Braulia Raquel Tintí Rivas con carné 2001-20410, previo a obtener el título de ingeniero industrial. El trabajo en cuestión se titula: **EVALUACIÓN PRIMARIA DEL PROYECTO DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ, APERTURE ENGINE, COMO INSTRUMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN GUATEMALA.**

Por lo anterior al haber efectuado el alumno todas las observaciones y recomendaciones que en su oportunidad se le indicaron, como asesor del trabajo de Graduación, apruebo el contenido de la misma.

Atentamente,

*Erick L. Hernández G.
Colegiado No. 6586*



Erick Leonel Hernández Girón

Ingeniero Industrial

Colegiado No. 6586



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **EVALUACIÓN PRIMARIA DEL PROYECTO DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ, APERTURE ENGINE, COMO INSTRUMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Braulia Raquel Tintí Rivas**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Edgar Darío Álvarez Cotí
Ing. Mecánico Industrial
Colegiado No. 3424

Guatemala, mayo de 2014.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN PRIMARIA DEL PROYECTO DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ, APERTURE ENGINE, COMO INSTRUMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Braulia Raquel Tintí Rivas**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, julio de 2014.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN PRIMARIA DEL PROYECTO DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ, APERTURE ENGINE, COMO INSTRUMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Braulia Raquel Tintí Rivas** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, julio de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

Dios todopoderoso

Quien es luz de mi vida

Mis padres

Alfonso Tintí Hernández y Telma Alicia Rivas Rivera, por su amor, esfuerzos y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|---|
| Mi familia en general | Por creer en mí. |
| Mis amigos y compañeros de estudio y trabajo | Por ser una parte importante de mi carrera. |
| Ing. Erick Leonel Hernández Girón | Por su asesoría y colaboración durante toda mi carrera profesional. |
| Sr. Enrique León Rabanales | Por compartir sus investigaciones y conocimientos, en especial por <i>Aperture Engine</i> . |
| Rossellco, S. A. | Por permitirme crecer profesionalmente. |
| Y | A todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo de graduación. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | VII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XI |
| GLOSARIO | XIII |
| RESUMEN..... | XXI |
| OBJETIVOS..... | XXIII |
| INTRODUCCIÓN | XXV |
| | |
| 1. ASPECTOS GENERALES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE | 1 |
| 1.1. Origen y evolución del desarrollo sostenible | 1 |
| 1.1.1. Evolución del término a nivel mundial..... | 3 |
| 1.2. Concepto y dimensiones del desarrollo sostenible | 8 |
| 1.3. Principios de sostenibilidad | 10 |
| 1.3.1. Área social..... | 12 |
| 1.3.2. Área económica..... | 13 |
| 1.3.3. Área medio ambiente..... | 14 |
| 1.4. Representación gráfica del desarrollo sostenible | 17 |
| 1.5. El desarrollo sostenible como objetivo ético y político | 20 |
| 1.6. Influencia del sector energético y la sustentabilidad..... | 22 |
| 1.7. Modelos de indicadores e índices de sostenibilidad..... | 24 |
| 1.7.1. Modelo presión-estado-respuesta (PER)..... | 24 |
| 1.7.2. Modelo direccionadores económicos e impactos ... | 25 |
| 1.7.3. Modelos de la huella ecológica..... | 25 |
| 1.7.4. Environmental Sustainability Index (ESI)..... | 26 |
| 1.7.5. Modelo de Krajnc y Glavic | 27 |
| 1.7.6. Modelo de U. S. environment protection agency | 27 |

| | | |
|---------|--|----|
| 1.7.7. | Índice entorno de sostenibilidad (IES)..... | 28 |
| 1.7.8. | Modelo AUDITSOS | 28 |
| 1.7.9. | Agenda local 21..... | 29 |
| 1.7.10. | Modelo BRIDGESworks | 30 |
| 1.7.11. | European Common Indicators..... | 31 |
| 1.7.12. | Ecoindicador 99..... | 32 |
| 1.7.13. | Norma UNE 66175:2003 Sistema de gestión de la calidad. Guía para la implantación de sistemas de indicadores..... | 33 |
| 1.7.14. | Modelo Gross Domestic Product (GDP)..... | 33 |
| 1.7.15. | Human Development Index (HDI) | 34 |
| 1.7.16. | Modelo IndicaRSE..... | 34 |
| 1.7.17. | Modelo Wellbeing Index | 35 |
| 1.7.18. | Environmental Performance Index (EPI) | 35 |
| 1.7.19. | Environmental Vulnerability Index (EVI)..... | 36 |
| 1.7.20. | Living Planet Index | 37 |
| 1.7.21. | Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW) | 37 |
| 1.7.22. | United Nations Urban Settlement Programme Urban Indicators Toolkit..... | 38 |
| 2. | EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN GUATEMALA..... | 39 |
| 2.1. | Localización y descripción del área de estudio | 39 |
| 2.1.1. | Aspectos geográficos relevantes..... | 41 |
| 2.1.2. | Clima | 42 |
| 2.1.3. | Recursos naturales | 43 |
| 2.1.4. | Población..... | 43 |
| 2.1.5. | Indicadores sociales | 43 |
| 2.1.6. | Sistema de Gobierno..... | 44 |
| 2.1.7. | Aspectos económicos | 44 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.1.8. | Infraestructura de servicio | 45 |
| 2.2. | Situación actual | 46 |
| 2.2.1. | Contexto regional..... | 47 |
| 2.2.2. | Contexto nacional | 48 |
| 2.2.3. | Desarrollo humano | 49 |
| 2.2.4. | Producción y consumo en Guatemala, fortalezas y amenazas | 49 |
| 2.3. | Medios como herramientas hacia el desarrollo sostenible | 50 |
| 2.3.1. | Económicos | 51 |
| 2.3.2. | Educación..... | 52 |
| 2.3.3. | Bienes y servicios | 52 |
| 2.3.4. | Consumo y producción sostenible | 53 |
| 2.3.5. | Acciones del Estado | 54 |
| 2.4. | Instituciones relacionadas con el fomento del desarrollo sostenible | 55 |
| 2.5. | Importancia de energía eléctrica para el desarrollo sostenible | 57 |
| 3. | MERCADO ELÉCTRICO EN GUATEMALA..... | 59 |
| 3.1. | Matriz energética | 60 |
| 3.2. | Generalidades de la energía renovable..... | 65 |
| 3.3. | Mercados de generación de energía eléctrica renovable en Guatemala..... | 66 |
| 3.3.1. | Hidroeléctricas..... | 67 |
| 3.3.2. | Biomasa..... | 69 |
| 3.3.3. | Biogás..... | 71 |
| 3.3.4. | Solar | 74 |
| 3.3.5. | Eólica..... | 76 |
| 3.3.6. | Cogeneración | 79 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.3.7. | Térmica | 81 |
| 3.3.8. | Geotérmica..... | 83 |
| 3.3.9. | Hidrógeno..... | 84 |
| 3.3.10. | Mareomotriz | 86 |
| 3.4. | Aspectos del mercado eléctrico en Guatemala | 87 |
| 3.4.1. | Estadísticas y tendencias del sector eléctrico de Guatemala..... | 88 |
| 3.4.2. | Marco normativo, regulatorio e institucional del sector eléctrico | 92 |
| 3.4.3. | Funcionamiento del mercado eléctrico de Guatemala..... | 97 |
| 3.4.3.1. | Trámites requeridos para el otorgamiento de permisos de instalación de plantas de generación eléctrica | 101 |
| 3.5. | Costos de generación y precios de la energía | 101 |
| 3.5.1. | Generación eléctrica renovable..... | 104 |
| 3.5.1.1. | Tendencias internacionales..... | 105 |
| 3.5.1.2. | Renovables en el contexto de Guatemala..... | 105 |
| 3.5.2. | Precios de la energía eléctrica en Guatemala..... | 110 |
| 3.5.2.1. | Precios para usuarios finales | 112 |
| 3.5.3. | Demanda de energía eléctrica en Guatemala | 114 |
| 3.5.3.1. | General..... | 114 |
| 3.5.3.2. | En las costas de Guatemala (mercado potencial)..... | 117 |
| 3.6. | Mercados de carbono en Guatemala | 121 |
| 3.7. | Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) | 122 |
| 3.7.1. | En el mundo, Latinoamérica y el Caribe..... | 124 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.7.2. | En Guatemala MDL de energías renovables | 128 |
| 4. | ENERGÍA MAREOMOTRIZ Y EL PROYECTO <i>APERTURE ENGINE</i> | 131 |
| 4.1. | Aspectos generales de la energía mareomotriz | 131 |
| 4.2. | Energía mareomotriz en Guatemala..... | 133 |
| 4.2.1. | Formas de aprovechamiento | 133 |
| 4.2.2. | Referencias legales | 135 |
| 4.3. | Sistema <i>Aperture Engine</i> | 136 |
| 4.3.1. | Descripción y funcionamiento | 137 |
| 4.3.2. | Aspectos técnicos..... | 138 |
| 4.3.2.1. | Factores a considerar | 138 |
| 4.3.2.2. | Factor marítimo en conjunto | 139 |
| 4.3.2.3. | Especificaciones | 141 |
| 4.3.2.4. | Rendimiento..... | 144 |
| 4.3.3. | Aspectos financiero y comercial | 146 |
| 4.3.3.1. | Costos de inversión | 147 |
| 4.3.3.2. | Costos de operación y mantenimiento | 156 |
| 4.3.3.3. | Generación y tarifa final | 161 |
| 4.3.4. | Aspectos ambientales..... | 162 |
| 4.3.4.1. | Efectos del uso | 163 |
| 4.3.4.2. | Modificaciones del entorno | 163 |
| 4.3.4.3. | Impacto en el entorno social | 164 |
| 4.3.4.4. | Impacto de ruido y visual | 164 |
| 4.4. | Análisis FODA del proyecto <i>Aperture Engine</i> | 165 |
| 4.4.1. | Estrategias FODA..... | 167 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 5. | EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL PROYECTO <i>APERTURE ENGINE</i> COMO INSTRUMENTO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE | 169 |
| 5.1. | Evaluación cualitativa..... | 169 |
| 5.1.1. | Viabilidad económica ambiental | 169 |
| 5.1.2. | Equidad económica social..... | 170 |
| 5.1.3. | Soportabilidad socioambiental..... | 171 |
| 5.2. | Evaluación cuantitativa..... | 172 |
| 5.2.1. | Indicadores energéticos del desarrollo sostenible.172 | |
| 5.2.1.1. | Sociales..... | 173 |
| 5.2.1.2. | Económicos..... | 173 |
| 5.2.1.3. | Ambientales..... | 173 |
| 5.2.2. | Metodología y aplicación de indicadores energéticos..... | 174 |
| 5.2.3. | Hojas de metodología | 189 |
| 5.3. | Resultados y estadísticas..... | 191 |
| | CONCLUSIONES..... | 197 |
| | RECOMENDACIONES | 201 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 203 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | Esquema gráfico del desarrollo sostenible..... | 19 |
| 2. | Mapa de la República de Guatemala..... | 41 |
| 3. | Participación en la producción de energía en el SIN por tipo de combustible, 2012..... | 61 |
| 4. | Transformación de la matriz energética..... | 63 |
| 5. | Aprovechamiento de la generación de energías renovables..... | 64 |
| 6. | Esquema de central hidroeléctrica..... | 68 |
| 7. | Esquema de generación de energía solar..... | 74 |
| 8. | Esquema de generación de energía eólica..... | 77 |
| 9. | Esquema generación de energía térmica..... | 82 |
| 10. | Proyección de la producción de energía eléctrica en el SIN por tipo de combustible, 2017..... | 89 |
| 11. | Esquema de transporte y generación de energía eléctrica..... | 90 |
| 12. | Esquema de organización del sector eléctrico de Guatemala..... | 96 |
| 13. | Gráfica de proyección de composición de la generación de energía del día 22 de marzo de 2014..... | 102 |
| 14. | Producción de energía en Guatemala por tipo de combustible..... | 107 |
| 15. | Generación de energía eléctrica por tipo de tecnología..... | 108 |
| 16. | Costo variable de generación promedio semanal de motores de combustión interna..... | 111 |
| 17. | Proyección de la demanda de energía eléctrica en Guatemala..... | 115 |
| 18. | Demanda máxima anual de potencia SIN (MW) 2006-2012 y crecimiento porcentual anual de la demanda de potencia..... | 116 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 19. | Cobertura de las empresas de distribución de energía eléctrica de Guatemala | 119 |
| 20. | Esquema de conexión en conjunto con el mar del sistema eléctrico, <i>Aperture Engine</i> | 140 |
| 21. | Esquema general, <i>Aperture engine</i> | 144 |
| 22. | ECO3 Dependencia del consumo energético de las importaciones de energía (%)..... | 193 |
| 23. | AMB5 Factor de utilización de las instalaciones energéticas (factor de planta)..... | 194 |
| 24. | SOC5 Porcentaje de viviendas conectadas a una red de energía eléctrica | 195 |
| 25. | Comparativa de la emisión de GEI del sistema de EE actual y la reducción de GEI con sistema <i>Aperture</i> | 196 |

TABLAS

| | | |
|-------|---|-----|
| I. | Aspectos evolutivos del desarrollo sostenible | 3 |
| II. | Datos generales de Guatemala | 40 |
| III. | Factor de planta y costos totales de generación por tecnología | 62 |
| IV. | Proyección de empresas eléctricas generadoras | 92 |
| V. | Potencia efectiva de cogeneración de los ingenios azucareros de Guatemala. | 106 |
| VI. | Características importantes de ER en Guatemala por tipo de energía | 109 |
| VII. | Ventajas del uso de ER | 110 |
| VIII. | Tarifa social | 112 |
| IX. | Tarifa no social | 113 |
| X. | Índice de cobertura del servicio eléctrico por departamento (costas de Guatemala) | 120 |

| | | |
|--------|--|-----|
| XI. | Países de Latinoamérica y el Caribe en el mercado MDL | 127 |
| XII. | Presupuesto de inversión..... | 153 |
| XIII. | Programa del financiamiento del préstamo..... | 155 |
| XIV. | Proyección gastos de planilla..... | 157 |
| XV. | Costos y gastos de operación, mantenimiento y financieros proyectados, periodo 2013 - 2022..... | 158 |
| XVI. | Ingresos por venta de energía y CER´s, periodo 2013 – 2022 ... | 160 |
| XVII. | Estado de resultados proyectados, período 2013 – 2022 | 161 |
| XVIII. | Resumen de indicadores | 187 |
| XIX. | Ejemplo hoja de metodología..... | 190 |
| XX. | Resultados aplicación de indicadores de desarrollo sostenible | 191 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-----------------------|-------------------------------------|
| CER's | Certificados de carbono |
| CVG | Costo variable de generación |
| DS | Desarrollo sostenible |
| SO₂ | Dióxido de azufre |
| CO₂ | Dióxido de carbono |
| US\$ | Dólares americanos |
| EE | Energía eléctrica |
| ER | Energía renovable |
| GEI | Gases de efecto invernadero |
| GDR | Generadores distribuidos renovables |
| GW | Giga watts (1 000 000 000 watts) |
| °C | Grados centígrados |
| kW | Kilo watts (1 000 watts) |
| kWh | Kilo watts hora |
| Km/s | Kilómetros por segundo |
| MW | Mega watts (1 000 000 watts) |
| m/s | Metros por segundo |

| | |
|-----------------------|------------------------------------|
| NO_x | Óxidos de nitrógeno |
| PEG | Plan de expansión de la generación |
| % | Porcentaje |
| PIB | Producto Interno Bruto |
| Q. | Quetzales |
| RPM | Revoluciones por minuto |
| SIN | Sistema de Interconexión Nacional |
| Ton | Toneladas (1 000 000 gramos) |

GLOSARIO

| | |
|------------------------|---|
| Aerogeneradores | Es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica). |
| ALIDES | Alianza para el Desarrollo Sostenible. |
| AMM | Administrador del Mercado Mayorista. |
| Antropogénicos | Efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana. Normalmente se usa para describir contaminaciones ambientales en forma de desechos químicos o biológicos como consecuencia de las actividades económicas, tales como la producción de dióxido de carbono por consumo de combustibles fósiles. |
| ARECA | Proyecto Acelerando de las Inversiones en Energía Renovable en Centro América y Panamá. |
| BID | Banco Interamericano de Desarrollo. |
| Biodigestor | Contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar. |

| | |
|------------------------|---|
| Biodiversidad | Término por el que se hace referencia a la amplia variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que la conforman, resultado de miles de millones de años de evolución según procesos naturales y también de la influencia creciente de las actividades del ser humano. |
| Biogeografía | Ciencia que estudia la distribución de los seres vivos sobre la Tierra, así como los procesos que la han originado, que la modifican y que la pueden hacer desaparecer. |
| Biogeoquímico | Ciencia estudia la interacción entre los compuestos geoquímicos y los organismos vivos. Es necesaria para comprender el funcionamiento de los seres vivos, desde el nivel de organización celular hasta el ecosistema que conforma. Nos permite comprender el porqué de muchos de los problemas ambientales actuales. |
| CGC | Cámara Guatemalteca de la Construcción. |
| CGP+L | Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia. |
| Ciclo combinado | En generación de energía se denomina a la coexistencia de dos ciclos termodinámicos en un mismo sistema, uno cuyo fluido de trabajo es el vapor de agua y otro cuyo fluido de trabajo es un gas producto de una combustión o quema. |

| | |
|----------------------|---|
| CIG | Cámara de Industria de Guatemala. |
| CNEE | Comisión Nacional de Energía Eléctrica. |
| Coriolis | Fuerza que hace que un objeto que se mueve sobre el radio de un disco en rotación tienda a acelerarse con respecto a ese disco si el movimiento es hacia el eje de giro o alejándose de este. |
| DEOCSA | Distribuidora de Electricidad de Occidente, S. A. ENERGUATE. |
| DEORSA | Distribuidora de Electricidad de Oriente, S. A. ENERGUATE. |
| EEGSA | Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A. |
| EEM's | Empresa Eléctrica Municipales. |
| Emplazamiento | Estrategia de ubicación o posicionamiento; una forma de localización geográfica. |
| Etanol | Compuesto químico conocido como alcohol etílico, es un alcohol que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable. |
| ETCEE | Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica. |

| | |
|--------------------------------|---|
| Fermentación anaeróbica | Proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno y el producto final es un compuesto orgánico. |
| FUNDEMAS | Fundación Empresarial para la Asociación Social. |
| Gasógeno | Aparato que funciona usando la gasificación, procedimiento que permite obtener combustible gaseoso a partir de combustibles sólidos como el carbón, la leña o casi cualquier residuo combustible. |
| Gradiente térmico | Número de grados en que disminuye la temperatura por cada kilómetro que aumente la altura sobre el nivel del mar. Este valor es, en promedio de un 6,5 grados por cada 1 000 metros de altitud, es decir, un grado centígrado de disminución de la temperatura por cada 154 metros de altitud, aproximadamente. |
| Hábitat | Lugar que presenta las condiciones apropiadas para que viva un organismo, especie o comunidad animal o vegetal, en el cual una población biológica puede residir y reproducirse, de manera tal que asegure perpetuar su presencia en el planeta. |
| Hidrotérmica | Fuerza generada por la caída de temperatura de un cuerpo, entre un manantial frío y otro caliente. |

**Horas punta, llana
y valle**

Nombre que se les da a las tres franjas horarias en que se dividen las 24 horas del día. El precio del KW consumido puede ser diferente en cada una de ellas. Estas franjas horarias son diferentes en invierno y en verano y varían también según la zona geográfica. Horas punta: son aquellas en que se produce mayor demanda de energía. El precio de la energía es más alto. Horas valle: son aquellas en que la demanda es mínima. El precio de la energía es más bajo.

Horas llana: se refiere al resto de las horas.

IEMA

Impuesto a Empresas Mercantiles y Agropecuarias.

INDE

Instituto Nacional de Electrificación.

Intermareal

Franja costera donde se produce la interface agua- tierra y que está sometida a los efectos de las mareas. Es la zona que se extiende desde líneas de las más altas mareas hasta la línea de las mareas más bajas.

ISR

Inversión socialmente responsable.

IVA

Impuesto al valor agregado.

LAC

Latinoamérica y el Caribe.

| | |
|-------------------|---|
| LGE | Ley General de Electricidad. |
| MARN | Ministerio de Ambiente y Recursos Renovables. |
| MDL | Mecanismos de Desarrollo Limpio. |
| MEM | Ministerio de Energía y Minas. |
| MER | Mercado Eléctrico Regional. |
| MINEDUC | Ministerio de Educación. |
| ODMs | Objetivos de Desarrollo del Milenio. |
| OMC | Organización Mundial de Comercio. |
| ONU DI | Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. |
| OWC | Cámara Oscilante de Olas (siglas en inglés). |
| Per cápita | Ingreso por persona en un determinado país para lograr saber su nivel de productividad en dicho sector. |
| PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. |
| SNU | Sistema de Naciones Unidas en Guatemala. |

| | |
|----------------------|--|
| Sombreamiento | Sombreado. |
| TRELEC | Transportista Eléctrica Centroamericana, S. A. |
| TREMA | Tasa de Retorno Mínima Aceptable. |
| UN | Naciones Unidas. |
| USAID | Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. |
| Watts | Unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades, equivalente a 1 Joule/segundo. |

RESUMEN

Actualmente, el desarrollo sostenible preocupa a diferentes niveles a empresarios, políticos, familias, académicos, asociaciones y gobiernos.

En las últimas décadas, con la globalización de mercados y las exigencias internacionales, al calificar a una empresa como rentable es necesario que sea capaz de gestionar el impacto que genera en su entorno, ya sea de tipo social, económico y ambiental. Esta filosofía de trabajo debe arraigarse a sus valores y cultura empresarial, para poder obtener resultados sostenibles y tener la confianza de los grupos de interés, en especial de clientes y socios accionistas.

En Guatemala se promociona, por medio de la CNEE, la generación de energía eléctrica a través de las energías renovables, en busca de lograr el cambio en la matriz energética actual, para ello se implementa la obtención de beneficios como: la exoneración de impuestos durante los primeros años, facilidad en los trámites de nuevas generadoras de energía eléctrica renovable y la acreditación con beneficios económicos de certificaciones de emisión de gases de efecto invernadero para el inversionista.

El país cuenta con la oportunidad de tener recursos renovables, los cuales pueden ser aprovechados como beneficio en la implementación de proyectos para cubrir las necesidades, entre ellas la energía eléctrica, la cual posee una demanda de 1 491,16 MW; por tal razón se tiene la posibilidad de desarrollar proyectos energéticos que satisfagan las necesidades, no solo de la industria en general, sino también de la población.

Para poder cuantificar de manera objetiva los impactos generados en la implementación de una empresa socialmente responsable y el aprovechamiento de los recursos disponibles, es necesario disponer de sistemas competitivos en tecnología y mecanismo de desarrollo limpio.

A estas características se adapta el sistema *Aperture engine*, ya que es exclusivo en su clase de tecnología mareomotriz, aporta eficiencia energética y proyecta rentabilidad económica. Los resultados se obtienen por medio de la proyección de una evaluación primaria al sistema *Aperture engine*, enfocando una metodología cualitativa y cuantitativa con la aplicación de índices energéticos básicos.

La idea central para calificar al sistema *Aperture engine* como proyecto renovable es la generación eléctrica y suministrar el servicio de energía eléctrica como recurso renovable de bajo costo. Se ha obtenido un costo por generación de Q. 8,42 millones por MW instalado, (US\$ 1,05 / MW instalado), de los cuales el 30 por ciento está constituido por inversión privada y el 70 por ciento por financiamiento nacional, cubriéndolo durante los primeros seis años de operación. Se obtiene el beneficio de ingresos por certificaciones de emisión de CO₂ con reducción de 2 010 toneladas; a esto se suma promover el desarrollo económico y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región.

OBJETIVOS

General

Desarrollar la evaluación primaria de la viabilidad social, económica y medioambiental del proyecto *Aperture Engine* como un instrumento de desarrollo sostenible en Guatemala

Específicos

1. Identificar los aspectos generales que enmarcan y determinan el desarrollo sostenible de este proyecto y su evolución con los recursos energéticos.
2. Determinar las características del desarrollo sostenible en Guatemala.
3. Investigar el mercado eléctrico de Guatemala para determinar los requerimientos necesarios que faciliten la toma de decisiones sobre la implementación del proyecto.
4. Establecer las características técnicas, financieras, comerciales y ambientales que posee el sistema *Aperture Engine* como instrumento de desarrollo sostenible.
5. Elaborar la metodología, aplicándola a una evaluación cualitativa, para determinar la viabilidad económica, social y ambiental del proyecto *Aperture Engine*.

6. Seleccionar y aplicar los índices energéticos para la evaluación cuantitativa y determinar la viabilidad económica, social y ambiental del proyecto *Aperture Engine*.

INTRODUCCIÓN

El principal desafío que presentan actualmente los seres humanos a nivel mundial, sin excepción de raza, cultura o nivel social, es tomar acciones para detener el deterioro que presenta el medio ambiente, lo cual ha generado que sectores políticos y sociales se interesen en este tema y quieran plantear soluciones a escala, las cuales han llevado a formar asociaciones interesadas en encontrarlas. El deterioro ambiental ha causado cambios en el clima que repercuten directamente en aspectos como el social y económico en la población, este, en consecuencia, produce el cambio climático que genera lluvias intensas en algunos lugares y fuertes sequías en otros, consecuentemente pérdidas en la agricultura y la infraestructura de los países. Guatemala ha vivido esta experiencia con el huracán Mitch en el 2007, el Stan en 2009 y la tormenta Ahgata en el 2010, que dejaron fuertes pérdidas en la agricultura, la infraestructura social y económica del país, además de disminuir los recursos naturales escasos y deteriorados, que manejados sustentablemente, generan riqueza y bienestar en la sociedad.

Décadas atrás se pensaba que la naturaleza proporcionaba los recursos y estos se regenerarían solos, pero con el aumento de la población se ha provocado una demanda de recursos que supera la capacidad de autorecuperación de la naturaleza; como un esfuerzo para compensar esta condición se ha desarrollado el concepto de desarrollo sostenible.

Actualmente, existen recursos renovables, que aún no han sido aprovechados por el hombre para su desarrollo, como la energía de las olas del mar o mareomotriz, ya que se plantea, según la investigación, como una

generación de alto costo. En Guatemala se cuenta con el sistema *Aperture engine*, el cual es un instrumento de generación de energía eléctrica renovable a base de la presión en vacío impulsada por la energía cinética del oleaje del mar. El crecimiento de consumo de energía eléctrica, producida con métodos poco amigables al ambiente, debido al incremento de las necesidades humanas, ha generado iniciativas de producción de energía limpia. En este estudio se realizará la evaluación primaria del proyecto *Aperture Engine*, como un instrumento integral para el desarrollo sostenible de Guatemala.

1. ASPECTOS GENERALES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

1.1. Origen y evolución del desarrollo sostenible

El desarrollo de la industria, con su origen en la revolución industrial en el siglo XIX, dio lugar a bienestar económico y social, el cual se basaba en la toma de recursos naturales los cuales se fueron agotando, esto con el paso del tiempo provocó que movimientos y publicaciones ambientalistas dieran a conocer el desgaste que estos procedimientos habían causado en el entorno; uno de estos movimientos se celebró en Estocolmo (Suecia) en 1972, con la primera reunión mundial del medio ambiente; se trataron temas técnicos de la contaminación provocada por la industrialización, el crecimiento poblacional y la urbanización, pero se limitaron a los países desarrollados sin contar con los países en desarrollo.

El concepto de desarrollo sostenible y sustentable empezó en las últimas décadas del siglo XX, en 1987, a partir del informe presentado por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, conocido como informe Brundtland¹. En dicho informe socioeconómico, se reconoce que las reservas de los recursos naturales del planeta se están agotando como un efecto de las actividades de un desarrollo económico y tecnológico, que únicamente tiene en consideración las necesidades humanas actuales sin preocuparse por las generaciones futuras.

¹. Informe que enfrenta y contrasta la postura de desarrollo económico actual junto con el de sostenibilidad ambiental, realizado por la ex primera ministra de Noruega Gro Harlem Brundtland, con el propósito de analizar, criticar y replantear las políticas de desarrollo económico globalizador.

De esta forma se incluyó la primera definición de desarrollo sostenible y sustentable que afirma: que se trata del desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas; esta definición está centrada en el aspecto de equidad intergeneracional, lo que obliga a tener en cuenta el estado temporal, las preferencias de las generaciones futuras, las necesidades básicas a satisfacer y sostener un desarrollo que, actualmente, no es equitativo. Esta definición es una entre más de trescientas que se publican a lo largo de la evolución del desarrollo sostenible.

En junio de 1992, en Río de Janeiro, Brasil, se celebró la conferencia llamada Cumbre para la Tierra, la cual se considera como decisiva en las negociaciones internacionales sobre la base de la comprensión de las necesidades y los intereses comunes. En la Cumbre de Río, se expuso que los temas ambientales no pueden separarse de los temas de desarrollo, se hizo hincapié de lo generado por el informe Brundtland, los problemas ambientales vienen juntos con los estilos de desarrollo y, por ende estaban directamente relacionados con los problemas de pobreza, así el problema ambiental se resuelve con soluciones reales ligadas al desarrollo.

La Cumbre de Río, 172 gobiernos, incluido 108 jefes de Estado y de Gobierno aprobaron tres grandes acuerdos que deben regir la labor: Programa 21, un plan de acción mundial para promover el desarrollo sustentable; la Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo, un conjunto de principios en los que se definen los derechos civiles y obligaciones de los Estados, y una Declaración de principios relativos a los bosques, serie de directrices para la ordenación más sostenible de los bosques del mundo. Se agregaron a la firma dos instrumentos obligatorios: la convención sobre el cambio climático y el convenio sobre la diversidad biológica.

La Cumbre de Río, durante veinte años de trabajo, ha generado muchas expectativas, logros y decepciones en el área de medio ambiente global; con el tiempo esto han cambiado y ha evolucionado desde tomar únicamente en cuenta solamente los efectos visibles de la contaminación y la degradación ambiental hasta tratar de mejorar en cuestiones muy específicas como los modelos de desarrollo y en las estructuras económicas, o un nivel de vida demasiado elevado con patrones de consumo muy perjudiciales para el medio ambiente (intensivos en materias primas, energía y una sociedad de consumo) o una pobreza muy marcada que obliga a deteriorar el medio ambiente para poder sobrevivir.

1.1.1. Evolución del término a nivel mundial

Con el paso del tiempo, han ido surgiendo nuevas definiciones que intentan hacerlo evolucionar, se presentan en la tabla I, el cuadro de los aspectos más importantes que se generaron a nivel mundial:

Tabla I. Aspectos evolutivos del desarrollo sostenible

| Año | Aspectos evolutivos | Observaciones | Logro |
|------------|---|------------------------------------|---|
| 1938 | Primeros indicios del incremento de CO ₂ en la tierra. | Se registra por Mr. John Callendar | |
| 1950-1959 | Observación por medio de satélites | | Se obtiene una mejor idea de la situación ambiental en el mundo |

Continuación de la tabla I.

| | | | |
|-----------|--|--------------------------------------|---|
| 1965-1970 | Programa Mundial de Investigación Atmosférica | Llevado a cabo en Estocolmo | Se toman estudios de capa de ozono y atmosfera. |
| 1972 | Conferencias sobre el medio ambiente humano | | Se pone en marcha el Programa Mundial sobre el Clima |
| 1979 | Primera conferencia mundial sobre el clima | | |
| 1985 | Conferencia científica | Llevada a cabo en Villach y Bellagio | Iniciativas para la protección de la capa de ozono |
| 1987 | Inicio del programa internacional geósfera y biósfera (IGBP) | | Se crea el panel intergubernamental de expertos en cambio climático. |
| 1992 | Cumbre de la Tierra | Llevado a cabo en Río de Janeiro | Se logró la firma de dos convenciones, dos declaraciones y un plan de acción. |
| 1992 | Agenda 21 | | Se logra la firma de un compromiso político a nivel mundial, trata casi todas las áreas relacionadas con el medio ambiente. |
| 1994 | Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) | Organizado por las Naciones Unidas | Se agrupan empresas comprometidas por el desarrollo sostenible mediante el crecimiento económico |

Continuación de la tabla I.

| | | | |
|------|--|--|--|
| 1996 | Primeros avances en materia de gestión ISO 14001: Requisitos para la Implementación de un Sistema de Gestión Medioambiental. | Revisado durante ocho años más tarde | Se publica el segundo informe de evaluación del IPCC. |
| 1997 | Creación del protocolo de Kioto | Norma en material de desarrollo empresarial | Cuidado de las emisiones de gases de efecto invernadero |
| 2000 | Sexta conferencia de las partes, acuerdos de Bonn y se celebró el Consejo Europeo de Lisboa | | Nuevo objetivo estratégico para la próxima década: convertirse en la economía basada en el conocimiento más competitivo y dinámico del mundo, capaz de crecer económicamente de manera sostenible con más y mejores empleos y con mayor cohesión social. |
| 2002 | Global Reporting Initiative (GRI) | Organización promovida por las Naciones Unidas | Elaboración de guías que las organizaciones utilizan para confeccionar sus memorias anuales de sostenibilidad con base en un protocolo de indicadores. |

Continuación de la tabla I.

| | | | |
|------|---|--|---|
| 2002 | Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible de Johannesburgo | | Se publicaron las normas SGE 21, PNE 165010, con el objetivo de introducir valores éticos medibles y sujetos a auditoria en las áreas de gestión de una organización, de tal manera que el compromiso voluntario de las organizaciones pueda ser evaluado externamente y comparado en términos homogéneos con otras entidades y sectores. |
| 2003 | Por parte de The US EPA's National Risk Management Research Laboratory, | | Se promulgó que la sostenibilidad es un hecho relacionado con las condiciones del hombre y el medio ambiente que lo rodea |
| 2005 | Ratificaciones de Rusia | Se busca la estandarizar y proponer soluciones a la economía mundial | Permite la entrada en vigor del Protocolo de Kioto para reducir las emisiones de CO ₂ a la atmósfera |
| 2007 | Se celebra la conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático | Llevado a cabo en Bali, Indonesia | Se marca la hoja de ruta de negociación que deberá finalizar en 2009, para un acuerdo internacional sobre cambio climático a partir del 2012 |

Continuación de la tabla I.

| | | | |
|------|--|---------------------------------|---|
| 2008 | 14ª Conferencia: Cambio climático de la ONU | Celebrada en Poznan, Polonia | Se fija un objetivo de reducciones de emisiones de CO ₂ ambicioso para países industrializados y no industrializados a conseguir en el 2020 |
| 2009 | XV Cumbre del Clima (COP15) o Cumbre de Copenhague | | Se pretende alcanzar un acuerdo mundial en la reducción de emisiones de CO ₂ para el período posterior a Kioto con el compromiso de EEUU, China y la India |
| 2010 | Se publica por La Organización Internacional para la Estandarización ISO, la norma 26000 | Es de uso voluntario | No incluye requisitos sino recomendaciones, y de esta forma no será una norma certificable |
| 2012 | Se realizó la celebración de la VI Conferencia Mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo sostenible (Cumbre de la Tierra) | | Se trataron 4 grandes aspectos: la economía verde, governabilidad del desarrollo sostenible, previsión de compromisos previos y asuntos emergentes, y la elaboración de un plan de acción para alcanzar los objetivos. |

Fuente: elaboración propia.

1.2. Concepto y dimensiones del desarrollo sostenible

Al hablar de desarrollo sostenible se entiende por sostenibilidad, en los primeros años con este concepto se pensaba solo en sostenibilidad ambiental, que en realidad es hablar en mayor medida de desarrollo a nivel global y medio ambiental, con el paso del tiempo se ha ido relacionando con asuntos sociales y económicos y las repercusiones que esto trae durante un ciclo de vida.

Al hablar de desarrollo sostenible se hace mención de igual forma a dos términos: Gestión Sostenible y Responsabilidad Social, ambas expresiones hacen referencia al mismo concepto o idea y reflejan el mismo significado.

La Responsabilidad Social toca aspectos como la ética, acción social, medio ambiente y ciclo de vida del producto, todo esto asociado a rendición de cuentas. La Responsabilidad Social, denominada Responsabilidad Social Empresarial (RSE), o Responsabilidad Social (RS), Responsabilidad Social Corporativa RSC está enfocada hacia las empresas, y a la forma de gestionar éticamente su actividad. Este término hace referencia a una política ética de gestión empresarial.

La Responsabilidad Social es una filosofía de trabajo que incorpora la ética a los negocios. Esta debe ser aplicable a todas las organizaciones empresariales, independientemente de su tamaño, naturaleza o actividad comercial, y debe ser extendida a sus proveedores, contratistas, clientes y socios de cualquier tipo.

Ambas expresiones definen un mismo concepto: comportarse éticamente lleva a un desarrollo sostenible, esto ha ido ampliándose con el tiempo hasta llegar a un solo aspecto, el cual es conseguir dicho desarrollo sostenible en los

campos: económico, social y medio ambiental. Las empresas, organizaciones e instituciones de cualquier tipo son las que deben tener un comportamiento más ético, para garantizar el desarrollo sostenible.

Hay otras definiciones, también interesantes como la que proponen D. Pearce, A. Markandya y E.B. Barbier, en la cual se establece que en una sociedad sostenible no debe haber:

- Un declive no razonable de cualquier recurso
- Un daño significativo a los sistemas naturales
- Un declive significativo de la estabilidad social

Otra definición se debe a H. Daly. Esta persona propone que una sociedad sostenible es aquella en la que:

- Los recursos no se deben utilizar a un ritmo superior al de su ritmo de regeneración.
- No se emiten contaminantes a un ritmo superior al que el sistema natural es capaz de absorber o neutralizar.
- Los recursos no renovables se deben utilizar a un ritmo más bajo que el capital humano creado pueda reemplazar al capital natural perdido.

Concretando esta definición en un caso práctico, el de los combustibles fósiles, significa que se tiene que utilizar una parte de la energía liberada para crear sistemas de ahorro de energía o sistemas para hacer posible el uso de energías renovables que proporcionen la misma cantidad de energía que el combustible fósil consumido.

1.3. Principios de sostenibilidad

El termino Desarrollo Sostenible es equivalente a los términos sostenibilidad y/o, sustentabilidad, ampliamente usados en varios contextos. A raíz del informe Brundtland, nacen cinco principios básicos que rigen este concepto, los cuales son:

- Principio de sostenibilidad: trata de satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, sin poner en peligro las posibilidades de desarrollo de las generaciones futuras.
- Principio de equidad: según el cual cada persona tiene derecho, aunque no la obligación, a hacer uso de la misma cantidad de espacio ambiental como energía, materias primas no renovables, terreno agrícola, bosques, capacidad de absorción de CO₂, etc.
- Principio de precaución: establece la conveniencia de tomar medidas antes de tener la seguridad de que se van a producir determinados efectos debidos a la gravedad y alta probabilidad de estos.
- Principio de responsabilidad diferenciada: según el cual las obligaciones que un país debe asumir se establecerán de acuerdo con su responsabilidad en el problema y su grado de desarrollo.
- Principio de quien contamina paga: según el cual los causantes de perjuicios o de un atentado al medio ambiente deben responder económicamente de las medidas para su corrección.

La sostenibilidad hace referencia al conjunto de obligaciones y compromisos, legales y éticos, que adquieren las empresas como consecuencia de los impactos que su actividad produce en el ámbito social, laboral, medioambiental y de los derechos humanos. Actualmente, las empresas son cada vez más conscientes de la necesidad de incorporar las necesidades

sociales, económicas, medioambientales y las derivadas de los productos y/o servicios, como parte de su estrategia de negocio.

En la mayoría de las empresas productivas a nivel mundial, las variables relacionadas con el diseño, el ciclo de vida y el impacto del producto, están desvinculadas de la realidad de la Gestión Sostenible (GS), lo que plantea una nueva necesidad de la sociedad que hay que integrar dentro del concepto.

Dentro del concepto de sostenibilidad, es necesario diferenciar tres aspectos que a veces no comulgan bajo los mismos intereses: eficiencia económica, calidad ambiental y equidad intergeneracional.

La equidad parte de la base de no poner en riesgo la situación futura por una sobreexplotación de los recursos actuales, siendo la situación ideal el aumento del bienestar actual. Este esquema no tendría validez si solo va a suponer un bienestar a las generaciones futuras en los países desarrollados, acrecentando incluso las diferencias actualmente existentes entre los diferentes países².

Ser socialmente responsable implica poner en la práctica en el día a día la activación y diálogo con los agentes con los que la organización interactúa, aprovechando las sinergias derivadas de la transición de la rivalidad a la complicidad, y por otra a fomentar con el ejemplo de un desarrollo y evolución más igualitaria, justa, solidaria y equitativa integrando las preocupaciones medioambientales y sociales, en sus decisiones y operaciones comerciales y en las relaciones con los agentes vitales³.

²PIERCE. *Conocimiento y habilidades, tecnología, capital y bienes ambientales*. Vectores 1989. p. 92.

³ROSER Charlie. 2005.

1.3.1. Área social

El área social conlleva varias actuaciones en las cuales existe cierta confusión entre el significado de estrategia de gestión social. En muchas ocasiones, esto se confunde con donaciones a instituciones caritativas a cualquier otro tipo de prácticas que supongan un descenso en los beneficios de la compañía. La acción social va más allá, esta conlleva positivamente al desarrollo del capital moral a través de la mejora de la reputación corporativa. Una buena reputación corporativa refuerza la imagen de marca de la empresa que, a su vez puede conducir a mejores resultados y por tanto mayor riqueza para los accionistas, lo que permite desarrollar otros activos intangibles con mayor lealtad de los clientes o una menor rotación de personal.

La acción social comprende la financiación de proyectos, fomentar la participación e involucración de los empleados, igualdad de oportunidades, proyectos de conciliación de la vida personal y profesional, fomentar la participación de colectivos desfavorecidos, participación en foros de investigación, ayuda social a través de sus propios productos y servicios y, sobre todo, implica el respeto a los derechos laborales, el derecho a la libertad y a la vida, y el respeto a la soberanía de los países en donde operan las empresas. Con ello se consigue indirectamente que estas generen un beneficio económico como resultado de la promoción y publicidad que desarrollan.

Si una empresa asume un compromiso de responsabilidad social, será consciente de que las necesidades son otras. Es necesario encargarse de otros aspectos que en algunos casos la legislación vigente no contempla con detalle.

Toda esta serie de aspectos nos pueden ayudar al momento de tomar una decisión, plantear estrategias y políticas corporativas proactivas que

establezcan un compromiso entre la empresa y la sociedad. El hecho de asentar la empresa en unos valores de armonía con la sociedad, sus trabajadores, sus clientes, proveedores, accionistas y cualquier parte interesada, hará posible que la imagen de la empresa reflejada al exterior sea totalmente positiva, sin olvidar del buen ambiente de trabajo interno que se genera llevando a cabo una gestión socialmente responsable, convertirá a dicha empresa en un referente en materia de responsabilidad social, e indirectamente su promoción será mayor.

1.3.2. Área económica

Las empresas públicas o privadas, como objetivo primordial deben manejar como mínimo un punto de equilibrio, entre ingresos y egresos, luego generar utilidades, que permiten a la compañía crecer de forma sostenida y, dependiendo de su política, repartir dividendos.

Debido a esto, en los últimos años la Inversión Socialmente Responsable (ISR), ha tenido un incremento entre los grandes inversores, debido a que las políticas responsables en los ámbitos sociales y ambientales son indicadores de una gestión correcta y por lo tanto, de una llamada a posibles inversiones de capital.

Dra. María Fernández y Dra. María Jesús Muñoz, coordinadoras del grupo de investigación en sostenibilidad en las organizaciones y gestión de responsabilidad social, en 2005, dan el concepto de ISR como aquella que, a los tradicionales criterios financieros añade criterios sociales y medioambientales. Es decir, que es la inversión que restringe su universo al de las empresas capaces de acreditar buenas prácticas en materia de responsabilidad social corporativa.

Una buena política de sostenibilidad contribuye a minimizar los riesgos, ya que puede anticipar y prever crisis que perjudiquen la reputación y provocan un descenso en el valor de las acciones. Por esta razón, una de las actuaciones sostenibles importantes dentro del ámbito económico son las inversiones socialmente responsables, porque suponen la integración de los valores personales y preocupaciones sociales en las decisiones de inversión.

1.3.3. Área medio ambiente

En los últimos años, el medio ambiente está experimentando un gran deterioro, debido a la acción humana, principalmente. A partir de la segunda mitad del siglo XVIII con el surgimiento de la revolución industrial, la cual dio lugar a un enorme avance científico-teórico que dio a la humanidad un cambio radical en la administración de los recursos naturales y su relación con el medio ambiente, han surgido numerosos problemas como el aumento de la demanda de los recursos naturales, la contaminación del medio ambiente debido a los desechos de la producción y consumo, la creación de nuevas sustancias y surgimiento de nuevas ramas de producción, la intensificación de la producción agrícola y la urbanización, entre otros.

Uno de los objetivos actuales es avanzar en la mejora ambiental, de esta forma será posible la continuidad del crecimiento mundial y una mejora en la calidad del medio ambiente, obteniendo un beneficio para todos y una oportunidad de innovación, y no un obstáculo empresarial. La prevención y la reducción en origen, permitirán mermar los riesgos ambientales, ahorrar los recursos en las etapas de producción, aumentar la productividad y situarse competitivamente.

Por ello, la legislación sobre prevención y control de la contaminación, aparte de ser una herramienta fundamental para reducir la contaminación industrial, proporciona un marco de actuación para los administradores, las empresas y la sociedad, lo cual puede servir para orientarse a un desarrollo sostenible.

Al analizar los daños que ocasionan las empresas al medio ambiente, estos se pueden medir en función del vector ambiental al cual interactúan: aire, agua, tierra.

La contaminación atmosférica en la actualidad se encuentra en alza por el cambio climático. Las emisiones de las industrias, así como de las calefacciones domésticas, vehículos, etc.; están provocando un cambio climático que trae consigo una problemática, por la extinción de especies animales y vegetales, catástrofes naturales y migración de plagas y enfermedades, entre otras.

El cambio climático es debido al aumento en la atmósfera de la concentración de ciertos gases de efecto invernadero antropogénicos. La emisión de dióxido de carbono y metano se debe fundamentalmente al uso de combustibles de origen fósil; la fuente de óxido nitroso y de metano en la agricultura, y el ozono troposférico es debida a la emisión de precursores de ozono como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono o hidrocarburos. Dentro de las emisiones atmosféricas, ocupa un lugar importante el transporte, siendo imprescindible ahorrar en combustible y que los vehículos se encuentren en buen estado para evitar las emisiones contaminantes.

Las consecuencias más relevantes que ha provocado el cambio climático según un estudio publicado por IHOBE en el 2002 son:

- Aumento a la temperatura media mundial de la superficie terrestre y de los océanos. Se estima que desde que se tiene registro de las temperaturas, esta ha aumentado 0,5 grados centígrados y se prevé un aumento de 1 grado centígrado en el 2020 y de 2 grados centígrados en el 2050. Al aumentar la temperatura de las aguas tropicales, los huracanes que se forman son más intensos.
- Este aumento de temperatura ocasiona el deshielo de los glaciares y de las capas de hielo de las montañas, lo que ocasionaría un aumento del nivel del mar y los océanos.
- Precipitaciones cada vez más intensas y frecuentes en algunas regiones, lo que provocaría inundaciones.
- Por el contrario, aumentará el calor en algunas regiones y como consecuencia las sequías serán más prolongadas. Estas olas de calor, también pueden traer otro tipo de consecuencias como el incremento del riesgo de incendios forestales o mayores riesgos para la salud.
- Los ecosistemas animales como vegetales experimentarán daños de carácter irreversible.

Las industrias emiten otro tipo de sustancias y compuestos a la atmósfera que provocan otros efectos igualmente negativos, como la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono, la intoxicación de las personas cercanas, etc. Actualmente es posible trabajar para hacer frente a los contaminantes atmosféricos y eliminarlos de los procesos de producción, o bien limitar al máximo su utilización.

Otro de los temas preocupantes es la contaminación de las aguas, en la cual todos contribuyen, por lo que es necesario encontrar un remedio, ya que es indispensable para la vida y es un bien muy escaso en buenas condiciones.

Las industrias deben hacer frente a este problema del deterioro del medio ambiente a través de numerosas iniciativas. Realizando un análisis de las materias primas relacionadas, se debe minimizar o eliminar el daño, ya que en muchas ocasiones pueden ser sustituidas por otras menos perjudiciales, o disminuir la cantidad utilizada. También se puede reciclar o reutilizar gran parte de los materiales utilizados, con lo que se reduce la cantidad de residuos generados.

Otro de los conflictos de las empresas es la utilización de energía, de la cual, a menudo se gasta más de lo necesario, para minimizar dicho consumo es precisa la implantación de algún sistema de control que analice la situación y proponga soluciones. Además del consumo, otra de las preocupaciones es el tipo de energía usada, ya que algunas son no renovables (petróleo) y otras son tremendamente perjudiciales para el medio ambiente, la alternativa más respetuosa es el uso de energías renovables, el cual es un campo que aún se encuentra en desarrollo.

Las empresas que se preocupan por el medio ambiente para hacer posible un desarrollo sostenible y garantizar las necesidades de las generaciones futuras en muchas ocasiones implementan un Sistema de Gestión Ambiental (SGA). En cuanto a la gestión ambiental, el referente a nivel mundial son las Normas ISO 14000, de las cuales destacan la ISO 14001 y la ISO 14031.

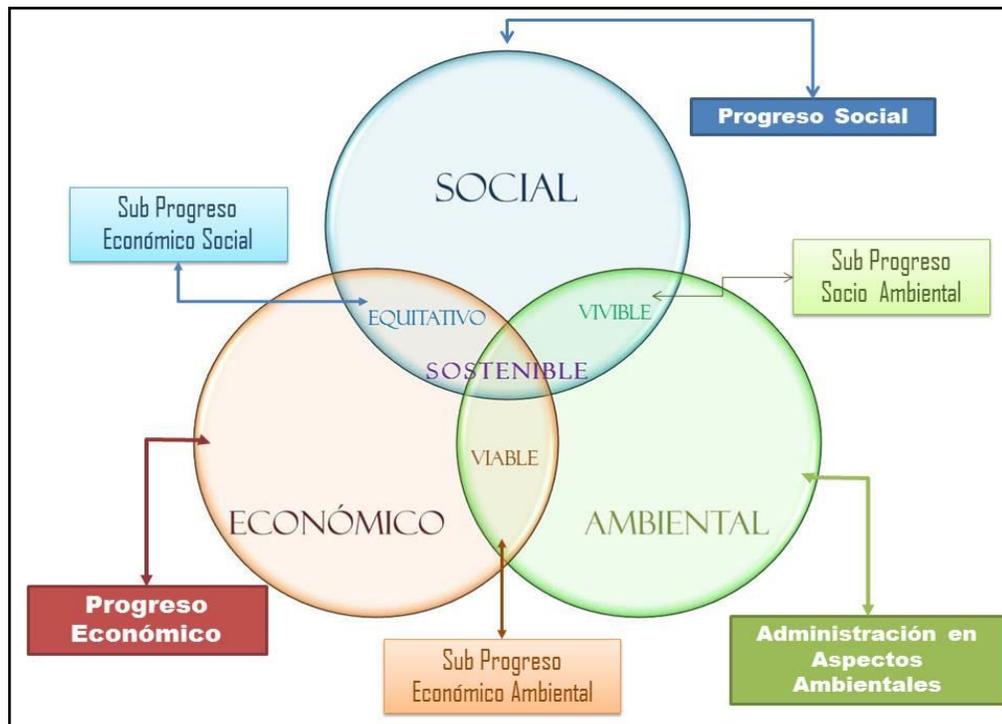
1.4. Representación gráfica del desarrollo sostenible

Gráficamente, la sostenibilidad hace referencia a la interacción de tres elementos:

- La sostenibilidad ambiental: refiere la necesidad de que el impacto del proceso de desarrollo no destruya de manera irreversible la capacidad de carga del ecosistema. En palabras de Hans Opschoor (1996. Sustainability, Economic Restructuring and Social Change. ISS. La Haya: 14), la naturaleza provee a la sociedad de lo que puede ser denominado frontera de posibilidad de utilización ambiental, definida esta como las posibilidades de producción que son compatibles con las restricciones del metabolismo derivados de la preocupación por el bienestar futuro, restricciones o límites que incluyen procesos tales como capacidad de regeneración de recursos, ciclos biogeoquímicos y capacidad de absorción de desechos.
- La sostenibilidad social: cuyos aspectos esenciales son: el fortalecimiento de un estilo de desarrollo que no perpetúe ni profundice la pobreza ni, por tanto, la exclusión social, sino que tenga como uno de sus objetivos centrales la erradicación de aquella y la justicia social; y la participación social en la toma de decisiones; es decir, que las comunidades y la ciudadanía se apropien y sean parte fundamental del proceso de desarrollo.
- La sostenibilidad económica: entendida como un crecimiento económico interrelacionado con los dos elementos anteriores.

En síntesis, el logro del desarrollo humano sustentable será resultado de un nuevo tipo de crecimiento económico que promueva la equidad social y que establezca una relación no destructiva con la naturaleza.

Figura 1. Esquema gráfico del desarrollo sostenible



Fuente: elaboración propia.

La figura 1 representa el área social, en esta debe haber un progreso en derechos humanos, comunidades, relaciones laborales (productividad), promoción social, cultural y deportiva, desarrollo. En el área llamada subprogreso socioambiental (vivable) representa la solución de problemas ambientales vinculados con conflictos, mejorar la reputación ambiental, conservar ecosistemas relacionados con las operaciones sociales, privilegiando la ejecución de proyectos productivos.

En el Área de Administración, en aspectos ambientales es necesario asegurar el cumplimiento normativo ambiental, administrar los riesgos y los impactos ambientales e impulsar las oportunidades de eficiencia ecológica.

En el subprogreso económico ambiental (viable) se busca fortalecer la calidad crediticia con créditos de desarrollo, asegurar la viabilidad socio-ambiental de los proyectos de inversión incluyendo su factibilidad territorial, impulsar la eficiencia y la racionalidad normativa. En el área económica se busca la contribución a las finanzas públicas y el Producto Interno Bruto (PIB), innovación, manejo del riesgo económico, tasa de crecimiento operativo. En el subprogreso económico social (equitativo) son acciones socioeconómicas como: la creación de empleo, incremento de inversiones económicas y sociales, comunidades sostenibles. Todos estos aspectos en conjunto llevan a la sostenibilidad.

1.5. El desarrollo sostenible como objetivo ético y político

Uno de los objetivos sociales más imprecisos de estos tiempos en la sociedad es el desarrollo sostenible, ya que este tema ha estado desde su origen en una lucha creciente para resolver problemas como: extinción de especies, calentamiento global, el crecimiento económico de los países del tercer mundo, la estabilidad de la población mundial, la paz y la justicia social.

Esta idea del desarrollo sostenible puede contemplarse desde el punto de vista teórico, según Herman Daly (1987 – 2005), pone de manifiesto la incompatibilidad fundamental del desarrollo y de la sostenibilidad, aunque tenía una determinada relación de crecimiento económico. Desde el segundo ángulo se acentúan los vaivenes de su evolución histórica, la disparidad de las prácticas sociales que afirman favorecerlo ha contribuido paulatinamente a reforzar la sensación de que es inalcanzable.

Tomando como punto de partida el informe Brundtland, donde se afirma que el desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades del

presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Esta declaración es una prescripción ética que apremia a respetar el derecho de los descendientes a disponer de un entorno saludable y utilizar los recursos naturales, al menos en un grado similar al que disfrutaban los seres humanos actuales.

Esta formulación universal resumiría el sentido normativo originario del desarrollo sostenible, pero resulta la controversia al comprobar que no resulta fácil decir que se debe tener obligaciones hacia seres que aún no existen y que posiblemente no lo harán jamás. Esto conlleva a serias objeciones respecto a la posibilidad de hablar de los posibles derechos de las generaciones futuras. Para precisar el significado ético del desarrollo sostenible se debe acordar primero que existen deberes hacia los descendientes, para estimular el legado que les corresponde.

El origen de esta divergencia entre interpretaciones del desarrollo sostenible se debe, precisamente, a estas dificultades y, sobre todo, al desacuerdo a la hora de establecer cuáles son los medios idóneos para asegurar la satisfacción de las futuras necesidades. Aun asumiendo que se tengan deberes hacia los descendientes, resulta complicado hablar de necesidades objetivas o universales, ya que estas varían histórica y culturalmente.

El concepto en torno a desarrollo sostenible, debe de orientarse conceptualmente, por medio de una aproximación coherente al objetivo de la justicia intergeneracional, lo que exige, a su vez orientar el contenido tanto del desarrollo humano, como de la sostenibilidad ecológica. Esta misión se encuentra lo básico en la definición del informe Brundtland, el cual indica la obligación de mantener la capacidad de las generaciones futuras para decidir

por sí mismas cómo satisfacer sus propias necesidades. Plantear la cuestión en términos de las oportunidades o capacidades de las que puedan disponer los individuos permite captar con mayor claridad el alcance ético del desarrollo sostenible.

Los límites a los que se enfrenta el desarrollo sostenible no están basados en las limitaciones de los recursos. La gestión y aplicación de políticas no implica el uso irracional de los recursos renovables y no renovables. Los gobiernos son responsables primarios del desarrollo sostenible, es su deber elaborar planes tanto nacionales como regionales y locales que conlleven a la definición de políticas y estrategias, capaces de lograr una gran participación de la comunidad, incluyendo organizaciones, empresas públicas como privadas.

Las autoridades locales juegan un papel importante y decisivo para lograr el desarrollo sostenible y las empresas, en conjunto con los habitantes, son la clave respecto a las estrategias a seguir, creando conciencia ambiental y capacitando a los representantes de los gobiernos locales para la gestión y toma de decisiones en materia ambiental.

1.6. Influencia del sector energético y la sustentabilidad

El sistema energético se encuentra interrelacionado con algunos aspectos principales del desarrollo sostenible. El nivel y la estructura del abastecimiento y usos energéticos interactúan de modo complejo con el desarrollo económico-social, ya que producen enormes impactos sobre los recursos naturales e influyen seriamente al medio ambiente. Muchos de los aspectos que se tienen influencia y se relacionan con la sostenibilidad afectan de diferente manera, ya que trae riesgos, vulnerabilidad y restricciones para el desarrollo.

Las interacciones entre el sector energético y el progreso general de desarrollo, con un cierto nivel de desarrollo con respecto a una dimensión podría poner en peligro el desarrollo en un largo plazo respecto a las otras dimensiones. Por ejemplo, la explotación intensa de energéticos no es sustentable con un bajo nivel de reservas y pone en peligro el desarrollo socioeconómico del país a un largo plazo, sobre todo si no hay reinversión suficiente en otras formas de capital.

Al fomentar un desarrollo sostenible cada vez se tiene más en cuenta las tecnologías referentes a energías renovables. Estas dan mayor interés por las ventajas ecológicas y sociales que ofrecen y porque sus costos están disminuyendo. Una fuente de energía renovable que ofrezca un potencial de explotación es un punto fuerte para una región, ya que puede ofrecer ventajas como la explotación de los recursos locales contribuyendo a mejorar la situación económica, con generación de energía, disminuyendo los suministros al exterior, generando empleo calificado, disminuyendo el impacto sobre el medio ambiente. Esto genera un impulsor para otras iniciativas del desarrollo dado el nivel de movilización y animación local que conlleva un proyecto energético.

Por la relación que existe para lograr el desarrollo sostenible con ayuda del sector energético, es posible hacer avanzar el sector energético para que sea más eficiente en el sentido de su productividad, menos vulnerable, más equitativo, produzca menos emisiones, use los recursos naturales en forma más equilibrada, con más perspectiva en el tiempo y, que haga un uso aun mayor de los recursos renovables.

1.7. Modelos de indicadores e índices de sostenibilidad

Para poder medir la evolución de los resultados, es preciso contar con una variable temporal numérica que oriente sobre lo bien o lo mal que se están haciendo las cosas, que ayude a gestionar los recursos y obtener resultados consistentes a largo plazo estudiando la tendencia de los datos periódicamente, o bien a conocer mejor sobre el proyecto a futuro. A este conjunto de datos numéricos se les denomina indicadores.

Las funciones básicas de los indicadores son la simplificación, cuantificación y comunicación. Son simplificaciones de la realidad que la cuantifiquen a través de una escala y permitan compararla con un objetivo. Y por último sirven para dar información referente al objeto de estudio.

A continuación se presentan varios indicadores que han sido aplicados con éxito en evaluaciones de desarrollo sostenible, cada uno de ellos realiza una ponderación diferente, siendo planteamientos distintos que permiten sacar conclusiones, de los cuales serán evaluados para la toma de decisiones de este documento.

1.7.1. Modelo presión-estado-respuesta (PER)

Este es un modelo de indicador ambiental aplicado al territorio y desarrollado por el grupo sobre el estado del medio ambiente de la OCDE (1994), con buena aceptación en los organismos públicos, dado que tiene en cuenta el proceso de toma de decisiones y marca los límites de la sostenibilidad política y publica respecto a los problemas ambientales, mide sus posibilidades de definir los estados del sistema y poder prevenir así sus comportamientos futuros.

Se basa en que las actividades humanas ejercen presión sobre el medio ambiente y modifican la calidad de los recursos naturales (estado). La sociedad ante esta situación responde con políticas y actuaciones (respuesta) que sirven para modificar las presiones humanas.

1.7.2. Modelo direccionadores económicos e impactos

La Agencia Europea para el medio ambiente propuso el modelo Direccionadores Económicos e Impactos (DPSIR), que sirve para evaluar la interacción existente entre la sociedad y el medio ambiente. Este modelo, traducido al español, se denomina como FPEIR:

- F: Fuerzas directoras: población, transporte, uso de energía, industria, agricultura, vertederos, etc.
- P: Presiones: uso de los recursos, emisiones atmosféricas, residuos, ruidos, etc.
- E: Estados: calidad del aire, calidad del agua, calidad del suelo, ecosistemas, uso del suelo, etc.
- I: Impactos: cambios físicos, químicos o biológicos del medio ambiente o ecosistema.
- R: Respuesta: resultado de algún impacto indeseado sobre el medio ambiente o ecosistema.

1.7.3. Modelos de la huella ecológica

Se propone la huella ecológica como un indicador ambiental de carácter integrador del impacto que ejerce una cierta comunidad humana, país, región o ciudad sobre el entorno. Es el área de terreno necesario para producir los recursos consumidos y para asimilar los residuos generados por una población

determinada con un modo de vida específico, donde quiera que se encuentre esa área.

La metodología de cálculo consiste en contabilizar el consumo de las diferentes categorías y transformarlo en la superficie biológica productiva apropiada a través de índices de productividad. Estas categorías son:

- Cultivos: área para producir vegetales que se consumen.
- Pastos: área dedicada al pastoreo de ganado.
- Bosques: área en explotación para producir madera.
- Mar productivo: área para producir pescado y mariscos.
- Terreno construido: áreas urbanizadas o de infraestructura.
- Áreas de absorción de CO₂: superficie de bosques necesaria para la absorción de emisión de CO₂.

Posteriormente se lleva a cabo el cálculo de la huella.

1.7.4. Environmental Sustainability Index (ESI)

La agregación de indicadores en un solo valor, denominado como: indicador de sostenibilidad medioambiental, fue propuesta con el fin de servir como criterio de comparación, dado que existe una estandarización de valores para que las variables sean homogéneas y comparables. Se trata de un índice agregado que valora el medio ambiente, la variable socioeconómica y la componente institucional. Está formado por cinco dimensiones descritas por 68 variables, estas dimensiones son:

- Sistemas medioambientales
- Daños medioambientales

- Reducción de la vulnerabilidad humana
- Capacidad social e institucional
- Custodia global

El modelo cuenta con veinte categorías de indicadores: calidad del aire, calidad del agua, biodiversidad, tierra, reducción de contaminación del aire, reducción de contaminación del agua, gestión de los recursos naturales, reducción de los impactos al ecosistema, reducción de residuos y consumo de recursos, reducción del crecimiento de la población, sustento básico humano, reducción de los desastres naturales que tienen consecuencias medioambientales, salud ambiental, ciencia y tecnología, gobierno medioambiental, responsabilidad del sector privado, ecoeficiencia, participación en colaboración internacional, gases con efecto invernadero, reducción de presiones ambientales transfronterizas.

1.7.5. Modelo de Krajnc y Glavic

Es un índice compuesto por la sostenibilidad, se calcula tras la normalización de valores, realizando ponderaciones entre los indicadores, basado en el método de Jerarquías Analíticas (AHP). Este método matemático se apoya directamente en los datos suministrados por la compañía ejecutora, por medio de las memorias de la misma. Este se ha convertido en el método de indicadores en compañías como el definitivo ya que se ha utilizado con mayor adopción internacional entre compañías como Henkel, BP y Shell.

1.7.6. Modelo de U. S. environment protection agency

Desarrollado en el 2009, por Sikdar, y aplicado a la selección de alternativas de la multinacional BASF, se basa en construir un índice

comprendido entre los valores 0 y 1, que permita comparar dos sistemas formados por indicadores, a través de una agregación numérica de los mismos, con factores de peso para las métricas, las cuales describen el comportamiento de los dos sistemas.

1.7.7. Índice entorno de sostenibilidad (IES)

Se basa en la valoración de someter a encuesta a más de 800 empresas con más de 20 empleados. En función de las respuestas se calcula este índice como agregado de los siguientes subíndices los cuales se miden con la respuesta de las preguntas.

- Valoración de la influencia de los grupos de interés
- Valoración de importancia de problemas sobre sostenibilidad
- Valoración de actuaciones y herramientas de sostenibilidad
- Valoración de formación en sostenibilidad de la dirección
- Valoración de la organización y gestión de la sostenibilidad

El cálculo del índice entorno de sostenibilidad (IES) se realiza mediante la sumatoria de cada uno de los anteriores subíndices, obteniendo un valor máximo de 100 por ciento y llegando a tener un valor de la empresa desde excelente o bien negativa.

1.7.8. Modelo AUDITSOS

Diseñado para establecer un *ranking* de sostenibilidad de destinos turísticos, calculado con base en indicadores y un modelo matemático de interrelación y ponderación. Cuenta con tres categorías de indicadores:

- Económicos: valoran la sostenibilidad económica con base en un territorio, trabajo, capital, tecnología, precio y turismo sobre 68 indicadores.
- Socioculturales: valora al territorio, calidad de vida, patrimonio y sociedad, haciendo uso de 70 indicadores.
- Medioambientales: valora la gestión pública del medio ambiente, residuos, agua, suelo, contaminación atmosférica, contaminación acústica, impacto visual y recursos naturales. Se dispone de 131 indicadores.

Posteriormente se aplican fórmulas matemáticas de ponderación complejas, calcula dos índices denominados: capacidad de carga del residente (CCR) y capacidad de carga del turista (CCT). Para este cálculo se tienen en cuenta los impactos positivos y negativos, percibidos y no percibidos, así como de ponderación. A este índice se le denomina AUDITSOS, ya que cuenta con un software que permite calcular de manera sencilla estos complejos índices desde el punto de vista matemático.

1.7.9. Agenda local 21

Tal y como se definió en la Cumbre de Rio en 1992, las entidades gubernamentales debían establecer la agenda local 21, creando un sistema de indicadores que permitiera:

- Disponer de los datos sobre el estado, evolución y plan de acción del municipio.
- Favorecer la obtención de información de manera rápida y eficaz.
- Determinar el grado de implicación de los diferentes agentes en el plan de acción.
- Ayudar a la gestión municipal y a la toma de decisiones políticas.
- Obtener una visión integral de los intereses del municipio.

- Comunicar los avances logrados a los diferentes agentes implicados.

Es fundamental, que los indicadores generales utilizados sean comunes para poder comparar, siendo un modelo único. A estos se les puede añadir otros indicadores específicos. Además, es necesario realizar una definición correcta y clara de este, establecer su relación con los objetivos que se pretende alcanzar, considerar los aspectos técnicos de medida y representación gráfica, así como su método de cálculo.

1.7.10. Modelo BRIDGESworks

Modelo basado en cinco indicadores clave que mide la sostenibilidad de una industria.

- Ineficiencia de materias primas
- Ineficiencia de energía
- Consumo de agua
- Emisiones tóxicas a la atmósfera
- Contaminación

Ha sido diseñado para que sea útil, simple, fácil de usar, entendible, económico desde el punto de vista de la recopilación de datos, reproducible, protegido por el usuario (confidencial) y aplicable para toda la cadena de suministros y ciclo de vida del producto. Cuenta con un software específico para realizar los cálculos de manera automática.

1.7.11. European Common Indicators

Conjunto de indicadores centrados en una perspectiva local urbana. Cuenta con 10 indicadores principales y permite comparar a los municipios y así poder establecer *rankings* y buenas prácticas de sostenibilidad. Tiene en cuenta diferentes tipos de tamaño de las ciudades. Su aplicación representa un costo bajo, en función de los resultados y conclusiones que se pueden obtener tras su aplicación. Los indicadores en los que se apoya este modelo son:

- Satisfacción de los ciudadanos con la comunidad local.
- Contribución local con el cambio climático.
- Movilidad local y transporte de pasajeros.
- Disponibilidad de áreas públicas locales abiertas y servicios.
- Calidad del aire.
- Desplazamiento de los escolares desde y hacia el colegio.
- Gestión sostenible llevada a cabo por las municipalidades y empresas locales.
- Contaminación por ruido.
- Uso sostenible del territorio.
- Promoción sostenible de los productos.

En este modelo de indicadores se tiene en cuenta la contribución de las empresas a la sostenibilidad global del municipio dado que son parte de él. Finalmente se propone una serie de recomendaciones para mejorar el desempeño de las comunidades a favor de su sostenibilidad dentro de cada uno de los indicadores propuestos.

1.7.12. Ecoindicador 99

Este modelo consiste en un conjunto de indicadores que muestran la carga ambiental de un producto o proceso. Con un software específico es posible calcular otros indicadores complementarios. Con esta herramienta se pueden determinar los pesos ambientales del producto en todo su ciclo de vida, para, posteriormente, comparar distintas alternativas a la hora de fabricar, comercializar y gestionar su fin de vida. Para cada proceso que sufre el material, se ha dispuesto un valor numérico que cuantifica el impacto de un material o proceso, basado en el ciclo de vida. Cuanto mayor es el indicador mayor impacto tiene. Las 5 categorías que dispone son:

- Materias primas: los indicadores para los procesos productivos están calculados para un kilogramo de material.
- Proceso productivo: hace referencia al tratamiento y proceso de varios materiales. Cada tratamiento lleva asociadas sus correspondientes unidades de medida (metros lineales, kilogramos, etc.).
- Procesos de transporte: en función de cada modo de transporte del producto, el impacto será diferente. La unidad utilizada habitualmente para este indicador es toneladas-kilómetro.
- Proceso de generación de energía: unidades de electricidad o calor, en función del tipo de energía utilizado para cada etapa, desde la utilización para extraer la materia prima hasta la empleada para el proceso productivo y final.
- Fin de vida: gestión de los residuos y reciclaje. Se determina el fin de vida que se da a cada producto teniendo en cuenta los diferentes tipos de componentes de materiales y productos.

Para cada categoría se determinan los indicadores asociados a cada variable de la misma, y posteriormente se multiplica por la cantidad, obteniendo finalmente, por una sumatoria, un valor de indicador, que es comparable con otro diseño del mismo producto donde se puede sustituir alguna variable para ver el aumento o disminución sobre esta puntuación de manera rápida y cuantitativa y así poder seleccionar la alternativa más sostenible.

1.7.13. Norma UNE 66175:2003 Sistema de gestión de la calidad. Guía para la implantación de sistemas de indicadores

Norma que fija las pautas para la definición y desarrollo de indicadores de gestión de cualquier proceso y actividad, por tanto, no es un modelo específico de indicadores definidos que sirvan para la medida y mejora de la sostenibilidad de la organización, sino que representa unas pautas generales para establecer un sistema de indicadores de medida en cualquier ámbito, lo cual lo hace un modelo generalista. Baza su filosofía en un proceso desde la política y estrategia de la compañía, la definición de indicadores alineados con esta, hasta el seguimiento a través de un cuadro de mando. Además, propone ejemplos concretos de indicadores asociados a objetivos, su representación gráfica para el seguimiento de tendencias.

1.7.14. Modelo Gross Domestic Product (GDP)

Este modelo basa su argumento en el seguimiento del Producto Interno Bruto (PIB) como indicador de consumo, no de bienestar, dado que no existe una relación directa. El PIB se argumenta en algunas ocasiones como un indicador de desarrollo sostenible basado en el supuesto de que el crecimiento económico es la mejor estrategia para mejorar la salud ambiental.

1.7.15. Human Development Index (HDI)

El índice HDI fue desarrollado por Naciones Unidas, es un intento de mejorar las limitaciones del PIB como una medida de desarrollo humano:

- Una vida larga y saludable: se mide a través de los años de esperanza de vida de la población.
- Conocimientos: el indicador utilizado es la tasa de alfabetización de adultos y tasa de matriculación escolar.
- Un nivel de vida digno: se mide a través del PIB per cápita.

Cada una de las variables cuenta con pesos iguales, llevando a cabo una normalización basada en el porcentaje de rango. Este índice pretende ser una medida del desarrollo humano, que será una media del desarrollo sostenible. Utilizando el coeficiente de correlación de Spearman, que mide la asociación o interdependencia entre dos variables aleatorias continuas, se demuestra que existe una correlación positiva muy alta entre el HDI y el PIB, superior a la implícita en el nivel de vida variable que explica únicamente una parte del índice.

1.7.16. Modelo IndicaRSE

Modelo de indicadores aplicado a la región sudamericana, que sirve de instrumento de autoevaluación, basado en indicadores en materia de RSE internacionales. Se utiliza para medir políticas y prácticas. Consta de una herramienta de autoevaluación que permite a las empresas de la región medir sus prácticas socialmente responsables y un marco metodológico conceptual. Cuenta con un cuestionario de 286 preguntas organizadas a través de 7 ejes:

- Gobierno con valores y transparencia (6 aspectos)
- Público interno (4 aspectos)
- Medio ambiente (4 aspectos)
- Proveedores (4 aspectos)
- Consumidores y clientes (4 aspectos)
- Comunidades (4 aspectos)
- Política pública (4 aspectos)

1.7.17. Modelo Wellbeing Index

Índice de bienestar para las naciones, se centra en el desarrollo sostenible, con la idea central de que un índice de desarrollo económico y de bienestar social debe contemplar también los costos medio ambientales de la actividad humana. Evalúa la sostenibilidad en 180 países con 36 indicadores del índice de bienestar humano y 51 indicadores para el ecosistema. La intersección de los dos grupos calcula el valor del índice, buscando siempre una optimización de ambos. Esto ocurre cuando ambos son buenos. La representación gráfica es a través de dos círculos concéntricos ovalados.

Este índice refleja de disposición de una comunidad para lograr la sostenibilidad contemplando una relación de costos ambientales y mejorando la calidad de vida.

1.7.18. Environmental Performance Index (EPI)

Este índice clasifica 149 países, haciendo uso de 25 indicadores dispuestos en seis categorías:

- Salud ambiental

- Contaminación del aire
- Recursos hídricos
- Biodiversidad y hábitat
- Recursos naturales productivos
- Cambio climático

Este índice proporciona una herramienta poderosa para mejorar la formulación de políticas y desplazamientos de la toma de decisiones ambientales dado que se apoya a un despliegue claro de objetivos. Cada una de las 16 variables con las que trabaja cuenta con valores de pesos determinados mediante el análisis de componentes principales y un panel de expertos, llevando a cabo una normalización basada en asignar 100 puntos al mejor valor y 0 al peor valor.

1.7.19. Environmental Vulnerability Index (EVI)

El índice de vulnerabilidad medioambiental es la base de todo bienestar humano. Está diseñado para mostrar los procesos que pueden influir negativamente en el desarrollo sostenible de los países. La razón es proporcionar un método rápido y normalizado para la caracterización de la vulnerabilidad en un sentido general, y determinación de cuestiones que pueden necesitar que se aborden en cada uno de los tres pilares de la sostenibilidad.

El EVI cuenta con 32 indicadores de riesgo, 8 de resistencia y 10 que miden los daños. Cada una de las 50 variables con las que trabaja cuenta con valores de pesos iguales llevando a cabo una normalización basada en asignar 1 al mejor valor y 7 al peor valor.

1.7.20. Living Planet Index

Publicado por World Wildlife Fund (WWF), está diseñado para monitorear el estado del mundo de la diversidad biológica. En concreto, sigue las tendencias de un gran número de poblaciones de especies de la misma manera que un índice bursátil realiza seguimiento del valor de un conjunto de acciones. Está basado en las tendencias de las poblaciones de casi 5 000 poblaciones de 1 686 especies de mamíferos, aves, reptiles, anfibios y peces de todo el mundo. Este índice mundial es el agregado de dos subíndices relacionados con la zona: templado, polar y tropical.

Cada una de las 1 100 variables con las que trabaja cuenta con valores de pesos iguales llevando a cabo una normalización basada en dividir cada valor por el mismo menos una unidad.

1.7.21. Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW)

Este índice es un intento por medir los factores subyacentes que crean un proceso. Tiene como base el gasto derivado del consumo personal, y luego se hacen una serie de ajustes para llevar el valor del índice de un año determinado.

Forma parte de una serie de indicadores globales de sostenibilidad. Tiene un valor potencial si se utiliza junto con otros indicadores para formar y estimular el debate sobre el estado de la naturaleza y la medida del proceso de desarrollo humano. Las ventajas con las que cuenta este índice son:

- Incorporar aspectos sociales y de bienestar de desarrollo sostenible.

- Valorar la distribución de los recursos en una sociedad, las transacciones fuera del proceso de mercado que aumentan el bienestar y el uso del capital natural.
- Proporciona un valor objetivo y comparable de los beneficios netos para la sociedad derivados de su producción y consumo.
- Muestra el resultado de una serie de datos temporales capturados, que contribuyen en conjunto a la calidad de vida de un país.

1.7.22. United Nations Urban Settlement Programme Urban Indicators Toolkit

Modelo de indicadores desarrollado para la medida de la evolución de los asentamientos urbanos, mediante la recogida y el análisis de un conjunto mínimo de datos formado por:

- 23 indicadores cuantitativos básicos urbanos. Indicadores clave que incluye indicadores cuantitativos que son importantes para la política y relativamente fáciles de obtener. Cada indicador está definido de forma detallada indicando la metodología de recogida de datos y cálculo, forma de valorar el género, nivel de profundidad de los datos e interrelación con otros indicadores.
- 9 indicadores obtenidos de datos cualitativos. Datos cualitativos o listas de verificación que aportan una evaluación de las zonas que no fácilmente se pueden medir cuantitativamente. Son preguntas de auditoría, acompañadas generalmente de casillas de verificación SI/NO. Además se asocian a modelos relacionados al hábitat.

2. EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN GUATEMALA

2.1. Localización y descripción del área de estudio

Guatemala se ubica en el istmo Centroamericano, región que cuenta con una población estimada de sesenta millones de habitantes dispersos en una superficie de 523 780 kilómetros cuadrados y en el ámbito mundial se encuentra en la bioregión denominada Mesoamérica.

Posee una gran diversidad climática y ecológica, determinada por las variaciones desde el nivel del mar hasta más de cuatro mil metros de altitud y precipitación pluvial desde 500 a 6 000 milímetros anuales en la superficie territorial. Guatemala se caracteriza como un territorio singular, en donde su riqueza natural manifiesta en sus varios ecosistemas, especies, material genético y demás bienes y servicios ambientales.

Guatemala es un país multilingüe, pluricultural y multiétnico; cuenta con 23 grupos indígenas que están dispersos en jurisdicciones municipales y debido a múltiples características es el único país a nivel centro americano que posee tres declaratorias de patrimonio cultural de la humanidad y se clasifica entre las 25 mega regiones más diversas del planeta. Por otra parte, se puede asegurar que Guatemala es uno de los países mayormente afectados por los impactos y efectos producidos por el cambio climático, lo que manifiesta en la degradación, empobrecimiento y pérdida de capacidad productiva.

Estas condiciones generales de vida, han inducido a que millones de guatemaltecos emigren hacia otros países en especial a Norteamérica en busca

de mejores oportunidades que permitan transformar su calidad de vida. Ante las adversidades mencionadas Guatemala cuenta con compromisos patentizados internacionalmente para reducir la pobreza, además de implementar diversos programas en el marco de cohesión social, económica y ambiental.

Ante las generalidades anteriormente indicadas se presentan los datos que identifican a Guatemala (ver tabla II):

Tabla II. **Datos generales de Guatemala**

| Continente | Centroamericano |
|------------------------|--|
| Países vecinos | México, Belice, Honduras y El Salvador |
| Extensión territorial | 108 899 kilómetros cuadrados |
| Cantidad de habitantes | 15 073 375 |
| % hombres- mujeres | 49 % - 51 % |
| División política | 22 departamentos |
| Lengua oficial | español |
| Moneda | Quetzal (Q) |
| Tipo de cambio | 7,81 quetzales / dólar |
| PIB | Q. 424 6 miles de millones |

Fuente: Fundación para el Desarrollo de Guatemala (FUNDESA), reporte de los principales indicadores de la economía nacional, septiembre 2013.

Figura 2. **Mapa de la República de Guatemala**



Fuente: <https://maps.google.com.gt/maps>. Consulta: marzo de 2014.

2.1.1. **Aspectos geográficos relevantes**

La superficie de Guatemala se caracteriza topográficamente: al sur por una cadena de 27 volcanes, que se extienden a lo largo de 300 kilómetros. Entre estos volcanes y el océano Pacífico hay una planicie de 40 a 50 kilómetros de ancho, donde se encuentran las tierras más fértiles del país. La región de Petén, una gran superficie rectangular y de baja altitud, ubicada hacia el norte. Ocupa una parte de la península de Yucatán, y está fundamentada en una serie de suelos calcáreos. El centro del país está dominado por cadenas montañosas y valles, su pico más alto es el volcán Tajumulco, a su vez de Centro América, con una altitud de 4 220 metros sobre el nivel del mar.

Limita al norte con la vertiente del mar Caribe, al norte y al oeste con México, al este con Belice y el golfo de Honduras, al sureste con Honduras y El Salvador y al sur con el océano Pacífico. De la población son tres cuartas partes de las ciudades concentradas en las faldas y en las áreas aledañas a los volcanes, hacia el lado del Pacífico. Las sierras forman una barrera entre la zona de Petén y las planicies a lo largo del Pacífico. En el oeste se ubica la sierra de los Cuchumatanes con alturas por encima de los 3 000 metros sobre el nivel del mar.

La ciudad capital y sus suburbios concentran más de la tercera parte de la población. Otras ciudades importantes son: Quetzaltenango, Escuintla, Retalhuleu, Huehuetenango y Cobán.

2.1.2. Clima

En Guatemala se cuenta con diversidad de climas. En las zonas ubicadas a menos de 900 metros sobre el nivel del mar, la temperatura promedio es de 21 a 27 grados centígrados, durante todo el año. Entre 900 y 1 500 metros sobre el nivel del mar, estas oscilan entre 16 y 21 grados centígrados y en alturas entre 1 500 y 2 700 metros sobre el nivel del mar, las temperaturas están entre 10 y 16 grados centígrados.

Prevalecen condiciones semidesérticas en la sección medio del río Motagua, mientras que la precipitación excede los 3 800 metros en las zonas más altas, particularmente las que están ubicadas en el sur del país en las zonas montañosas. La estación seca se extiende de noviembre hasta abril. En la región norte y este las lluvias se extienden durante todo el año. Fuertes tormentas tropicales acompañadas de vientos que pueden convertirse en huracanes afectan al país en los meses de septiembre y octubre.

2.1.3. Recursos naturales

Los recursos naturales energéticos renovables del país, según el estudio de marco de asistencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDAF) 2014-2014, han sido estimados en la capacidad potencial de generación en el sector hidroeléctrico con un total de 5 000 mega watts en generación y una capacidad instalada de 753 mega watts; en el sector geotérmico con un total de generación de 1 000 mega watts y una capacidad instalada de 44 mega watts; y el sector eólico únicamente con una capacidad de generación de 400 mega watts.

Guatemala cuenta con 246 áreas protegidas, con un total de 3 385 526 hectáreas, lo cual representa el 31 por ciento de la superficie del país. Además posee 38 cuencas hidrográficas que se agrupan en tres vertientes: la del océano Pacífico, la del Mar Caribe y la del Golfo de México.

2.1.4. Población

La población total de Guatemala asciende a más de quince millones de personas para el 2013. Más del 50 por ciento de la población es urbana. Su densidad poblacional es de 135 habitantes por kilómetro cuadrado.

2.1.5. Indicadores sociales

Guatemala es un país de desarrollo humano medio, de acuerdo al índice publicado por el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Sus problemas de desarrollo humano se asocian en mayor parte a desastres naturales ligados al clima.

Sus habitantes tienen una expectativa de vida de 68 años, su pobreza extrema es de 15 por ciento y una tasa de analfabetismo de 27 por ciento.

El 63 por ciento de sus habitantes son ladinos o descendientes de mestizos y europeos en su mayoría españoles, y el resto indígenas y garífunas.

2.1.6. Sistema de Gobierno

Guatemala cuenta con un sistema de Gobierno con tres poderes distintos: Legislativo, el cual es ejercido por el Congreso de la República; Ejecutivo, el cual lo conforma el presidente, vicepresidente de la república y el consejo de ministros; y Judicial, que lo ejerce la Corte Suprema de Justicia.

La forma de Gobierno local es la del municipio, el cual es ejercido por un concejo integrado por el alcalde, los síndicos y concejales.

2.1.7. Aspectos económicos

En el área de producción, el PIB alcanzó más de 424 millones de quetzales, con un crecimiento entre 3,2 por ciento y 3,6 por ciento, con una población económicamente activa de 5,9 millones, y una tasa de desempleo de 3,2 por ciento, esto para el 2013.

Aunque es el país menos abierto de la región, sus exportaciones han sido de 3 591,9 millones de dólares y sus importaciones con 5 445,5 millones de dólares, medidos en abril de 2013. Su tipo de cambio se ha mantenido en promedio constante durante el 2014 en 7,81 quetzales por unidad de dólar y la tasa de inflación de 3 a 5 por ciento.

A criterio del Banco Mundial, se estima que Guatemala tenga un incremento de su actividad económica en un 3 hasta 3,1 por ciento, pero que la misma debería ser más ambiciosa, ya que el país tiene posibilidades de crecer aún más, porque posee estabilidad macroeconómica y un sistema bancario sano con un buen nivel de las reservas monetarias internacionales, así como la disponibilidad de crédito tanto en dólares como en quetzales. Además se indicó que se contará con grandes inversiones lo cual traerá al país varios miles de millones de dólares, por ejemplo: la licitación PEG 1-2010 de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) que busca la compra de 800 mega watts con un precio de compra promedio de 2 millones de dólares por cada mega watts por etapas a licitar, iniciando en febrero 2012, la apertura de ofertas económicas, adjudicando 213,22 mega watts de hidroeléctricas y proyectando terminar en el 2029.

2.1.8. Infraestructura de servicio

Guatemala cuenta con infraestructura de puertos principales entre ellos: Santo Tomas de Castilla, Puerto Barrios y el Puerto Quetzal. Los primeros en el Caribe y el otro en el Pacífico. Infraestructura de dos aeropuertos principales La Aurora en la ciudad capital y Mundo Maya en Petén. Cuenta con red de carreteras con más de 14 000 kilómetros de los cuales el 34,5 por ciento están pavimentados y el 65,5 por ciento están sin pavimentar.

En infraestructura, para Guatemala se tienen limitantes importantes a nivel centroamericano, pero tiene un sobresaliente crecimiento en el tema de energía eléctrica como disparador de desarrollo por su cobertura en el servicio eléctrico y el consumo de energía por habitante, según estudios realizados por el Proyecto Acelerando las Inversiones en Energía Renovable en Centroamérica y Panamá (ARECA), estudios hechos a partir del 2008. En dichos estudios se

obtiene un índice de electrificación de 83 por ciento y un consumo eléctrico de 579 kW/habitante/año, por lo que permite concluir que su mayor fuente de desarrollo se proyecta en el sector eléctrico.

2.2. Situación actual

En la década de los años sesenta, la región de Guatemala no tuvo impactos significativos en términos de crecimiento; sin embargo, se produjo un proceso de desarrollo organizativo y de estructuración de la sociedad en los años ochenta; los conflictos armados e ideológicos, produjeron cambios sociopolíticos. Estos cambios se generaron con escasez de recursos naturales, a consecuencia del deterioro y degradación de los mismos, esto acompañado de la crisis económica, ha obligado a buscar nuevas formas de plantear el desarrollo, administrar y utilizar los recursos naturales; estas deben de ser esquemas innovadores que impliquen procesos de democratización y participación, donde la sociedad tome conciencia del valor de sus recursos y se comprometa a usarlos de una manera sostenible.

A raíz de esta situación, los presidentes de Centroamérica suscribieron el 20 de agosto de 1994 en Costa Rica, la declaración de Guácimo, en la cual se comprometieron a profundizar en la Alianza para el Desarrollo Sostenible (ALIDES) y presentarla al mundo como tesis centroamericana, concretándose en la Cumbre Ecológica para el Desarrollo Sostenible celebrada en Managua, Nicaragua, asumiendo como principios:

- El respeto a la vida en todas sus manifestaciones.
- El mejoramiento de la calidad de vida humana.
- El respeto y aprovechamiento de la vitalidad y diversidad de la tierra de manera sostenible.

- La promoción de la paz y la democracia como formas básicas de convivencia humana.
- El respeto a la pluriculturalidad y diversidad étnica de la región.
- El logro de mayores grados de integración económica entre los países de la región con el resto del mundo.
- La responsabilidad inter generacional con el desarrollo sostenible.

Guatemala, como los demás países subdesarrollados o del tercer mundo, ha estado dependiendo siempre de las políticas económicas y financieras de los países del occidente o desarrollados, al principio solo de Europa, principalmente de España, y en estos últimos años tanto de la Unión Europea, Banco Mundial, Fondo Monetario Internacional, como también de los Estados Unidos, a través del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y otros. A esto se puede agregar el conflicto armado que duro casi 36 años, estos acontecimientos han fortalecido el grado de dependencia lo cual ha ocasionado que el desarrollo de la sociedad aun no sea sostenible.

2.2.1. Contexto regional

Guatemala se encuentra en la región centroamericana, esta cuenta con matices de distinta índole ya que por un lado comparten muchas de las realidades sociales, ambientales, políticas y económicas. La región se encuentra actualmente, en un estado de vulnerabilidad alta en relación a los efectos del cambio climático, que se aceleran por un uso no adecuado de los recursos.

Las políticas ambientales, energéticas y económicas buscan priorizar la eficiencia y la limpieza ambiental energética, favoreciendo una mayor inversión hacia el desarrollo de energías limpias renovables, esto genera la presencia de

Centros de Producción de Energía Más Limpia en la región, políticas e incentivos dirigidos a la reducción de combustibles fósiles, enfocándose a una ética ambiental.

2.2.2. Contexto nacional

Guatemala es un país que cuenta con una diversidad de oportunidades, ya que posee bienes y servicios naturales, una posición estratégica al ser punto de enlace entre el continente americano, infraestructura de comunicación y conectividad. Derivado a esto cuenta con apoyo extranjero significativo como el Centro de Desarrollo de Producción más Limpia, el Centro de Responsabilidad Ambiental y Social Empresarial y los efectos de los procesos de normalización o estandarización de la calidad de procesos y productos en algunas empresas.

Además cuenta con tres vertientes hidrográficas, las cuales representa un potencial en oferta hídrica, el uso de la tierra es de 27 por ciento para fines de agricultura, el 21 por ciento a pastos y forestales, el 37 por ciento es potencial forestal productivo, el 14 por ciento es forestal protector y el 1 por ciento es superficie de la hidrosfera terrestre.

En los últimos informes de avances en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo del milenio 2010, Guatemala evidencia significativos avances, ya que 29 de 49 indicadores muestran una tendencia positiva hacia su cumplimiento. Enfrentar la vulnerabilidad del país en el contexto de desarrollo sostenible, es un gran desafío, ya que implica la protección, adaptación y mejoramiento de los ámbitos económicos, sociales y sobre todo ambientales, como grandes activos nacionales.

2.2.3. Desarrollo humano

Desarrollo humano sostenible significa el proceso de expansión de las capacidades de las personas que amplían sus opciones y oportunidades. El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), publica índices para Guatemala para el 2011, en donde indica que: Guatemala ocupa el lugar 131 de 187, en otras palabras ciento treinta países se encuentran en mejores condiciones de vida y solamente superamos a 56 países. Representa un índice considerado como medio con un valor de 0,574 en América Latina y el Caribe, superando únicamente a Haití.

Algunos de los indicadores que mide el índice de desarrollo humano (IDH) son: esperanza de vida al nacer, tasa de alfabetización en adultos, tasa de mortalidad de niños menores de 5 años, población urbana y rural, población con acceso a servicios de salud, población con acceso a saneamiento, relación alumnos profesores, porcentaje de pobres rurales y urbano, entre otros. Este promedio de desarrollo humano indica que son cifras considerablemente altas lo cual nos permite evaluar un desarrollo humano bajo en comparación con el resto de los países. Bajo el análisis de estos indicadores se pueden enfocar los caminos que conducen a crear condiciones para promover o limitar el bienestar y las oportunidades que tiene la población.

2.2.4. Producción y consumo en Guatemala, fortalezas y amenazas

La economía guatemalteca, a pesar de ser una de las más estables de la región, en los últimos años es altamente dependiente de los procesos internacionales y mundiales, especialmente en la parte agrícola.

Dentro del marco de la producción, se requiere tener la posibilidad de acceder a activos, tales como: infraestructura, adelantos científicos y tecnológicos, tierra y otros recursos naturales, capital productivo y crédito para lograr una libertad plena de producción sostenible y al mismo tiempo mejorar la competitividad por medio del acceso a redes sociales e instituciones funcionales, efectivas y transparentes.

En general, el consumo per cápita en relación a lo que se tenía para 1989, únicamente ha crecido anual medio del 2 por ciento. Esta desigualdad y bajo crecimiento tiene como resultado la pobreza. En este sentido, si se toma el consumo como medida aproximada del bienestar de los hogares, expresado por medio del crecimiento del PIB per cápita y del consumo promedio de los hogares, se tiene que para Guatemala esta relación no ha sido suficiente para una reducción importante de la pobreza. El desarrollo humano bajo, dificulta mucho el poder alcanzar, como país, procesos de consumo y producción sostenible.

2.3. Medios como herramientas hacia el desarrollo sostenible

A partir de la unanimidad mundial, respecto a la interpretación del concepto del desarrollo sostenible como la capacidad de continuar en el futuro por medio de la interacción de tres sistemas de sustentabilidad económica, social y medio ambiental, como objetivo fundamental a mediano como a largo plazo, siendo igual de importante la consideración de los medios para conseguirlo por medio de: la economía pretende maximizar el bienestar humano dentro de las limitaciones del capital y las tecnologías existentes; la ecología hace especial hincapié en preservar la integridad de los sistemas ecológicos con el fin de asegurar la estabilidad del ecosistema mundial y la sociología recalca que los agentes claves son los seres humanos, siendo su esquema de

organización social fundamental para encontrar soluciones variables que permitan encontrar el desarrollo sostenible.

2.3.1. Económicos

Guatemala es un país que depende de la agricultura como principal medio de vida, los patrones de vida eran originalmente dependientes del clima para poder tener una oferta y demanda para poder mantener los medios de vida tradicionales.

Sin embargo, el conflicto armado⁴ propició la migración hacia las afueras del país especialmente hacia Norte América, con el fin de alcanzar un bienestar económico y asegurar la sobrevivencia de las familias. Este fenómeno provocó la dependencia de un país agrícola hacia las remesas, las cuales en los últimos años ha aumentado millones de dólares, lo cual genera en un porcentaje mayor al 61 por ciento de las divisas del país. Esto ha generado la pérdida de mano de obra en el país.

De igual manera, la falta de opciones de mano de obra calificada o por tener una alta demanda de alto nivel técnico por parte de nuevas fuentes laborales, ha provocado que sistemas de consumo y producción no sean sostenibles y que muchas de las microempresas sean absorbidas por grandes consorcios internacionales, respaldados por los tratados de libre comercio.

⁴Movimiento social que tuvo lugar a mediados de los años 80 caracterizado por la continuidad de una guerra donde únicamente las poblaciones en conflicto y el ejército gubernamental sabían de eso. Dio lugar a la formación de guerrillas iniciando cambios sociales en el país que generaron. cambios sustanciales en las sociedades indígenas, duró 36 años, dejó unos cien mil muertos, un millón de desplazados, miles de torturados y desaparecidos, el gremio periodístico no escapó a esa vorágine de sangre, desesperación y dolor.

2.3.2. Educación

La educación es la herramienta por medio de la cual se desarrollan las capacidades necesarias para lograr alcanzar el desarrollo integral, lo convierte en un medio estratégico para la formación de valores, habilidades y capacidades hacia la sostenibilidad.

La educación en la producción sostenible se relaciona con un nuevo campo que requiere de estudios interdisciplinarios y la educación ambiental como un proceso generador de nuevos valores y conocimientos para poder propiciar y crear la conciencia necesaria para que se dé un consumo sostenible.

Actualmente, por acciones recientes del Ministerio de Educación (MINEDUC) y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), junto con organizaciones nacionales e internacionales se implementa la temática ambiental como un eje transversal hacia la currícula escolar.

2.3.3. Bienes y servicios

En Guatemala, la biodiversidad es un bien nacional que representa una gran riqueza económica, capaz de generar procesos de consumo y producción sostenible.

La mayoría de los productos que se producen y se consumen internamente son un complemento a las tradiciones, en donde el 36 por ciento de los elementos de la biodiversidad son utilizados para servicios medicinales, el 29 por ciento con fines maderables, el 13 por ciento con fines ornamentales y el 12 por ciento con fines alimenticios. Dentro de lo que corresponde a los

procesos de exportación, se tiene que la biodiversidad genera más de siete millones de dólares (CONAPA, 2 006).

2.3.4. Consumo y producción sostenible

Dentro del consumo y producción como herramienta sostenible se requiere tener una accesibilidad de activos tales como: infraestructura, adelantos científicos y tecnológicos, tierras y otros servicios naturales, capital productivo y crédito, junto con esto se requiere la competitividad por medio al acceso a redes sociales e instituciones funcionales, efectivas y transparentes (PNUD, 2008).

Al mismo tiempo, para el desarrollo se requiere de un parque energético que sea estable, accesible y eficiente en cuanto a su generación y distribución. Con base en estos datos se tiene que la producción se fundamenta en dos elementos: la ciencia y tecnología, y la energía.

Para el primer elemento se tiene que el desarrollo económico y la competitividad son elementos indispensables para alcanzar un desarrollo económico sostenible; su eficiencia y productividad están fundamentalmente determinadas para el progreso científico, tecnológico y de innovación. Por tanto es necesario, para facilitar el consumo de producción sostenible, contar con un elemento transversal en la educación de ciencia, tecnología y productividad.

El Estado de Guatemala reconoce a la ciencia y la tecnología como bases fundamentales del desarrollo nacional (Decreto 63-91, Ley de Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico). Para ello, se ha desarrollado un mecanismo de financiamiento, el cual está constituido por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (Decreto 73-92). A pesar de tener toda una estructura y

base legal, estos aportes han sido insuficientes para la creciente demanda interna y de los avances tecnológicos mundiales, provocando que el país haya quedado rezagado en varios aspectos del desarrollo y la innovación tecnológica. Esta deficiencia se denota con los aportes realizados por el Estado, los cuales únicamente representan el 0,03 por ciento del PIB (PNUD, 2 008).

En la medida que no se dé una mayor inversión del Estado y en general del país en este ámbito, el país siempre se encontrará un paso atrás de los avances tecnológicos que en determinado momento podrían hacer que la producción sea mucho más competitiva local, regional y mundialmente.

2.3.5. Acciones del Estado

Actualmente en Guatemala, los patrones de consumo y producción se encuentran en la necesidad de realizar un cambio sustantivo para lograr la reducción de la pobreza. El Gobierno de Guatemala desarrolla una serie de iniciativas enfocadas hacia el sector de la población más pobre y que necesita mayor atención.

Entre las iniciativas que se encuentran activas en el país está el programa nacional de emergencia y recuperación económica, el cual busca contrarrestar los efectos de la desaceleración económica mundial por medio de potenciar los hechos de tener altas reservas monetarias internacionales, un buen perfil de deuda pública total y mantener la estabilidad de las principales variables macroeconómicas; lo que requiere de un apoyo directo de todos los organismos del Estado y de los distintos sectores de la sociedad civil, tanto sociales como económicos.

Otra acción es el trabajo directo con las PYMES, convirtiéndolas en freno ante las recesiones económicas, por medio de la realización de acciones encaminadas al desarrollo de apoyos técnicos y financieros para hacer más operativas sus actividades.

Existen asociaciones nacionales e internacionales que buscan, en conjunto con el Gobierno, impulsar el desarrollo sostenible como estrategia de negocios; por ejemplo Fundación Empresarial para la Asociación Social (FUNDEMÁS). Los actores de la sociedad deben contribuir con el desarrollo sostenible: Gobierno, sociedad civil y empresas privadas por medio de una RSE como una herramienta clave para lograrlo.

Guatemala reconoce la existencia de un marco institucional dentro del Sistema de las Naciones Unidas enfocado en el desarrollo sostenible; además requiere de la replantación de procesos para convertir estos en eficaces y eficientes a los desafíos actuales fortaleciendo las capacidades existentes a nivel nacional por medio de una orientación hacia: tecnología, recursos financieros, capacidad humana, que puedan orientarse hacia inversiones significativas hacia el desarrollo sostenible, ya sea en el marco nacional e internacional.

2.4. Instituciones relacionadas con el fomento del desarrollo sostenible

En Guatemala se han desarrollado distintas iniciativas tendientes a sensibilizar a las empresas sobre los beneficios de una Producción más Limpia, la cual se basa en iniciativas para optimizar los procesos, reducir los costos y mejorar el desempeño ambiental. En 1999, con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización de

Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), la Cámara de Industria de Guatemala (CIG), junto con otras entidades del sector privado y universidades, establecieron el Centro Guatemalteco de Producción más Limpia (CGP+L).

A inicios de 2009, el CGP+L en conjunto con el MARN, la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), se logró construir la política de Producción más Limpia, la cual es un mecanismo eficaz de gestión ambiental, con la finalidad de crear crecimiento económico, la competitividad productiva, manejo racional de los recursos naturales y en general, el desarrollo humano.

El sector de la construcción, es un eje importante del desarrollo nacional. Uno de los elementos más relevantes para el Desarrollo Sostenible, es que en el 2006 la Cámara Guatemalteca de la Construcción (CGC) firmó un convenio con el Centro para la Acción de la Responsabilidad Social Empresarial (Centro RSE), dentro del cual se elaboró y promulgó el Código de Ética que entró en vigencia en el 2007 y se fundamenta en el fomento de prácticas de responsabilidad social empresarial como una cultura de negocios basados en principios éticos y firme cumplimiento de la ley, respetuosa de las personas, familias, comunidades y ambiente.

El marco de asistencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDAF) es el documento programático para cinco años de cooperación (2010-2014) del Sistema de Naciones Unidas en Guatemala (SNU) consiste en apoyar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODMs), contribuir al logro del desarrollo sostenible y la paz en Guatemala.

El esfuerzo y objetivos de las instituciones públicas, privadas y organizaciones no lucrativas su fin primordial es el mejoramiento de la calidad de vida y desarrollo a nivel nacional para el pueblo y territorio guatemalteco.

2.5. Importancia de energía eléctrica para el desarrollo sostenible

Los recursos naturales, en conjunto con la tecnología asociada, son una fuente de energía para uso industrial y económico. Esta energía es un bien intermedio para satisfacer otras necesidades en la producción de bienes y servicios para generar el desarrollo del país.

La energía eléctrica sustentable ofrece al mercado oportunidades para alcanzar beneficios financieros, medioambientales y relacionados con la salud. Estas ventajas pueden estar concentradas a lo largo de toda la cadena de sistemas, desde la generación de energía eléctrica hasta la transmisión, distribución y el uso final.

Los sistemas de energía eléctrica eficientes producen importantes impactos positivos durante su vida útil, por las siguientes razones:

- Menores costos operativos: los usuarios se benefician de menores costos de energía eléctrica y costos de mantenimiento.
- Aumento de confiabilidad: los sistemas con eficiencia energética renovables son más confiables que los bienes naturales no renovables, ya que con su buen aprovechamiento, se tienen ilimitados recursos para su utilización como energía eléctrica. Los usuarios de productos eficientes energéticamente se benefician de una menor frecuencia de mantenimiento durante su funcionamiento.

- Mayor vida: los sistemas de energía renovable eficiente, generalmente duran más tiempo que los sistemas no renovables.
- Más capital para inversiones: los ahorros generados de menores cuentas eléctricas, los menores costos de mantenimiento, mayor vida útil de los productos y menores riesgos de fallas en la distribución de energía pueden ser usados para inversiones empresariales estratégicas, que permiten a las compañías inversionistas crecer y prosperar.
- Menos gases invernadero: las plantas generadoras que queman combustibles fósiles están entre las mayores fuentes emisoras de gases invernadero (dióxido sulfuroso, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, material particulado y ozono del nivel del suelo), que son responsables de un aumento en la incidencia de asma y bronquitis, y se cree que son factores influyentes en el calentamiento global, los crecientes niveles de los mares, y el incremento en la frecuencia y severidad de climas extremos.
- Menos mercurio tóxico: algunos carbones que alimentan plantas generadoras contienen elevados niveles de mercurio. El mercurio de carbón quemado se libera a la atmósfera, donde subsecuentemente ingresa a la cadena alimenticia y se convierte en un riesgo para la salud. Por ejemplo, el mercurio en las emisiones de plantas generadoras es responsable por los elevados niveles del tóxico metal en el atún, lo cual ha llevado a algunas ONG en ciertas regiones a advertir al público en contra del excesivo consumo de atún por parte de los humanos.

3. MERCADO ELÉCTRICO EN GUATEMALA

En Guatemala, el 46 por ciento de la energía que se produce se basa en tecnologías más caras. Se consume cincuenta veces más que hace un siglo y este aumento de demanda genera nuevos problemas y requiere nuevas soluciones.

El Consejo Mundial de la Energía estima que, en Guatemala durante los próximos años se generará un aumento en el consumo de energía eléctrica del 50 por ciento. Asimismo, las Naciones Unidas declaró que los países en desarrollo tienen el derecho de disponer libremente de sus recursos naturales y que deben ser utilizados para fines de desarrollo económico, de acuerdo a los intereses nacionales. Con estas observaciones dadas, las decisiones que Guatemala tome en materia de política energética, tendrán una influencia positiva en cuanto a seguridad y calidad de abastecimiento, eficiencia en la producción y utilización de la energía, explotación racional de los recursos naturales, cobertura en cantidad y calidad.

Para lograr el proceso de desarrollo sostenible se inició con La Ley General de Electricidad (LGE), en 1996; funcionaban en ese entonces, como agentes del mercado, el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), que atendía específicamente al área rural departamental y la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), cubría los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla. La estructura del sub sector eléctrico en esa época era un monopolio, con una integración vertical en la generación, transmisión y distribución de la electricidad, con la participación de 17 Empresas Eléctricas Municipales (EEMs) de distribución.

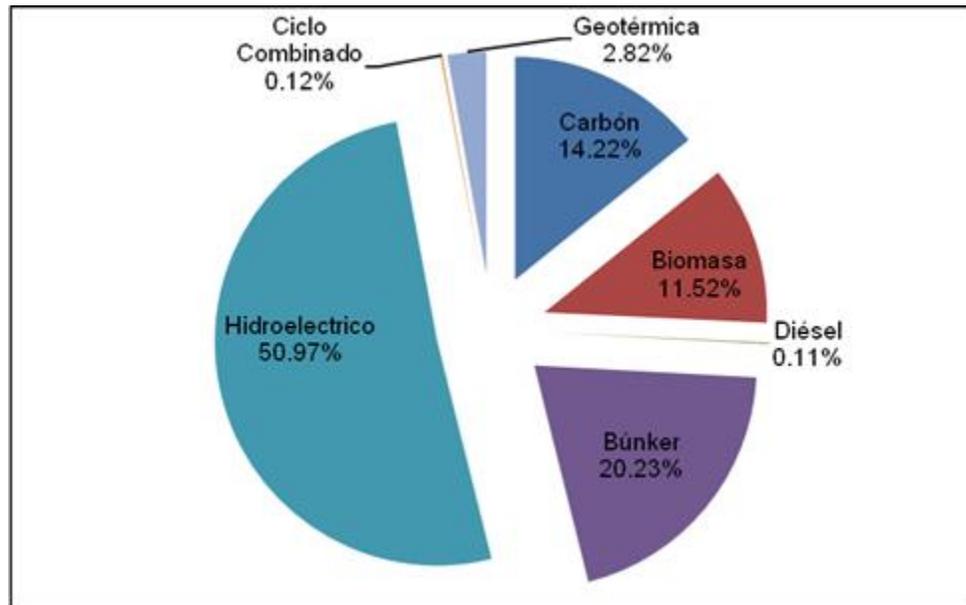
La LGE regula las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización, y define como autoridad máxima y ente rector del sector energía en el país al Ministerio de Energía y Minas (MEM). Dicha ley ordena la creación del ente regulador, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) como un órgano técnico del MEM, y establece que el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) es un ente privado sin fines de lucro, encargado del despacho energético.

3.1. Matriz energética

Actualmente, el sistema de generación, forma parte de la política energética de la república de Guatemala, en donde se establece la necesidad de transformar la matriz energética, de tal manera que para el 2026, por lo menos el 55 por ciento de la energía se produzca a través de energía renovable.

La participación en la producción de energía en el SIN por tipo de combustible durante el 2012 mostrado en la figura 3, indica la contribución con la matriz energética con un comportamiento hidroeléctrico de 50,96 por ciento y un 49,04 por ciento con otros tipos de tecnología, con mayor representación en la generación con búnker.

Figura 3. **Participación en la producción de energía en el SIN por tipo de combustible, 2012**



Fuente: informe estadístico 2013, CNEE.

En la tabla III se puede observar cómo los costos totales de generación (fijos más variables) en la generación térmica dependen primordialmente del búnker, lo cual convierte el parque generador de Guatemala muy susceptible de los incrementos al precio del petróleo.

Guatemala, como muchos países a nivel regional y latinoamericano ha sufrido el impacto de los precios del petróleo en el mercado internacional, repercutiendo en los costos de generación, como se observa en la tabla III, en donde muestra que la energía térmica en diésel y petróleo sobrepasan en el doble o más los costos totales de las demás tecnologías de generación eléctrica.

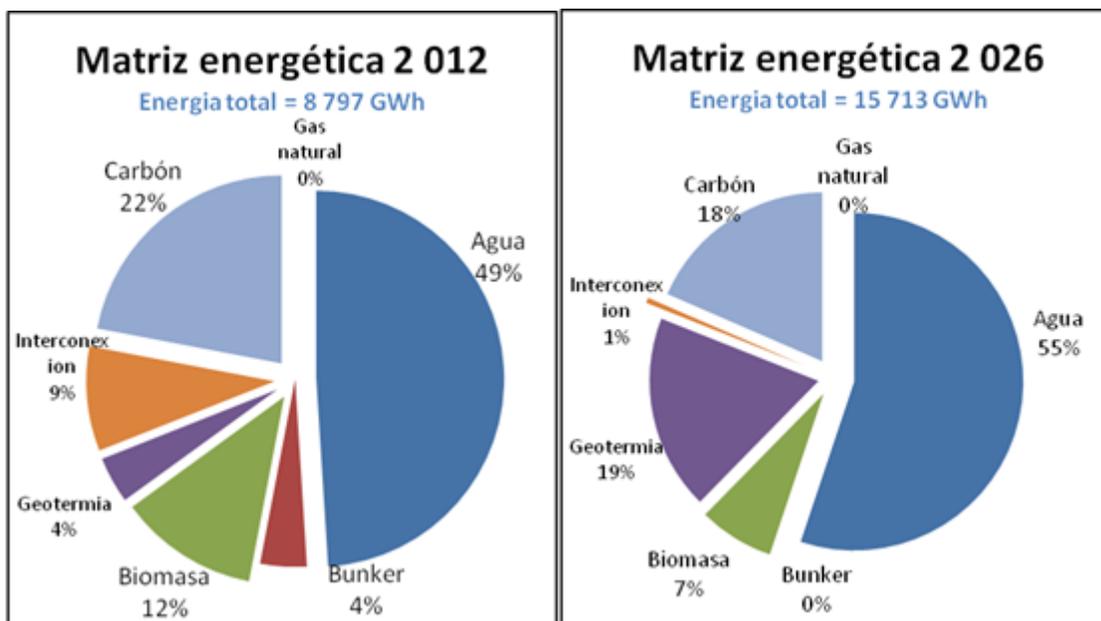
Tabla III. **Factor de planta y costos totales de generación por tecnología**

| Tecnología | Factor de Planta | Generación anual KWh | Costo de Combustible US\$/litro | Costo total (fijos + variables) US\$/KWh |
|------------------------|-------------------------|-----------------------------|--|---|
| Turbinas de gas | 0,90 | 7 884 | 0,40 | 0,229 |
| Ciclo combinado | 0,90 | 7 884 | 0,40 | 0,158 |
| Carbón | 0,90 | 7 884 | 0,10 | 0,198 |
| Geotérmica | 0,95 | 8 322 | | 0,104 |
| Hidroeléctrica | 0,70 | 6 132 | | 0,129 |
| Eólica | 0,35 | 3 066 | | 0,227 |
| Biomasa | 0,55 | 4 818 | | 0,119 |

Fuente: Política Energetica MEM, 2012.

La transformación de la matriz energética observada en la figura 3, nos muestra actualmente una energía total de más de ocho mil giga watts hora, con un 49 por ciento de generación por medio del recurso agua. Se proyecta que para el 2026 se tendrá una generación mayor a quince mil giga watts hora, con un aumento de generación del recurso agua al 55 por ciento, reduciendo considerablemente la generación por medio del búnker, interconexión y biomasa, lo cual reduciría el precio de la tarifa eléctrica tanto para usuarios residenciales como industriales.

Figura 4. Transformación de la matriz energética



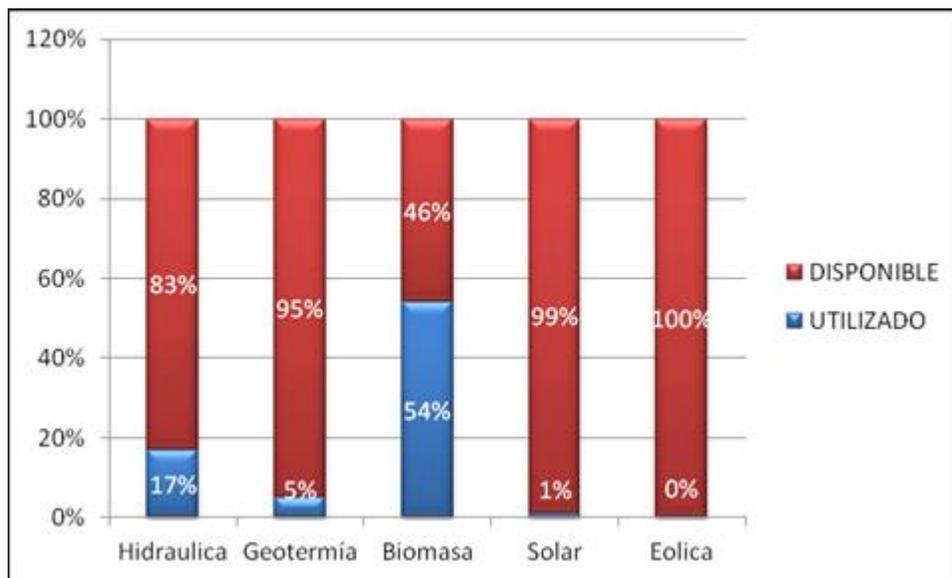
Fuente: informe estadístico, CNEE. 2013.

Para llegar a los cambios de la matriz energética de Guatemala, la CNEE cuenta con un plan de expansión indicativo del sistema de generación 2012 - 2026, en donde sus objetivos son los siguientes:

- Cumplir la política energética aprobada por el MEM 2007.
- Diversificar la composición de la matriz energética priorizando el desarrollo de los recursos renovables.
- Promover las inversiones en generación eficiente.
- Reducir los costos del suministro de energía eléctrica.
- Minimizar el impacto en el medio ambiente de las emisiones de CO₂ cambiando la composición de la matriz energética.
- Impulsar la integración energética regional.

- Conformar una base de datos para la elaboración del Plan de Expansión del Sistema de Transporte 2008-2018, para satisfacer las necesidades urgentes del Sistema de Interconexión Nacional (SIN).

Figura 5. **Aprovechamiento de la generación de energías renovables**



Fuente: foro Fundación Solar, CNEE. 2012.

Las energías renovables juegan un papel importante y fundamental en el cambio de la matriz energética, ya que actualmente el aprovechamiento de las fuentes renovables para la generación eléctrica, la figura 4 indica que el 54 por ciento de generación de energía eléctrica renovable es por biomasa y en recurso hídrico apenas el 17 por ciento es aprovechado dejando un 83 por ciento sin ser utilizado.

De otros recursos renovables, la generación con tecnología solar apenas llega a un 1 por ciento utilizado actualmente, y la tecnología eólica solo se cuenta con estudios y proyectos que aún no se ejecutan.

3.2. Generalidades de la energía renovable

La energía eléctrica constituye un producto básico esencial para todas las sociedades humanas. El uso primordial por parte de las sociedades corresponde a iluminación eléctrica, cocción de alimentos y en mayor medida a la utilización de artefactos impulsados a motor.

La población y la demanda de energía en la región americana crecerán a un ritmo acelerado en la próxima década, los estimativos para el crecimiento anual fluctúan entre el 2,7 y el 4,5 por ciento en comparación con el 0,9 y el 1,6 por ciento para los países industrializados; esto hace que los proyectos de energía sean más importantes.

Este lineamiento discute diversos enfoques al problema de la deforestación para utilizar la leña como combustible y también aborda los impactos adversos potenciales para el medio ambiente que pueden estar asociados con otros proyectos de energía, tales como: las secadoras y los hornos con energía solar, la energía fotovoltaica, el biogás, la fuerza motriz hídrica y la de viento.

La distinción entre el medio ambiente y los recursos naturales es el resultado de que anteriormente los medios ambientales, especialmente el aire, han sido considerados como bienes libres, mientras los recursos naturales tradicionales, como los fósiles y mineros e incluso la tierra o los bosques, han sido considerados bienes escasos y en consecuencia con valor económico. Mientras los recursos subterráneos y superficiales (terrestres) son sujetos de explotación, los recursos ambientales sufren los efectos externos de esas actividades.

Las energías renovables lograron un cierto nivel de desarrollo en América Latina, sin embargo, el nivel actual no es satisfactorio, con la excepción del uso a grande y mediana escala de la hidroelectricidad y la energía geotérmica. Sin embargo, parece que se inicia una nueva etapa en la penetración del mercado.

La posibilidad de hacer instalaciones aprovechando la energía solar, geotérmica, eólica y otras por debajo de 10 mega watts ha aumentado considerablemente ya que, actualmente, se tiene un total de 11 pequeñas centrales en operación con una capacidad conjunta de 48,4 mega watts y representan un 2,2 por ciento de la capacidad del SIN; si todas las centrales menores a 10 mega watts que se encuentran actualmente en construcción o tramites, las centrales menores a 10 mega watts representarían un 5,9 por ciento. No faltan promotores, financieros, conocimientos o tecnología comercializable. La voluntad política demostrada en los programas nacionales y los nuevos acuerdos internacionales hemisféricos recientemente suscritos parecen muy importantes.

3.3. Mercados de generación de energía eléctrica renovable en Guatemala

El sector eléctrico de Guatemala está ampliamente diversificado y con un número significativo de agentes participantes en las diferentes actividades de la industria (generación, transmisión, distribución, comercialización y grandes consumidores) agrupados alrededor de la existencia de un mercado eléctrico.

En los últimos años la generación de energía eléctrica ha tenido un crecimiento, según estudios realizados por el MEM, el uso de energía renovable se incrementó en un 39,8 por ciento y la generación de energías no renovables

únicamente aumento un 17 por ciento. También se llegó a concluir que no se ha llegado a satisfacer los niveles necesarios de generación de energía renovable.

Es importante conocer sobre sus características, cómo funcionan, la cobertura y potencial que pueden llegar a tener las energías renovables en nuestro país.

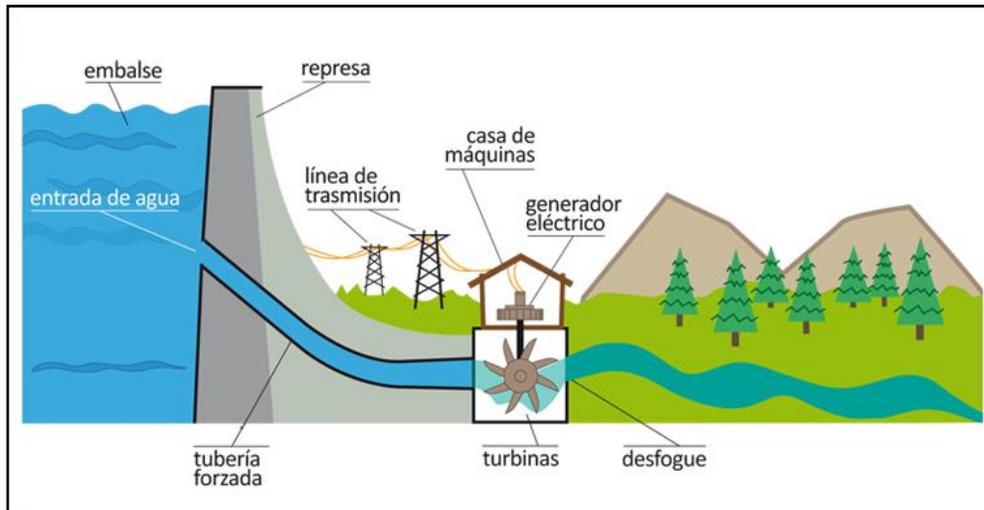
3.3.1. Hidroeléctricas

La energía hidráulica se obtiene de la transformación de la energía cinética del agua manifestada de dos formas: la contenida en el propio movimiento del agua (es la energía cinética real del cauce y, por lo tanto depende directamente del caudal que se produce en cada momento), y la potencial contenida en una masa de agua en elevación.

El aprovechamiento de la energía hidráulica está, por tanto, en relación con el caudal y la pendiente. Mientras que la pendiente es fija, el caudal varía estacionalmente de acuerdo al régimen del río. Esta variación también es interanual, por lo que la producción energética será irregular. Esta condición es muy importante en el aprovechamiento eléctrico de la energía hidráulica. Por lo tanto, su distribución espacial estará determinada por las condiciones fisiográficas de la cuenca, y su aportación condicionada tanto por la cantidad del recurso (caudal y salto), como por la distancia a la que se encuentre del punto de demanda.

El aprovechamiento hidroeléctrico tiene la gran ventaja de facilitar la acumulación de la energía por medio del embalsamiento del agua. Sin embargo, su mayor inconveniente es la posibilidad de fuertes variaciones interanuales en el recurso.

Figura 6. **Esquema de central hidroeléctrica**



Fuente: www.goodenergy.cl. Consulta: marzo de 2014.

La energía contenida en el agua puede ser aprovechada directamente de dos formas: como energía mecánica y en la producción de energía eléctrica o hidroelectricidad. El rendimiento de esta fuente de energía renovable es muy alto, entre el 80 y el 90 por ciento, teniendo además, otras ventajas como la ausencia de residuos o su capacidad de almacenamiento. Dentro de la energía mini hidráulica se incluyen las pequeñas instalaciones: minicentrales hidroeléctricas (hasta 5 000 kilo watts). Los principales tipos de centrales minihidráulicas son: las centrales de agua fluyente y las centrales con regulación.

Las centrales de saltos fluyentes se caracterizan por ser más adecuadas para pequeños ríos con un caudal medio de $6,35 \text{ m}^3/\text{seg}$. Este tipo de centrales se adapta a las características del caudal fluvial y no a las características de la demanda. Habitualmente una minicentral está compuesta por un sistema de

almacenamiento o embalse, un sistema de conducción del agua (canales y tubos) y un sistema captador (ruedas hidráulicas o turbinas).

Las centrales hidroeléctricas reversibles o de bombeo, constan de dos embalses a diferente nivel. El turbinado del agua del embalse superior al inferior en horas punta o llanas y el bombeo del inferior al superior en horas valle, permiten una mayor adaptación de la potencia instalada a nivel nacional a la curva de carga diaria.

3.3.2. Biomasa

La energía de la biomasa procede de la radiación solar, que es transformada en energía química de enlace, gracias al proceso de fotosíntesis desarrollado por las plantas verdes. Esta energía química es acumulada en diferentes compuestos orgánicos. Su capacidad natural de almacenamiento constituye una diferencia característica respecto a otras energías renovables.

Debido a que procede de la radiación solar puede considerarse un recurso renovable, pero hay que puntualizar que, a diferencia de las otras fuentes de energía renovable, la biomasa lo será sólo si el uso de la misma es más lento o igual que la velocidad a la cual se regenera.

La biomasa presenta una distribución espacial dispersa, pero en menor medida que el aprovechamiento directo de la radiación solar. Su concentración energética se produce por acumulación a través del tiempo, ya que su rendimiento energético respecto a la radiación solar incidente es muy pequeño, entre el 0,5 y el 4,0 por ciento. Aunque tiene la gran ventaja del almacenamiento natural de energía, la certidumbre del recurso, relacionada con el ciclo del agua, puede presentar variaciones anuales importantes.

El aprovechamiento energético de la biomasa se puede realizar mediante una transformación industrial o directamente como combustible, tal es el caso del aprovechamiento de los residuos y de los cultivos energéticos. El aprovechamiento de la biomasa contenida en los residuos para su transformación en energía útil presenta varias ventajas como son la existencia de la materia prima, la concentración, las ventajas ambientales de su eliminación y la generación de subproductos con un alto valor añadido.

En función del origen se puede distinguir entre residuos agrarios (procedentes de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales), industriales (procedentes básicamente de la industria agraria de transformación) y urbanos (pueden ser residuos sólidos urbanos o parte orgánica de las basuras y aguas residuales o lodos de depuración). Los residuos sólidos urbanos son la fuente de biomasa residual con mayores posibilidades de aprovechamiento ya que cuentan con un servicio de recogida organizado. Además, su recogida y eliminación es imprescindible, su crecimiento es continuo y permite la recuperación de subproductos de alto valor como metales, plásticos o vidrio.

Los cultivos energéticos se basan en el tratamiento y mejora de especies de alto rendimiento desde el punto de vista energético. Se trata pues de cultivar variedades agrícolas cuyo fin no es la alimentación, sino la generación de un combustible que posteriormente será transformado en energía. Entre los cultivos tradicionales con un aprovechamiento energético se incluyen cereales, caña de azúcar, sorgo dulce, maíz de tallo azucarado, remolacha, mandioca, girasol, plantaciones forestales.

La combustión es el aprovechamiento energético más tradicional de la biomasa. Los sistemas de combustión cuentan habitualmente con una caldera, un equipo de recuperación de calor y un sistema para la utilización de la

energía recuperada. La energía así obtenida se puede utilizar tanto en forma de calor (aplicaciones domésticas e industriales) como para la producción de electricidad. La eficacia de este procedimiento está en un entorno al 30 por ciento, pudiendo superar este límite aplicando ciclos combinados.

Según el comburente utilizado en el proceso de gasificación de la biomasa se distingue entre gas de gasógeno, cuando la transformación de la biomasa en gas utiliza como comburente el aire, y gas de síntesis cuando el comburente es oxígeno. El primero, debido a sus características de baja densidad energética y bajo poder calorífico, se utiliza directamente en unidades de combustión para la obtención de electricidad y vapor. El gas de síntesis tiene un mejor comportamiento calorífico y además tiene la enorme ventaja de que puede ser transformado en combustibles líquidos (metanol y gasolinas).

Otro posible aprovechamiento de la biomasa es su transformación en etanol a través de la fermentación alcohólica de la glucosa. El etanol así obtenido ha de sufrir diferentes procesos de separación y purificación que nos llevarán a su utilización última como combustible.

Las diferentes formas de transformación de la biomasa implican diferentes posibilidades de aplicación, las cuales se pueden sintetizar en las siguientes: obtención de combustibles sólidos, obtención de biocombustibles líquidos, producción de electricidad, obtención de carbón vegetal, obtención de compost y gestión de residuos sólidos y líquidos.

3.3.3. Biogás

El biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire). La

generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable.

La utilización de energía proveniente de los rellenos sanitarios no es una novedad. Ésta se obtiene del biogás, gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia (sin presencia de oxígeno) de la fracción orgánica de los residuos. La posibilidad de que con biogás se disponga de más recursos energéticos en la producción de electricidad y que al mismo tiempo se puedan resolver los problemas de eliminación de basura, han llevado a que esta técnica ocupe un lugar de importancia.

El proceso de extracción del biogás se realiza en el relleno sanitario mediante una leve succión; luego es enviado a una planta ubicada al interior del relleno, en la que se lo purifica, comprime y envía a una planta principal para el proceso de fabricación de gas comercial.

Para diseñar, construir y operar plantas de biogás (llamadas biodigestores) es necesario conocer los procesos fundamentales involucrados en la fermentación del metano. La fermentación anaeróbica involucra la actividad de tres diferentes comunidades bacterianas. El proceso de producción de biogás depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana, como por ejemplo la temperatura.

Normalmente, el biogás producido por un biodigestor puede utilizarse directamente como cualquier otro gas combustible. Sin embargo, es posible que su utilización requiera a veces procesos que, por ejemplo, reduzcan el

contenido de sulfuro de hidrógeno. Cuando el biogás se mezcla con aire en una proporción 1 a 20, se forma una mezcla altamente explosiva. Por lo tanto, las pérdidas de las cañerías en espacios cerrados constituyen un peligro potencial.

Los sistemas de biogás pueden proveer beneficios a sus usuarios, a la sociedad y al medio ambiente en general:

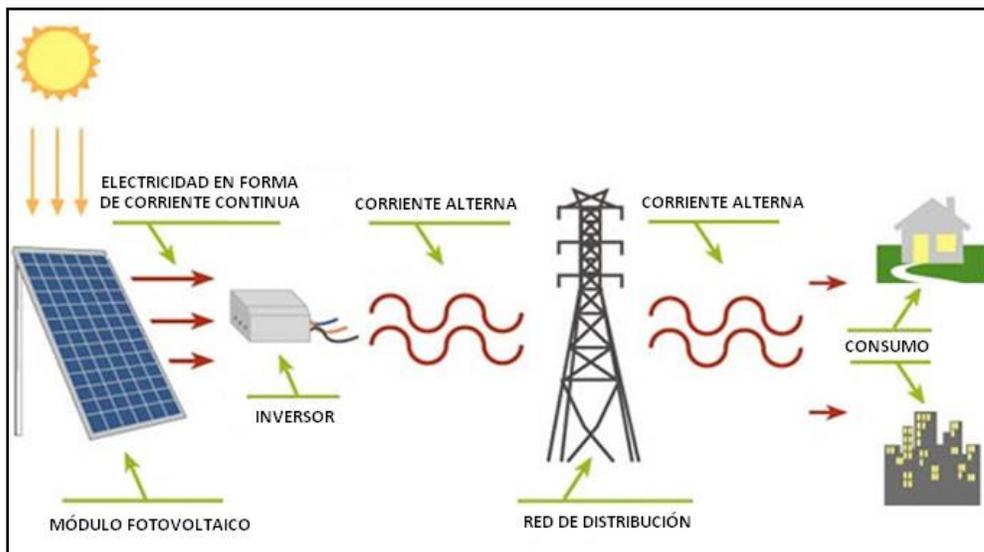
- Producción de energía (calor, luz, electricidad).
- Transformación de desechos orgánicos en fertilizante de alta calidad.
- Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de organismos, huevos de gusanos y moscas.
- Reducción en la cantidad de trabajo relacionado con la recolección de leña para cocinar (principalmente llevado a cabo por mujeres).
- Ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, del aire y la vegetación leñosa, reducción de la deforestación.
- Beneficios microeconómicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento en los ingresos y del aumento en la producción agrícola-ganadera.
- Beneficios macroeconómicos a través de la generación descentralizada de energía, reducción en los costos de importación y protección ambiental.

Por lo tanto, la tecnología del biogás puede contribuir sustancialmente a la conservación y el desarrollo. Sin embargo, el monto de dinero requerido para la instalación de las plantas puede ser en muchos casos prohibitivo para la población rural. Por ello, se deben concentrar los esfuerzos en desarrollar sistemas más baratos y en proveer a los interesados de créditos u otras formas de financiación.

3.3.4. Solar

La radiación solar recibida por la superficie terrestre puede ser aprovechada en forma de energía solar, presentando la distribución espacial más perfecta con pequeñas variaciones por la pendiente del terreno, que influirá en el ángulo de incidencia de los rayos solares, y por el sombreado, que influirá en las horas de exposición. Tiene una estabilidad adecuada en cuanto a los valores diarios medios mensuales, ya que, para un día determinado, solo está afectada por la transparencia de la atmósfera (ver figura 7).

Figura 7. Esquema de generación de energía solar



Fuente: www.teresa.cat. Consulta: marzo de 2014.

Dos tipos de factores determinan su distribución sobre la superficie terrestre: en primer lugar, las condiciones de localización geográfica y temporal, latitud, orientación y hora; segundo, las condiciones meteorológicas y climatológicas que determinan la radiación diaria recibida y su variabilidad

estacional. La influencia de los factores geográficos en la radiación es fácilmente calculable. No así, la variabilidad derivada de las condiciones climatológicas que se ha de basar necesariamente en modelos y aproximaciones derivadas de la observación.

La evaluación de recursos solares se realiza tanto con medidas en tierra (heliógrafos, pirómetros, estimación de la nubosidad) como con modernas técnicas de detección remota. El objetivo es estimar la energía recibida por el colector solar, para ello se necesita conocer el perfil diario y estacional de la radiación, para así estimar la productividad potencial anual. Esta productividad dependerá tanto de las características climatológicas anuales (lo mismo ocurre con la energía eólica), como de la localización y orientación de los colectores.

El tipo de radiación (directa o difusa) y las características de su distribución son factores determinantes para la conversión de la energía solar en energía útil. La energía solar tiene diferentes niveles de aprovechamiento que están determinados por sus características de dispersión e intermitencia.

Es una energía dispersa debido a su baja intensidad energética (normalmente menos de 1 kW/m^2) lo que obliga a la utilización de grandes superficies para su aprovechamiento o bien al uso de sistemas que concentren la radiación y aumenten su densidad. Además, la intermitencia diaria y estacional de esta fuente obliga a utilizar sistemas de almacenamiento que permitan su utilización cuando no hay radiación.

Tradicionalmente, el aprovechamiento de la energía solar se ha caracterizado por la aplicación de elementos arquitectónicos para el aprovechamiento energético. En la actualidad, se están produciendo notables avances en el aprovechamiento tecnológico de la energía solar, tanto en forma

de calor (conversión térmica) como de electricidad (conversión fotovoltaica), desarrollando sistemas de captación o colectores.

La transformación de la radiación solar en electricidad se realiza en la célula solar fotovoltaica, que habitualmente es un disco de silicio mono cristalino. Estas células se colocan en grupos, interconectadas y montadas entre dos láminas de vidrio en lo que se conoce como módulo fotovoltaico.

El aprovechamiento del calor producido por la energía irradiada por el Sol o conversión térmica se divide en aplicaciones de baja (hasta 90 °C), media (entre 90 y 300 °C) y alta temperatura (a partir de 300 °C).

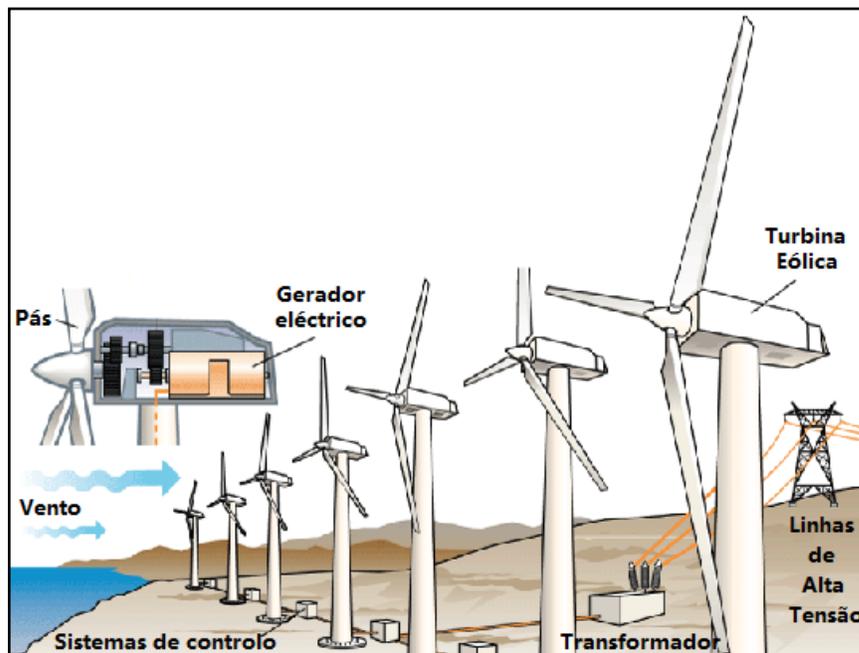
3.3.5. Eólica

El viento es el resultado del desplazamiento de las masas de aire motivado por la existencia de un gradiente térmico y de presión. Además de la fuerza derivada de este gradiente, existen otras fuerzas que influyen en la circulación de las masas de aire, estas son la fuerza de fricción o rozamiento, relacionada con el rozamiento que sufren con la superficie terrestre las capas bajas de la atmósfera, y la fuerza de coriolis, vinculada al movimiento de rotación de la tierra (ver figura 8).

La circulación de las masas de aire presenta un esquema a nivel planetario que se conoce como circulación general de la atmósfera y que es la responsable de una gran parte de las características climáticas del planeta, así como del régimen general de vientos. Sin embargo, el aprovechamiento energético del viento está determinado en muchos casos, por las características locales o circulación a pequeña escala definida por la situación geográfica,

latitudinal y altura, las características climáticas locales y la topografía y los accidentes del terreno.

Figura 8. **Esquema de generación de energía eólica**



Fuente: rd9centralelectrica.webnode.pt. Consulta: marzo de 2014.

La distribución espacial de la energía eólica está rígidamente condicionada por la topografía de la zona, por lo que su empleo está restringido a determinadas localizaciones. Puede presentarse con una alta densidad energética, mayor que la procedente de un aprovechamiento directo de la radiación solar, o la biomasa; ya que es debida a la transformación de la energía solar en energía térmica en amplias zonas de la atmósfera. Si bien, debido a esto, presenta una mayor incertidumbre a escala diaria que el aprovechamiento directo de la radiación solar, debiendo considerar valores

medios anuales de la velocidad del viento para caracterizar un lugar determinado.

Tiene el inconveniente de que para su almacenamiento es necesaria una transformación energética. Los recursos o potencial eólico son decisivos a la hora de evaluar el emplazamiento de un aerogenerador, sea este aislado o formando un parque eólico. La caracterización de los recursos eólicos de una zona se realiza mediante la realización de mapas eólicos, distribuciones de la velocidad del viento y perfiles de velocidades.

Los criterios de selección del emplazamiento varían en función de la potencia demandada. Así, cuando se busca la instalación de un parque eólico, el criterio fundamental es la relación entre el coste del parque y la producción esperada. Sin embargo, cuando la instalación es de baja potencia el criterio es la proximidad al usuario.

En general, los criterios básicos a tener en cuenta en la selección de un emplazamiento son: la velocidad media del viento (se considera como velocidad mínima entre 3,5 y 4,0 m/s); la turbulencia y vientos extremos acordes con el diseño de la máquina a emplazar; y, en el caso de sistemas aislados, la baja variabilidad diaria y estacional y el buen acoplamiento a la demanda.

Los emplazamientos geográficos con mayor potencial eólico son: los pasos entre montañas con un fuerte gradiente de presión, los valles largos, las zonas llanas elevadas (mesetas), las zonas llanas con un fuerte gradiente de presión, las elevaciones bien expuestas con vientos de altura y las zonas de costa bien expuestas tanto a vientos de altura como a gradientes térmicos y de presión.

Es importante tener en cuenta, a la hora de seleccionar un emplazamiento, no sólo las características técnicas de los aerogeneradores y el potencial eólico del lugar, sino también los aspectos económicos, ambientales, institucionales y la aceptación por parte de las comunidades vecinas; así como, en el caso de parques eólicos, la cercanía y características de la red eléctrica.

El aprovechamiento de la energía eólica se realiza a través de las máquinas eólicas que son los dispositivos capaces de aprovechar la energía cinética del viento y de transformarla en energía mecánica (aeromotor) o eléctrica (aerogenerador).

Los principales elementos de las máquinas eólicas o aerogeneradores son el sistema de captación o rotor, que puede ser de eje vertical u horizontal. Además, el aerogenerador cuenta con un sistema de orientación, mediante aletas estabilizadoras o servomecanismos, un sistema de regulación que actúa variando la incidencia del rotor y de las palas, un sistema de transmisión de la energía mecánica obtenida por el rotor y un sistema de generación que puede ser una dinamo o un alternador asíncrono o síncrono.

Los parámetros que caracterizan un aerogenerador son la velocidad de arranque, la velocidad de conexión, la potencia nominal, la velocidad de frenado y el área de captación.

3.3.6. Cogeneración

La cogeneración consiste en la generación simultánea en un proceso de energía térmica útil (calor útil) y eléctrica y/o mecánica. Se trata de una tecnología eficiente, entre cuyos beneficios destacan, el ahorro de energía primaria y por lo tanto la reducción de emisiones, y el ahorro de inversión en

infraestructuras de transporte y distribución, al estar, estas instalaciones, asociadas a los puntos de consumo eléctrico y de calor.

Siempre que se diseña la cogeneración de una forma adecuada, se obtiene, entre otros los siguientes beneficios:

- Aumento de la eficiencia de conversión de energía y de utilización.
- Menores emisiones al medio ambiente, en particular de CO₂, el principal gas del efecto invernadero.
- En algunos casos, donde hay disponibles combustibles como la biomasa y algunos materiales de desecho, tales como: gases de refinería, proceso o residuos agrícolas (ya sea anaeróbicamente digeridos o gasificada), estas sustancias se pueden utilizar como combustibles para los sistemas de cogeneración, aumentando así la rentabilidad y reduciendo la necesidad de la eliminación de los residuos.
- Gran ahorro de costos energéticos en la producción de la energía lo que hace más competitivas a las industrias.
- Es una forma de avanzar hacia un sistema de producción de energía eléctrica más descentralizado en el que las plantas están diseñadas para satisfacer las necesidades con un elevado grado de eficiencia energética.
- Se elimina el riesgo de quedarse sin suministro eléctrico por causa de terceros. Si además, se está usando energía biodegradable, la cogeneración reduce la importación de combustibles fósiles.
- La cogeneración proporciona aumento de empleo. Una serie de estudios han llegado a la conclusión de que el desarrollo de sistemas de cogeneración es un considerable generador de puestos de trabajo.

Además del ahorro de costos directos, los rendimientos energéticos de la cogeneración hacen un uso más eficiente de los combustibles sólidos, lo que

garantiza una menor emisión de dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

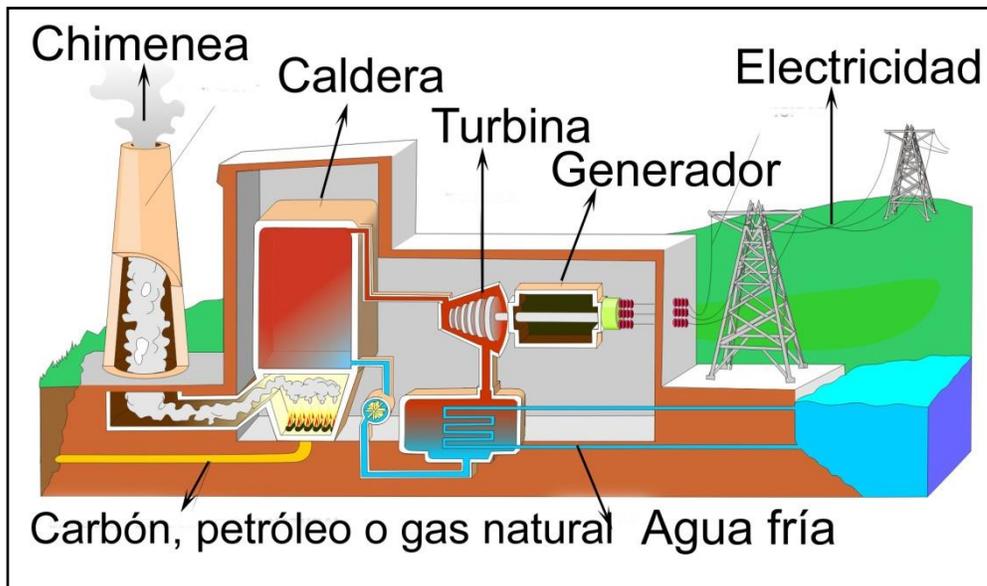
3.3.7. Térmica

Una central termoeléctrica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de calor. El cual puede obtenerse tanto de combustibles fósiles (petróleo, gas natural o carbón), como de la fisión nuclear del uranio u otro combustible nuclear. Las centrales que en el futuro utilicen la fusión, también serán centrales termoeléctricas.

En su forma más clásica, las centrales termoeléctricas consisten en una caldera en la que se quema el combustible para generar calor que se transfiere a unos tubos por donde circula agua, la cual se evapora. El vapor obtenido, a alta presión y temperatura, se expande a continuación en una turbina de vapor, cuyo movimiento impulsa un alternador que genera la electricidad. Luego el vapor es enfriado en un condensador donde circula por tubos agua fría de un caudal abierto de un río o por torre de refrigeración.

En las centrales termoeléctricas denominadas de ciclo combinado se usan los gases de la combustión del gas natural para mover una turbina de gas. En una cámara de combustión se quema el gas natural y se inyecta aire para acelerar la velocidad de los gases y mover la turbina de gas. Tras pasar por la turbina, esos gases todavía se encuentran a alta temperatura (500 °C), se reutilizan para generar vapor que mueve una turbina de vapor. Cada una de estas turbinas impulsa un alternador, como en una central termoeléctrica común. El vapor luego es enfriado por medio de un caudal de agua abierto o torre de refrigeración como en una central térmica común.

Figura 9. Esquema generación de energía térmica



Fuente: www.educarex.es. Consulta: marzo de 2014.

Este tipo de plantas está en capacidad de producir energía más allá de la limitación de uno de los dos insumos y pueden dar un paso a la utilización de fuentes de energía por insumos diferentes.

Las centrales térmicas que usan combustibles fósiles liberan a la atmósfera CO_2 , este considerado el principal gas responsable del calentamiento global. También, dependiendo del combustible utilizado, pueden emitir otros contaminantes como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas sólidas (polvo) y cantidades variables de residuos sólidos. Las centrales nucleares pueden contaminar en situaciones accidentales y también generan residuos radiactivos de diversa índole.

3.3.8. Geotérmica

La energía geotérmica procede del interior de la tierra en forma de calor. Este calor se produce por la desintegración de los isótopos radioactivos contenidos en las rocas. La transferencia de este calor a la superficie se realiza de una forma extremadamente lenta, debido a la baja conductividad térmica de los materiales implicados. Existe por tanto, un gradiente geotérmico que es del orden de 1 grado centígrado por cada 33 metros de profundidad.

El flujo geotérmico normal, o flujo de calor derivado del gradiente geotérmico, evaluado en unos 60 mega watts por metro cuadrado, manifiesta la baja densidad de esta forma de energía. Ello implica, que la explotación de esta fuente de energía se ha de realizar en lugares donde este flujo es muy superior al normal, dándose gradientes que pueden llegar a ser diez veces este. En estos lugares se localizan los yacimientos geotérmicos que se clasifican en función de su temperatura en yacimientos de baja entalpía (<150 °C) y yacimientos de alta entalpía (>150 °C).

Además de la condición de un alto gradiente, los yacimientos geotérmicos tienen que reunir otras tales como la posibilidad de ser recorrido por una corriente de agua, ya que debido a la baja conductividad de las rocas, debe de existir un fluido capaz de transferir el calor almacenado a la superficie para su explotación. Estos yacimientos suelen estar asociados a cierto tipo de manifestaciones superficiales como pueden ser la existencia de un vulcanismo reciente, zonas de alteración hidrotermal, emanaciones gaseosas, fuentes termales y minerales o anomalías térmicas. Esto implica que la distribución geográfica de las zonas geotérmicas es muy similar a la de las áreas más activas tectónicamente.

El aprovechamiento de la energía geotérmica suele estar tanto en las aplicaciones directas de calor (caldeamiento geotérmico) como en la producción de electricidad (centrales geotérmicas).

Actualmente, la explotación más habitual de los yacimientos se realiza mediante los llamados sistemas hidrotérmicos, formados por una fuente de calor a escasa profundidad (menos de 10 km) sobre la que existe algún tipo de estrato poroso con contenido de agua (acuífero) circulando junto a la roca a alta temperatura. Esta bolsa de agua se encuentra impermeabilizada en su parte superior lo que permite la generación de unas zonas de convección con un importante intercambio de calor en altura. Existen dos grandes tipos de sistemas hidrotérmicos: los que tienen un predominio de vapor y los que predominan el agua.

3.3.9. Hidrógeno

Actualmente, hay varios caminos para obtener el hidrógeno, algunos de ellos se encuentran en etapa de desarrollo y otros en etapa de experimentación:

- Reformado a vapor a partir del gas natural
- Oxidación parcial catalítica de hidrocarburos
- Electrólisis del agua
- Gasificación de los fondos de barril, choque, carbón y biomasa
- Fotoproducción de hidrógeno

El conjunto de tecnologías especialmente desarrolladas en el siglo XX, ha elevado el nivel de consumo de energía per cápita en la mayoría de los países. Ese parámetro se toma como sinónimo de bienestar.

Así, aparece el hidrógeno, elemento en estado gaseoso en condiciones ambientales normales, pero que es factible de almacenamiento, transporte y distribución, lo que permite su aplicación a cualquier segmento de la demanda. El hidrógeno es el elemento más ligero, más básico y más ubicuo del universo. Cuando se utiliza como fuente de energía, se convierte en el combustible eterno. Nunca se termina y, como no contiene un solo átomo de carbono, no emite dióxido de carbono.

El hidrógeno se encuentra repartido por todo el planeta: en el agua, en los combustibles fósiles y en los seres vivos. El hidrógeno no es fuente primaria de energía, no es un combustible que podamos extraer directamente de la tierra como el gas natural. La fuente más común de hidrógeno es el agua.

Las ventajas de utilizar el hidrógeno como energía son:

- No produce contaminación ni consume recursos naturales.
- Los sistemas de hidrógeno tienen una historia de seguridad muy impresionante.
- Alta eficiencia: las celdas de combustible convierten la energía química directamente a electricidad con mayor eficiencia que ningún otro sistema de energía.
- Funcionamiento silencioso: en funcionamiento normal, la celda de combustible es casi absolutamente silenciosa.
- Larga vida y poco mantenimiento: aunque las celdas de combustible todavía no han comprobado la extensión de su vida útil, probablemente tendrán una vida significativamente más larga que las máquinas que replacen.
- Se puede elaborar las celdas de combustible en cualquier tamaño

Las desventajas: no es un combustible primario lo que genera un gasto para su obtención; requiere sistemas de almacenamiento costoso y aun poco desarrollados; elevados costos de energía en la licuefacción del hidrogeno; elevado precio del hidrogeno puro.

3.3.10. Mareomotriz

El aprovechamiento de la energía del mar se realiza fundamentalmente de tres formas: la energía de las mareas o mareomotriz, la maremotérmica y de las olas.

La energía mareomotriz (mareas) tiene un funcionamiento similar al de las mini hidroeléctricas, basándose en el almacenamiento del agua en un depósito artificial durante la pleamar, para su posterior turbinado en la bajamar. El rendimiento probable de estas centrales estará en torno al 25 por ciento. Una central mareomotriz puede funcionar en un ciclo elemental de efecto simple o de efecto doble, según las turbinas trabajen en uno o dos sentidos.

La energía maremotérmica se basa en el aprovechamiento del gradiente térmico de las aguas del mar. El aprovechamiento de este gradiente en una central maremotérmica para la producción de electricidad se realiza con un ciclo termodinámico de *rankine*, que puede ser de ciclo abierto o de ciclo cerrado, en el primer caso se utiliza como fluido de operación el agua cálida de la superficie del mar, mientras que en el segundo se utiliza otro fluido distinto.

La energía de las olas se basa en el aprovechamiento de la energía eólica almacenada en las mismas. Para el aprovechamiento de esta energía primaria se utilizan convertidores que son capaces de capturar la energía mecánica

aleatoria contenida en las olas y convertirla en energía secundaria, generalmente eléctrica.

El futuro de la energía mareomotriz es bueno, particularmente en los países que se encuentran dentro de las latitudes correctas. Los estudios han demostrado que este tipo de energía finalmente podrá contribuir, de manera notable, al suministro de energía de muchos países. Se espera que los generadores de olas a pequeña escala, con capacidades de 100 watts a un kilowatt se produzcan cada vez más durante los próximos años. Asimismo, otra forma de uso de la región playa y mar es el uso de los convertidores de energía de olas con base en la playa pueden usarse de manera práctica en el futuro cercano.

3.4. Aspectos del mercado eléctrico en Guatemala

El mercado eléctrico en Guatemala se define por el crecimiento de manera acelerada durante las últimas décadas del consumo de energía eléctrica de los usuarios finales, esto por el aumento de la demanda de los niveles de vida con el uso de aparatos electrodomésticos, dispositivos electrónicos, servicios comerciales, incluyendo hospitales, escuelas, oficinas y centros comerciales.

Guatemala, pese a ser uno de los países con una de las tarifas más bajas de Centroamérica, debe incursionar con otros países de la región para subsanar cómo producir energía más limpia y de bajo costo. Para ello contrarresta los ciclos de generación de energía por medio de la generación de energía hidroeléctrica y térmica para compensar tanto precios como la generación de energía.

3.4.1. Estadísticas y tendencias del sector eléctrico de Guatemala

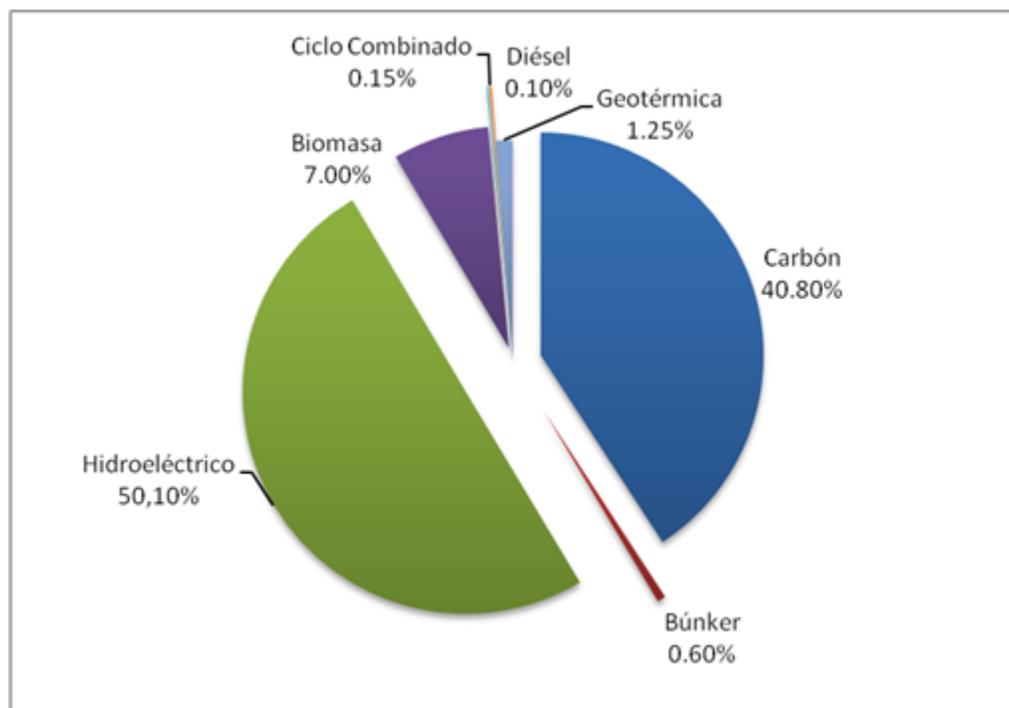
El sector eléctrico de Guatemala está ampliamente diversificado y con un número significativo de agentes participantes en las diferentes actividades de la industria (generación, transmisión, distribución, comercialización y grandes consumidores) agrupados alrededor de la existencia de un mercado eléctrico. Este mercado se origina de las reformas estructurales establecidas en el país, a mediados de la década de los años noventa, como resultado de procesos de apertura y respuesta ante la solicitud de oferta de energía en el país.

Como resultado de estas reformas debe destacarse el importante avance que ha logrado el país. A partir de 1990 logró remontarse de un 35,8 por ciento, hasta un 83,7 por ciento en 2007. Este esfuerzo requirió de una ampliación de más de 1 300 mega watts de potencia en ese mismo período. Merece mención indicar que el esfuerzo en términos de mejoría de la cobertura eléctrica no significó una disminución en la participación de las energías renovables: las energías renovables aportaban en 1995 un 58 por ciento, y en 2008 un 59,9 por ciento de la energía.

Para el 2008, en la actividad de generación el sector eléctrico presentó una capacidad instalada de 2 227 mega watts, con 37 centrales, 10 públicas y 27 privadas, sirviendo esa potencia una demanda máxima de 1 430 mega watts. De la capacidad instalada total, el 34 por ciento es hidroeléctrico; el 49 por ciento es térmico y 2 por ciento es geotérmico. El 16 por ciento corresponde a cogeneración, lo que indica una buena participación adicional del sector privado en este tipo de producción de electricidad, la cual, de por sí, es significativa.

Se proyecta que para mayo del 2015, se concluirá la construcción y el ingreso al mercado de la planta de generación con carbón Jaguar Energy Guatemala, se estima que la generación con carbón aumentará de 14,22 al 40,8 por ciento en 2017; debido a esto la generación con bunker se reducirá al 0,6 por ciento. El despacho de energía con bunker será aproximadamente de 56,7 giga watts hora en 2017, La generación de energía renovable sobrepasará el 50,10 por ciento. (Ver figura 10).

Figura 10. **Proyección de la producción de energía eléctrica en el SIN por tipo de combustible, año 2017**



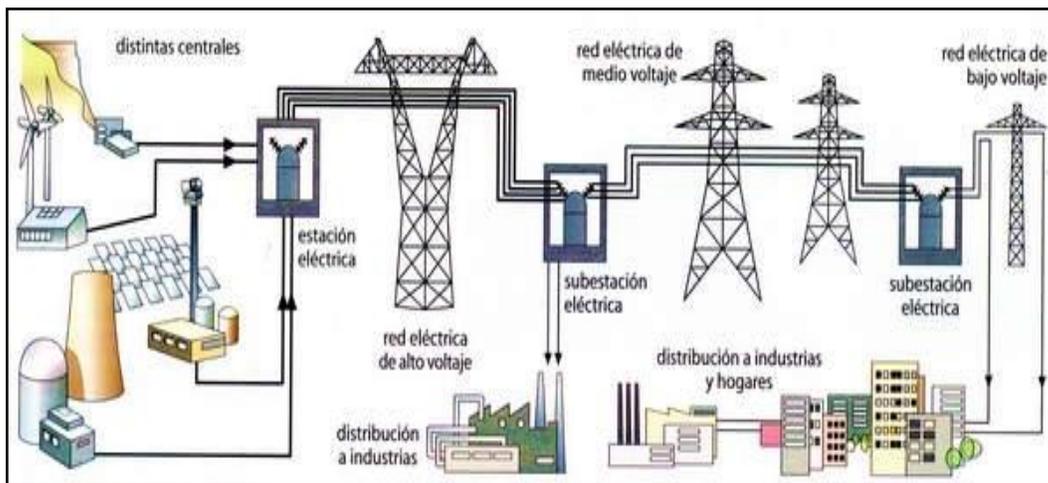
Fuente: informe estadístico 2013-2017, CNEE.

En el sector de generación hay actores que concentran una proporción importante de la actividad, dentro de los cuales destacan la estatal Empresa de

Generación Eléctrica del INDE (EGEE), con un 33 por ciento de la generación neta, y Duke Energy con un 12 por ciento, y el conjunto de los ingenios azucareros, que participan como un bloque en el mercado, con un 11 por ciento. Estos tres grupos concentran un 56 por ciento de la generación.

El sistema de transmisión está integrado por la infraestructura de transporte – líneas, subestaciones, operando básicamente en tres niveles de voltaje: 230/138/69 kV. Está conformado por el sistema principal y el sistema secundario.

Figura 11. **Esquema de transporte y generación de energía eléctrica**



Fuente: www.laenergiaelectrica-daisaku.com. Consulta: abril de 2014.

El sistema principal es compartido por los generadores y las interconexiones a otros países. El sistema secundario es el medio de interconexión de un generador a la red principal. Los transmisores deben tener una capacidad de transporte mínima de diez megavatios (10 MW) En la transmisión de electricidad participan: la empresa estatal Empresa de

Transporte y Control de Energía Eléctrica ETCEE, que pertenece al Instituto Nacional de Electricidad (INDE), y la Transportista Eléctrica Centroamericana, S.A. (TRELEC), que pertenece al Grupo Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA). En conjunto operan una red de 3 650 kilómetros, de las cuales un 83 por ciento pertenecen a ETCEE y un 17 por ciento al TRELEC.

El sistema de distribución está integrado por la infraestructura de distribución: líneas, subestaciones y las redes de distribución que operan en tensiones de 34 kilo voltios. Las distribuidoras tienen que tener un mínimo de 15 000 usuarios. En la distribución participan tres empresas privadas: Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A. (DEOCSA), Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A. (DEORSA) y adicionalmente 14 sistemas municipales.

Para atender la demanda futura la CNEE, elaboró el Plan de Expansión de la Generación (PEG) indicativo para el período 2 008-2 022, el cual se resume en la tabla IV.

Se proyecta que se tenga aumento en energía térmica y renovable para cubrir la demanda del sistema de energía eléctrica, iniciando así una serie de proyectos hidroeléctricos y renovables. Como elemento ilustrativo se destaca que en menos de diez años el sistema eléctrico de Guatemala tendrá que duplicar la potencia instalada, lo cual implica un esfuerzo considerable de tipo financiero y de gestión. Para cumplir con este objetivo la capacidad instalada debe crecer a un ritmo acelerado mayor del 6 por ciento por año. En esta evaluación no se tienen considerados los proyectos menores a 10 mega watts hora.

Tabla IV. **Proyección de empresas eléctricas generadoras**

| | Total de centrales | Potencia instalada (MW) | Generación neta (GWh) |
|--------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| Total de sistema | 37 | 2 227 | 7 917 |
| Mercado mayorista | | | |
| Empresa pública | | | |
| Hidráulica | 9 | 496 | 2 630 |
| Térmica | 1 | 24 | 1,5 |
| Empresa privada | | | |
| Hidráulica | 6 | 255 | 951 |
| Geotérmica | 2 | 44 | 289 |
| Térmica | 18 | 1 389 | 4 045 |
| Mercado minorista | | | |
| Empresa privada | | | |
| Hidráulica | 1 | 0,7 | |

Fuente: elaboración propia, con datos de Cepal, informe ARECA, proyección periodo 2008-2022.

3.4.2. Marco normativo, regulatorio e institucional del sector eléctrico

El marco legal con el cual se rige el sector eléctrico de Guatemala se basa en la Ley General de Electricidad, es la ley fundamental en materia de electricidad y se sustenta en resumen a través de los principios siguientes:

- Se ordena la separación de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad (Título I, artículo 7).
- Es libre la instalación de centrales generadoras, las cuales no requieren de autorización de ningún ente gubernamental, sin más limitaciones que

las que se den de la conservación del medio ambiente. No obstante, para utilizar con estos fines bienes del Estado se requerirá de la respectiva autorización del MEM cuando la potencia de la central exceda de 5 mega watts. El plazo máximo de dicha autorización no podrá exceder de 50 años. (Título II, artículos del 8 al 12).

- Es libre el transporte de electricidad, cuando para ello no sea necesario utilizar bienes de dominio público. El transporte de electricidad que implique la utilización de bienes de dominio público y el servicio de distribución final de electricidad, estarán sujetos a autorización. (Título II, artículos del 13 al 22).
- Son libres los precios por la prestación del servicio de electricidad, con la excepción de los servicios de transporte y distribución, los cuales estarán sujetos a autorización. (Título IV, artículos del 59 al 63).
- Designa al MEM como ente rector del subsector eléctrico, y a la CNEE como ente regulador. (Título IV, artículos del 59 al 63).
- Define la figura del AMM, a quien le corresponde, además, la función de despacho. (Título IV, artículos del 59 al 63).
- Los generadores privados están facultados para participar en la exportación de energía. (Título IV, artículos del 59 al 63).

En el reglamento de esta ley se introduce la modalidad de generación distribuida, que permite que centrales de generación con recursos renovables cuya potencia no exceda de 5 MW se conecte a instalaciones de distribución. Por ejemplo se obliga a los distribuidores a conectar a sus instalaciones los proyectos de fuentes renovables, plantas menores de 5MW. Los Generadores Distribuidos Renovables (GDR) podrán vender su generación a un distribuidor o comercializador. Los costos de interconexión del proyecto renovable corren a cuenta del GDR, esto se regula a través de la norma técnica CNEE 171-2008. El artículo No.5 de la ley de incentivos, que indica:

- Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado (IVA), durante el período de preinversión y el período de construcción.
- Exención al Impuesto Sobre la Renta (ISR).
- Exención del Impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias IEMA.

En todos los casos el período máximo de exoneración será de 10 años. El MEM, es el órgano rector del Estado responsable de coordinar y formular las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al sector eléctrico y aplicar esta ley y su reglamento para dar cumplimiento a sus obligaciones. También le corresponde atender lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía y los hidrocarburos y a la explotación de los recursos mineros. Sus principales funciones son:

- Ejercer la rectoría del sub sector eléctrico.
- Aplicar la ley y su reglamento para dar cumplimiento a sus obligaciones.
- Formular las políticas, estrategias, programas y proyectos eléctricos tendientes a coadyuvar a la sostenibilidad económica, social y ambiental del país.
- Formular y coordinar las políticas, planes del Estado, programas indicativos relativos al subsector eléctrico.
- Otorgar las autorizaciones para el uso de bienes de dominio público para la instalación de centrales generadoras y la prestación de servicios de transporte y distribución final de electricidad y la construcción de servidumbres.
- Elaborar los informes de evaluación socioeconómica para otorgar recursos para costear total o parcialmente la inversión de proyectos de electrificación rural, de beneficio social o de utilidad pública.

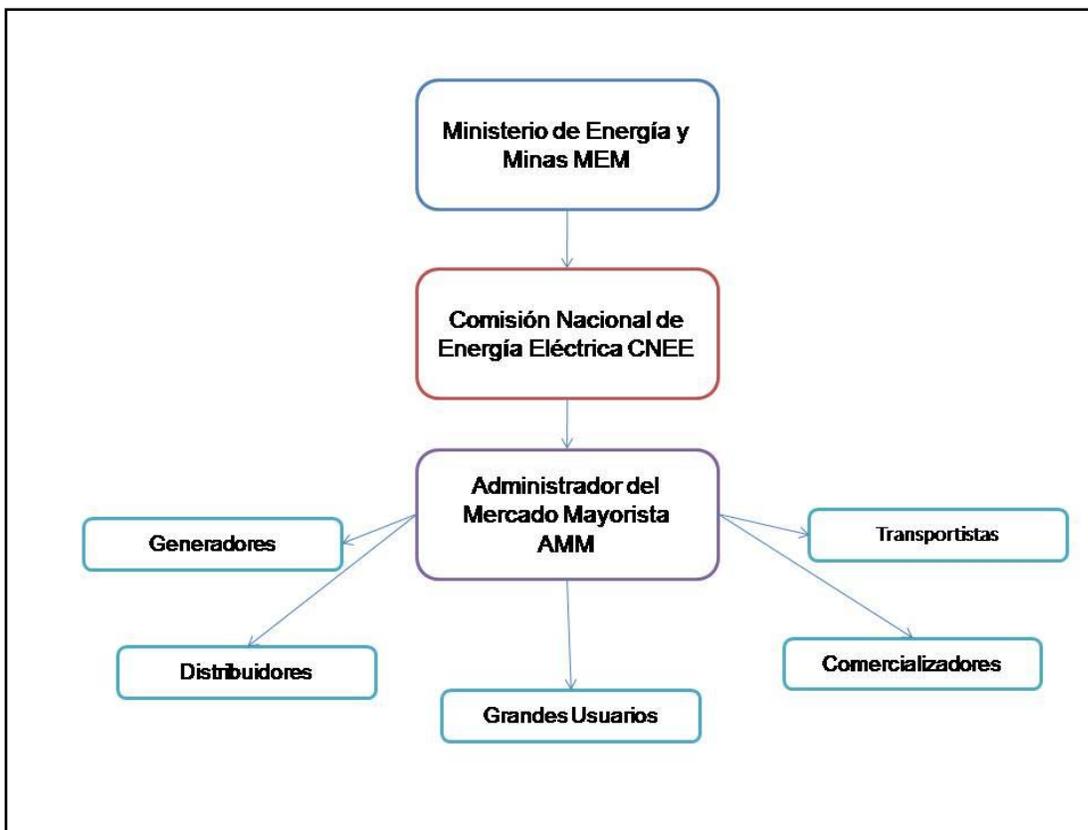
- Facilitar la realización de las diversas actividades, especialmente las inversiones públicas y privadas dentro del ámbito de la gestión social y ambiental.
- Proporcionar el uso de las energías renovables y las tecnologías limpias.

La CNEE es el ente regulador que crea condiciones propicias y apegadas a la ley para que las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica sean susceptibles de ser desarrolladas por toda persona individual o jurídica que desee hacerlo, fortaleciendo este proceso con la emisión de normas técnicas, precios justos, medidas disciplinarias y todo el marco de acción que permita, a los empresarios y usuarios, condiciones de seguridad y reglas de acción claras para participar con toda propiedad en el subsector eléctrico. La CNEE es legalmente adscrita al MEM, pero se considera un organismo independiente en su administración. Sus principales funciones son:

- Cumplir y hacer cumplir la presente ley y sus reglamentos, en materia de su competencia e imponer las sanciones a sus infractores.
- Velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios y concesionarios, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas atentatorias contra la libre competencia, así como prácticas abusivas o discriminatorias.
- Definir las tarifas de transmisión y distribución, sujetas a regulación de acuerdo a la presente ley, así como la metodología para el cálculo de las mismas.
- Dirimir las controversias que surjan entre los agentes del subsector eléctrico, actuando como árbitro entre las partes cuando estas no hayan llegado a un acuerdo.

- Emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con prácticas internacionales aceptadas.
- Emitir las disposiciones y normativas para garantizar el libre acceso y uso de las líneas de transmisión y redes de distribución, de acuerdo a lo dispuesto en esta ley y su reglamento.

Figura 12. **Esquema de organización del sector eléctrico de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Funcionamiento del mercado eléctrico de Guatemala

El sector eléctrico guatemalteco se basa en un modelo de mercado competitivo a nivel de generación y comercialización, en el cual se ha privilegiado el libre acceso y la existencia de un sistema de precios que refleja equilibrios libres de oferta y demanda, debido a que en estos segmentos pueden darse condiciones efectivas de competencia. En aquellos segmentos en que la presencia de economías de escala da lugar a la existencia de monopolios naturales los precios, son fijados por el ente regulador sobre la base de costos económicos eficientes.

El MEE está constituido por el Mercado Regulado y el Mercado Mayorista. Es competitivo en los segmentos de generación y comercialización. La generación es abierta a la participación de actores privados, lo mismo que la transmisión. Los precios de transmisión y distribución están regulados.

El Mercado regulado está integrado de la siguiente manera:

- Por el lado de la demanda: todos aquellos usuarios con demanda de potencia menor a 100 kilo watts, situados dentro del área geográfica cubierta por la distribuidora.
- Por el lado de la oferta: distribuidoras autorizadas dentro de su zona de cobertura.

El Mercado Mayorista son los usuarios con demanda en el espacio donde sus agentes (generadores, transportistas, distribuidores, comercializadores, grandes usuarios) realizan transacciones económicas en el mercado libre. Esta libertad es caracterizada por variables como:

- Riesgo
- Precio competitivo
- Derechos y obligaciones

El Mercado Mayorista agrupa a generadores, transmisores que tengan como mínimo 10 mega watts de capacidad de transporte, distribuidores con un mínimo de 15 000 usuarios, comercializadores que compren o vendan bloques de energía asociados a una oferta firme no menor a 2 mega watts, y grandes usuarios con demanda máxima de potencia por arriba de 100 kilo watts. Los límites establecidos para los comercializadores aplican también para importadores y exportadores. La administración del mercado le corresponde al Administrador del Mercado Mayorista (AMM).

Las operaciones de compra y venta del Mercado Mayorista se realizan bajo las Normas de Coordinación Comercial, a través de:

- El Mercado de Oportunidad o Mercado Spot.
- El Mercado a Término: los grandes usuarios pactan los plazos, las cantidades y precios de energía.
- El Mercado de Transacciones de Desvíos de Potencias diarios y mensuales.

El Mercado Mayorista de Guatemala, en resumen, presenta las siguientes particularidades:

- Basado en costos.
- Libre acceso a sistemas de transmisión y distribución, pagando el peaje correspondiente.
- Competencia en generación y comercialización.

- El precio de oportunidad de la energía refleja el costo marginal de corto plazo.
- Despacho económico, se optimizan costos variables, valor del agua, precios de contratos y precios de importaciones.
- Contratación obligada de potencia demanda firme.
- Precios nodales (señal de localización de la generación y liquidación de pérdidas de energía).
- La expansión de la red de transporte se da por acuerdo entre partes o por consulta y licitación pública.
- Los servicios complementarios están sujetos a la competencia, previa habilitación para prestarlos.

En el Mercado de Oportunidad o Mercado Spot: cada comprador adquiere, del conjunto de vendedores y las transacciones se realizan al precio de oportunidad de la energía, calculado con base en el costo marginal de corto plazo, que resulta del despacho de la oferta disponible.

En el Mercado a Término o Mercado de Contratos: a través de un contrato, los agentes de mercado pactan entre ellos los plazos, cantidades y precios de la electricidad. El grueso de las transacciones en el mercado de contratos se da entre generadores y distribuidoras. Sin embargo, también participan grandes usuarios y comercializadores.

Para adicionar nueva generación el distribuidor debe realizar una licitación abierta por un período máximo de 15 años, la cual deberá iniciarse con un mínimo de 5 años de anticipación al suministro. Los términos de referencia son establecidos por la CNEE, y las bases de licitación elaboradas por el distribuidor serán aprobadas por la CNEE. Los excedentes de potencia y/o energía se comercializan en el mercado de oportunidad.

El AMM ejerce también la función de despacho económico de carga que es la optimización de los recursos para la generación de la energía eléctrica. Es una entidad privada sin fines de lucro, que coordina las transacciones entre participantes del Mercado Mayorista de Electricidad, asegura la competencia en un mercado libre, con reglas claras que promuevan la inversión en el sistema eléctrico, y vela por el mantenimiento de la calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica. Se consideran que sus principales funciones son:

- La coordinación de la operación de centrales generadoras, interconexiones internacionales y líneas de transporte al mínimo de costo para el conjunto de operaciones del mercado mayorista, en un marco de libre contratación de energía eléctrica entre generadores, comercializadores, incluidos importadores y exportadores, grandes usuarios y distribuidores.
- Maximizar la seguridad del Sistema Nacional Interconectado, garantizar el suministro y el abastecimiento de energía eléctrica, y minimizar los costos mayoristas en el mercado horario de la energía.
- Prever y programar eficientemente el funcionamiento del mercado mayorista y del Sistema Nacional Interconectado. Establecer precios de mercado de corto plazo para las transferencias de potencia y energía entre generadores, comercializadores, distribuidores, importadores y exportadores, cuando ellas no correspondan a contratos de largo plazo libremente pactados.
- Realizar la valorización de las transacciones, pagos, y cobros a los agentes de manera transparente.
- Operar el Sistema Nacional Interconectado y administrar el mercado mayorista con objetividad y máxima transparencia dentro de las reglamentaciones establecidas.
- Mantener un proceso de mejora continua.

- Velar por la obtención de la máxima eficiencia en el uso de los recursos locales.

3.4.3.1. Trámites requeridos para el otorgamiento de permisos de instalación de plantas de generación eléctrica

Según la normativa vigente, la solicitud para la obtención de las autorizaciones definitivas para plantas de generación hidroeléctrica y geotérmica, transporte y distribución, debe ser presentada ante el MEM.

Se requiere de autorización para la utilización de bienes de dominio (hidráulicos o geotérmicos) que se ocupen para generación de electricidad, cuando la potencia de la central exceda 5 mega watts. Para tamaños menores, el interesado puede solicitar el registro de su aprovechamiento ante el MEM.

En caso que se presenten varios interesados para solicitar la autorización definitiva para construir una central hidroeléctrica en un mismo emplazamiento, los mismos deberán competir por obtener la explotación del recurso hídrico bajo los términos de referencia que elaborará el MEM. Se pueden solicitar autorizaciones temporales para efectuar estudios, mediciones y sondeos si la obra es mayor a 5 mega watts y utiliza bienes de dominio público.

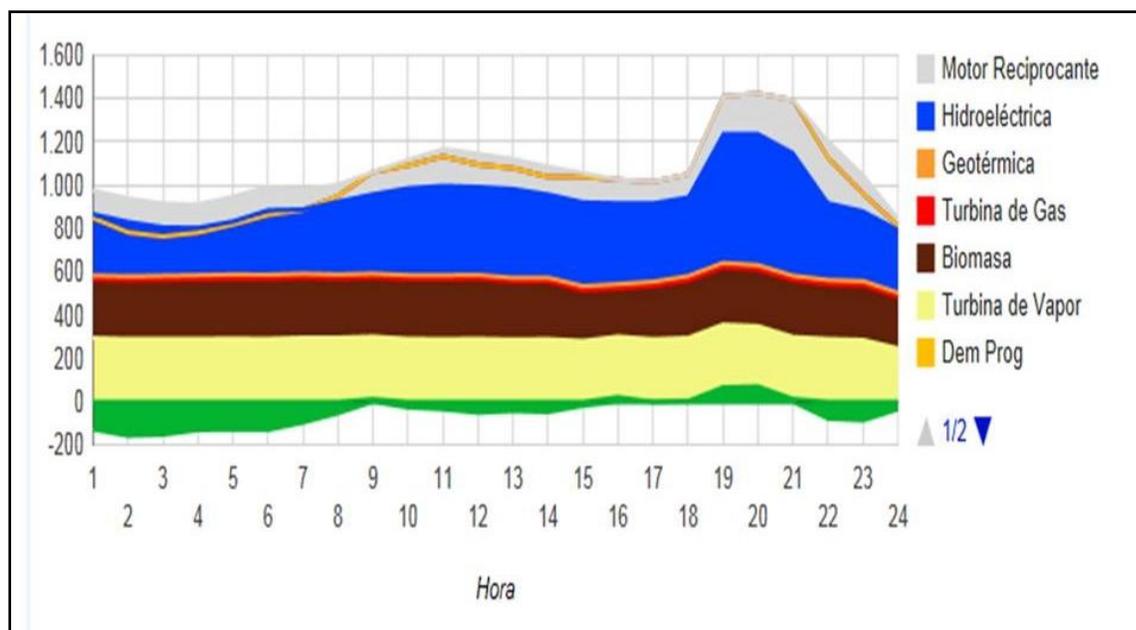
3.5. Costos de generación y precios de la energía

Los costos de generación están basados en el Mercado de Oportunidad de la Energía, también denominado Mercado Spot, el cual es un mercado donde se liquidan los excedentes de energía no comprometida en contrato de

los participantes productores que cubrieron los faltantes de energía no abastecidos por participantes consumidores.

El Mercado Spot se valoriza por el precio spot el cual se fija en intervalos, horarios y depende del costo variable de generación (CVG), de la última unidad que fue convocada a generar por el AMM para cubrir la demanda. La unidad que fija el precio spot se conoce como unidad marginal y para fijar el precio tiene que haber estado generando durante 15 minutos como mínimo durante la hora correspondiente, por ejemplo (ver figura 13):

Figura 13. **Gráfica de proyección de composición de la generación de energía del día 22 de marzo de 2014**



Fuente: www.amm.org.gt. Consulta: marzo de 2014.

Algunos de los factores que afectan el precio spot son los siguientes:

- Cuando se producen fallas en el Sistema Nacional Interconectado (SIN), es necesario convocar unidades o centrales de generación de costo variable alto, encareciendo el precio spot.
- Si alguna central o unidad de costo variable bajo requiere de un mantenimiento, debe ser reemplazada por unidades de generación más caras, resultado un precio spot mayor.
- El precio spot es altamente influenciado por las condiciones hidrológicas:
 - En condiciones de sequía, la generación hidroeléctrica se reduce y es necesario utilizar generación térmica para cubrir la demanda.
 - En condiciones de un invierno normal, el precio spot se ve favorecido por la generación hidroeléctrica y generalmente su valor baja.
 - En un invierno extremadamente lluvioso, si bien puede pensarse que la generación hidroeléctrica será mayor y esto favorecerá el precio spot, pueden presentarse indisponibilidades importantes en centrales hidroeléctricas que son afectadas por exceso de sedimentos en el caudal entrante, inundaciones etc. Dependiendo de la severidad de estas indisponibilidades, pueden llegar a afectar negativamente el precio spot con un posible incremento del mismo.
- Derivado que los precios de los combustibles inciden directamente en los costos variables de generación, el precio spot, también está sujeto a las fluctuaciones de los precios internacionales del carbón, búnker y diésel.
- El aumento en la demanda de energía en el SNI es otro factor que afecta al precio spot. Una demanda creciente implica convocar a generar unidades de costo variable más alto, encareciendo el precio spot.
- Otro factor que afecta al precio spot de la energía, es la banda horaria en la que se compre. Las bandas horarias en el Mercado Mayorista de Electricidad son tres, la banda mínima está comprendida de las 22:00 a

las 06:00 horas, la banda media está comprendida de las 06:00 a las 18:00 horas y la banda máxima de las 18:00 a las 22:00 horas. Generalmente los precios spot de la energía son menos susceptibles de riesgo en las horas de baja demanda, mismas que generalmente se presentan durante la banda mínima, siempre y cuando no se hayan programado mantenimientos de centrales generadoras importantes que impliquen su indisponibilidad.

- La incorporación de nueva generación de costos variables eficientes y las importaciones de energía con costos variables de generación bajos, conllevan un efecto positivo en los precios spot e incentivan la competencia en el Mercado Mayorista de Electricidad.

3.5.1. Generación eléctrica renovable

La generación eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica en energía eléctrica y se recurre a las denominadas centrales eléctricas que son instalaciones que ejecutan las transformaciones y es el primer escalón del sistema de suministro eléctrico. Dependiendo de la fuente primaria, estas pueden ser por medio de fuentes renovables y no renovables.

La utilización de energías renovables es una de las formas más eficientes de producir energía eléctrica. Su eficiencia se debe tanto al uso del recurso inagotable que relativiza la incidencia del rendimiento de las instalaciones, como la posibilidad de generación distribuida evitando pérdidas en transporte y distribución de energía eléctrica.

3.5.1.1. Tendencias internacionales

La energía eléctrica mundialmente ha permitido el desarrollo económico de los países, teniendo como resultados avances tecnológicos y desarrollo productivo de las personas que habitan en estos. La energía eléctrica es un instrumento fundamental para el crecimiento y desarrollo sostenible de un país ya que a través de la historia se ha demostrado que el crecimiento económico de las potencias del mundo va ligado directamente al incremento en el consumo de la energía eléctrica.

Actualmente se consume más del 50 por ciento de energía de lo que se consumía hace un siglo y según el Consejo Mundial de la energía, en los próximos veinte años el consumo de energía a nivel mundial, aumentara un 50 por ciento más, llevando a esto a aprovechar todos los recursos existentes y desarrollar nuevas formas eficientes para la producción de energía eléctrica.

Una de las primordiales preocupaciones que existe a nivel mundial, es la del problema del suministro. Esta preocupación ha planteado la idea de realizar una millonaria inversión en infraestructura y tecnología, con la finalidad de satisfacer el suministro eléctrico requerido de la población.

3.5.1.2. Renovables en el contexto de Guatemala

Las principales fuentes de energía renovable del parque generador de Guatemala son la hidroeléctrica y la biomasa. La generación con biomasa se produce utilizando como combustible el bagazo de caña de azúcar, siendo de gran importancia para el SIN, porque contribuye a incrementar la seguridad del abastecimiento de energía. Esto es posible, porque la zafra azucarera se lleva a cabo durante los meses de noviembre a mayo, complementándose así con la

generación hidroeléctrica, que durante estos meses ve mermado su aporte de energía.

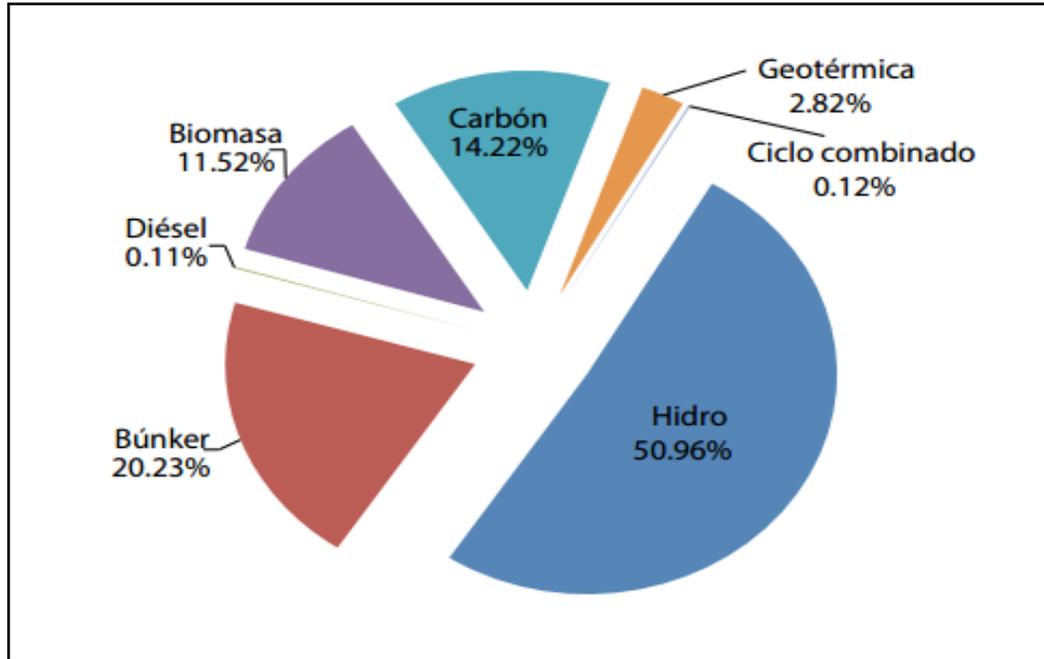
Tabla V. **Potencia efectiva de cogeneración de los ingenios azucareros de Guatemala**

| INGENIO | MW |
|----------------------------|---------------|
| Magdalena | 111,20 |
| Pantaleón | 58,70 |
| La Unión | 37,00 |
| Santa Ana | 35,40 |
| Concepción | 26,70 |
| Madre Tierra | 21,20 |
| Trinidad | 14,10 |
| Tululá | 13,70 |
| Total de generación | 318,00 |

Fuente: Administrador del Mercado Mayorista (AMM), marzo 2014.

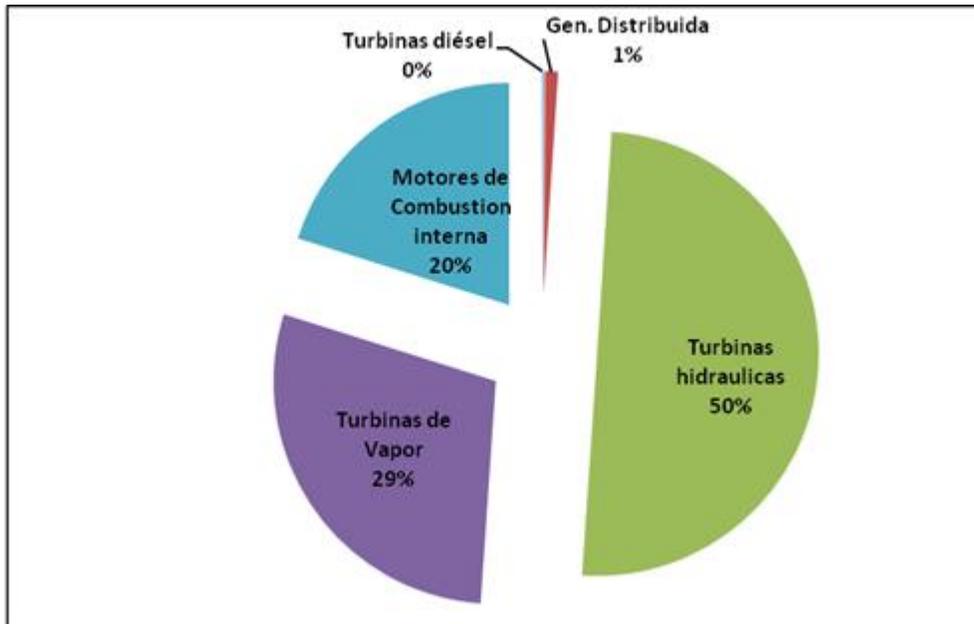
La biomasa y la hidroelectricidad son complementarias y provienen de fuentes renovables, el efecto a la baja que se esperaría en el precio spot de la energía se ve reducido, porque parte de la energía producida por los ingenios azucareros corresponde a contratos existentes cuyo precio de la energía está indexado a los precios internacionales del búnker.

Figura 14. **Producción de energía en Guatemala por tipo de combustible**



Fuente: informe estadístico 2013, CNEE, proyección enero-diciembre 2012.

Figura 15. **Generación de energía eléctrica por tipo de tecnología**



Fuente: informe estadístico 2013, CNEE, proyección enero-diciembre 2012.

La tabla VI muestra que Guatemala tiene un potencial enorme en la generación de energía alternativa, la energía hidráulica, sobre todo presenta enormes reservas. Esta situación contrasta con la distribución actual en uso de los distintos tipos de energía, lo cual significa que otras fuentes de energía no renovables tienen poco desarrollo relativo y que incluso la hidráulica, que es la más utilizada posee potencial considerable.

Tabla VI. **Características importantes de ER en Guatemala por tipo de energía**

| Tipo de energía | Características |
|------------------------|--|
| Solar | Se reparte uniformemente en todo el país y es casi constante a lo largo del año, alcanza su máximo en abril y su mínimo en diciembre. |
| Eólica | El mejor rendimiento se encuentra en los altiplanos de los Cuchumatanes (>3000m) y en la costa Caribe. |
| Hidráulica | Múltiples investigaciones se emprenden para construir centrales hidráulicas de potencia como microcentrales. |
| Biomasa | Según las regiones, los residuos de café, maíz, caña de azúcar y desechos de animales se explotan tanto en combustión directa, destilación o fermentación metánica. |
| Geotermia | Desde México hasta Honduras o El Salvador, 35 volcanes se encuentran en actividad en sitios como San Marcos, Amatitlán, Zunil. Numerosos proyectos térmicos-eléctricos de alta, mediana y baja entalpia se están examinando. |

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2009.

La tabla VII resume las ventajas que tiene el uso de energía renovables respecto de la no renovable. Lograr a mediano plazo una aceleración de la alternativa de ER exige esfuerzos conjuntos entre el sector privado y el público.

Tabla VII. **Ventajas del uso de ER**

| Clasificación | Energías renovables | Energías no renovables |
|----------------------------|---|---|
| Por su consecuencia | No emiten CO ₂ , y otros gases contaminantes a la atmósfera. | Las energías producidas a partir de los combustibles fósiles, sí producen contaminación. |
| Por su producción | Las energías renovables no generan residuos de difícil tratamiento | Los combustibles fósiles generan residuos que suponen, durante generaciones, una amenaza para el medio ambiente |
| Por su uso | Las energías renovables son inagotables | Los combustibles fósiles son finitos |
| Por su existencia | Las energías renovables son autóctonas | Los combustibles fósiles existen en un número limitado de países |
| Por sus efectos económicos | Las energías renovables evitan la dependencia exterior | Los combustibles fósiles aumentan las importaciones energéticas. |

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, promoción de las energías renovables en Guatemala, Centro de Información y Promoción de Energías Renovables, 2012.

3.5.2. Precios de la energía eléctrica en Guatemala

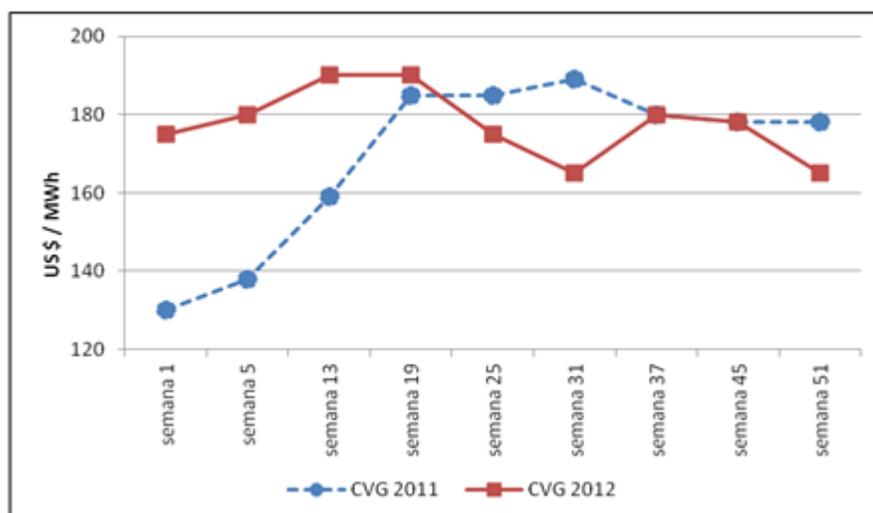
Los precios de la energía eléctrica producida por una planta de generación están determinados por el tipo de tecnología, el tipo de combustible y la fuente primaria de energía utilizada.

En Guatemala, el AMM es el ente encargado del despacho económico de las centrales de generación. En este se consideran los precios variables de las centrales, para que estas sean solicitadas a operar, de manera que las centrales que tienen un costo variable menor, serán las primeras en ser convocadas y así sucesivamente.

Siguiendo la tendencia al alza de los combustibles, los costos variables de generación también se incrementaron durante el 2012. La figura 16 representa los costos variables de generación promedio semanales de los generadores que utilizan motores de combustión interna. En esta gráfica se aprecia que el promedio semanal alcanzó los valores más altos entre el periodo del 24 de abril al 2 de julio. Este periodo es coincidente con los precios máximos registrados para el petróleo y sus derivados.

El valor del agua de las centrales hidroeléctricas de regulación anual Chixoy y Jurún Marinalá, alcanzó su máximo valor entre el período de la semana 20 y su mínimo en la semana 51 del 2012, ver figura 8. Este período es coincidente con la transición del verano al invierno, periodo que por la reducción en los aportes hidrológicos implica que el valor del agua de dichas centrales se incremente.

Figura 16. **Costo variable de generación promedio semanal de motores de combustión interna**



Fuente: informe estadístico 2013, CNEE.

3.5.2.1. Precios para usuarios finales

La tarifa para el trimestre de julio a septiembre de 2013 mostró una mejora, debido al incremento del 64 por ciento en la producción de energía generada por hidroeléctrica y una reducción del 2 por ciento en el precio internacional de compra de combustibles fósiles.

Las tarifas de distribución de energía eléctrica de EEGSA, DEORSA y DEOCSA, vigentes para los meses de noviembre de 2012 a enero de 2013 son los siguientes:

Tabla VIII. **Tarifa social**

| DISTRIBUIDORA | AGO - OCT 2012 - Q/KWh- | NOV 2012- ENERO 2013 -Q/KWh- | VARIACIÓN UNITARIA - Q/KWh- | VARIACION PORCENTUAL -%- | CANTIDAD DE USUARIOS | % SOBRE EL TOTAL DE USUARIOS |
|---------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| EEGSA | 1,77 | 1,91 | 0,15 | 8 | 915 723 | 36,76 |
| DEOCSA | 2,17 | 2,03 | -0,14 | -7 | 904 817 | 36,32 |
| DEORSA | 2,08 | 1,93 | -0,14 | -7 | 530 652 | 21,30 |

Fuente: www.cnee.gob.gt. Consulta: enero 2013.

Para la tarifa social según lo informado por el INDE, en la facturación de noviembre, los usuarios de las distribuidoras EEGSA, DEOCSA, DEORSA gozan de un ajuste de solidaridad, otorgado por el Gobierno, de manera que se pagarán: 0,50 quetzales por kilo watts hora, para los usuarios con consumos entre 0-50 kilo watts hora por mes, lo cual corresponde al 42 por ciento de las familias guatemaltecas; 0,75 quetzales por kilo watts hora, para los usuarios con consumos entre 51-100 kilo watts hora por mes que corresponde al 27 por ciento de las familias guatemaltecas, y 1,55 quetzales por kilo watts hora, por los primeros 100 kilo watt hora de consumo para los usuarios con consumo de

101 a 300 kilo watt hora por mes, que corresponde al 25 por ciento de las familias guatemaltecas.

Lo que corresponde a los precios de la tarifa no social se encuentra en la siguiente tabla IX.

Tabla IX. **Tarifa no social**

| DISTRIBUIDORA | AGO - OCT 2012 - Q/KWh- | NOV 2012- ENERO 2013 -Q/KWh- | VARIACIÓN UNITARIA - Q/KWh- | VARIACION PORCENTUAL -%- | CANTIDAD DE USUARIOS | % SOBRE EL TOTAL DE USUARIOS |
|---------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| EEGSA | 2,09 | 1,82 | 0,27 | -13 | 97 238 | 3,90 |
| DEOCSA | 1,95 | 1,82 | -0,13 | -7 | 20 603 | 0,83 |
| DEORSA | 2,19 | 1,98 | -0,21 | -10 | 22 260 | 0,89 |

Fuente: www.cnee.gob.gt, enero 2013.

Para dar cumplimiento del Decreto 96-2000 el Congreso de la República de Guatemala, Ley de la Tarifa Social para el Suministro de Energía Eléctrica, los usuarios del servicio de distribución final son clasificados en dos grandes grupos, en función que su consumo exceda o no de 300 kilo watt hora al mes. Los usuarios con consumo mensual igual o menor a 300 kilo watt hora entran en el grupo de usuarios afectos a la tarifa social para el suministro de energía eléctrica, y los que excedan de 300 kilo watt hora quedan fuera de dicha categoría y constituyen el grupo de tarifa no social.

3.5.3. Demanda de energía eléctrica en Guatemala

Se conoce como demanda de energía eléctrica a la cantidad límite máxima de energía eléctrica que se desea comprar y además se podría comprar a un determinado precio y bajo un conjunto de gustos y preferencias propias, lo que realizará a condición de no exceder un nivel máximo de dinero que se podría gastar. La ley de demanda establece que a mayor precio, menos cantidad demandada; es decir, a medida que aumenta el precio, disminuye la demanda.

En los últimos años la demanda de energía eléctrica en Guatemala ha crecido de forma significativa la cual estaría a merced de un colapso si no se cuenta con inversión en la materia o bien de no concretarse del insumo de energía eléctrica a otra nación.

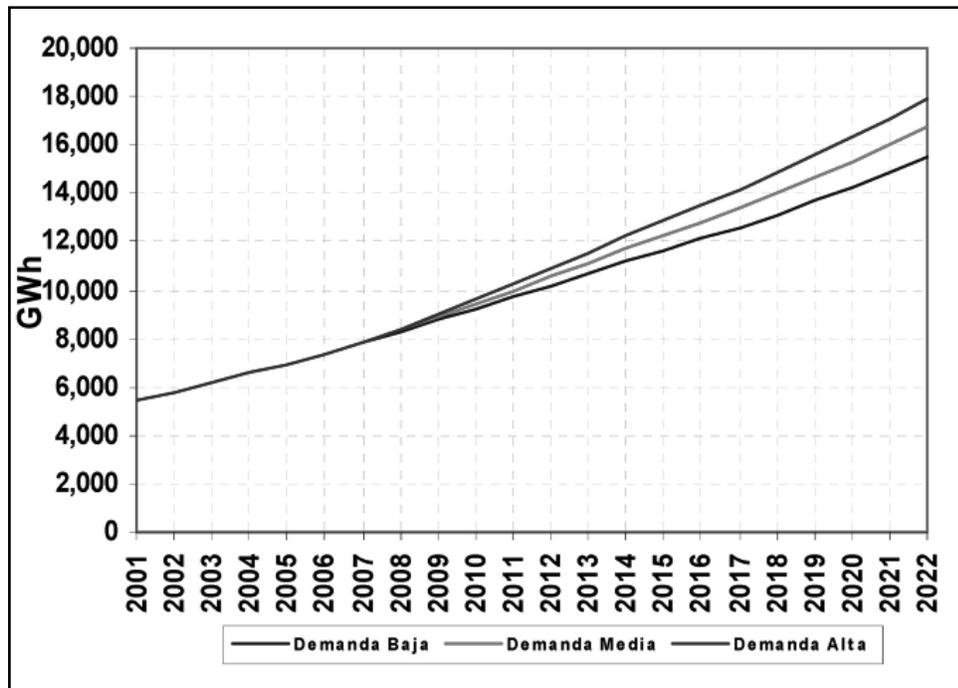
3.5.3.1. General

El Sistema Eléctrico de Guatemala está compuesto por tres componentes: generación (oferta eléctrica), transporte, y distribución (demanda de energía):

- El sistema de generación está conformado por: centrales hidroeléctricas, turbinas de vapor, turbinas de gas, motores de combustión interna y centrales geotérmicas.
- El sistema de transporte está conformado por el sistema principal y el sistema secundario. Estando el sistema principal compartido por los generadores y las interconexiones a otros países, operando básicamente en tres niveles de voltaje: 230, 138, y 69 kilo voltios. El sistema secundario es el medio de interconexión de un generador a la red principal.

- El sistema de distribución está integrado por la infraestructura de distribución – líneas, subestaciones y las redes de distribución – que opera en tensiones menores a 34,5 kilo voltios. Las principales empresas distribuidoras, coordinadas por la AMM, son: EEGSA, DEOCSA, DEORSA y EEM's.

Figura 17. **Proyección de la demanda de energía eléctrica en Guatemala**

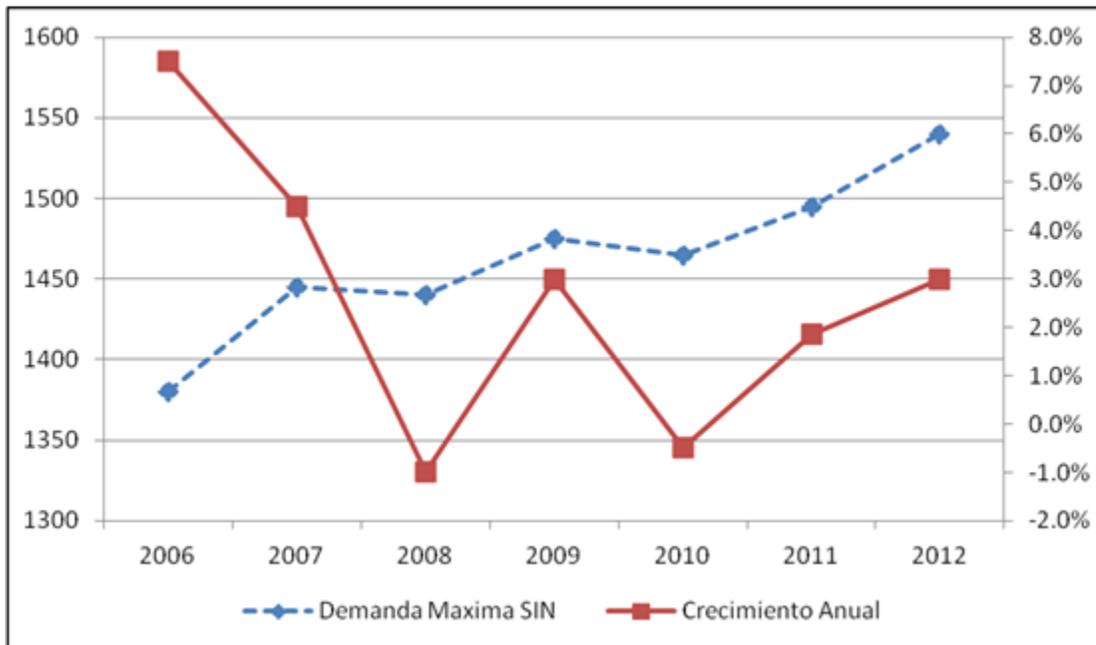


Fuente: CNEE, informe estadístico, 2012.

No obstante ha existido un crecimiento de la demanda en el país, figura 17, que a partir de 1996 hasta el 2011 el crecimiento promedio interanual ha sido de 4,42 por ciento. En el 2008 y 2010 el requerimiento de potencia se redujo un 0,94 y 0,31 por ciento respectivamente, es pertinente recordar que en el 2008 hubo una crisis económica mundial en la que Guatemala estuvo inmersa y en el 2010 la tormenta Aghata afectó al territorio nacional; los efectos

de estos acontecimientos se reflejaron en la demanda de potencia del SNI para dichos años.

Figura 18. **Demanda máxima anual de potencia SIN (MW) 2006-2012 y crecimiento porcentual anual de la demanda de potencia**



Fuente: informe estadístico, 2013, CNEE.

En la figura 18 se muestra la demanda máxima de potencia del SNI y su crecimiento interanual para el período comprendido entre 2006 y 2012. Para dicho período se tuvo su mayor pico en el 2006, con un 7,17 por ciento y su menor valle en el 2008 con un decrecimiento de 0,93 por ciento. El crecimiento observado en el 2011 respecto al 2010 fue de 1,59 por ciento, teniendo en este período la demanda máxima del 2012 de 7,5 por ciento, más de 15 mega watts.

Guatemala cuenta con una capacidad instalada efectiva de 8 400 giga watts, consumidos durante el 2012 en el Sistema Nacional Interconectado. De esto el 94,15 por ciento correspondió a consumo de energía, el 3,65 por ciento fueron pérdidas y el 2,20 por ciento fue energía exportada.

En el mercado mayorista, la oferta de energía eléctrica en el SNI está constituida por la producción de generadores locales y por las importaciones provenientes, tanto del Mercado Eléctrico Regional (MER), como de la interconexión Guatemala-México. Las importaciones de energía de México son las que mayor importancia tienen para el Mercado Mayorista, mientras que las importaciones del MER, son en su mayor parte energía inadvertida.

La demanda de energía eléctrica se integra del consumo del SNI, de las exportaciones y de las pérdidas de energía en el sistema. Los participantes consumidores en el Mercado Mayorista son los distribuidores, exportadores y grandes usuarios.

3.5.3.2. En las costas de Guatemala (mercado potencial)

Uno de los recursos más importantes del país es el espacio marítimo de las dos costas de Guatemala, pero científicamente ha sido poco estudiado, como también poco apreciado, desde el punto de vista económico.

- La costa del Atlántico: esta es recortada y corresponde al golfo de Honduras, contando con la bahía de Amatique, que es casi cerrada al noreste por el cabo de las Tres Puntas o Manabique, en donde desagua el lago de Izabal que es el más grande del país, a través del Río Dulce.

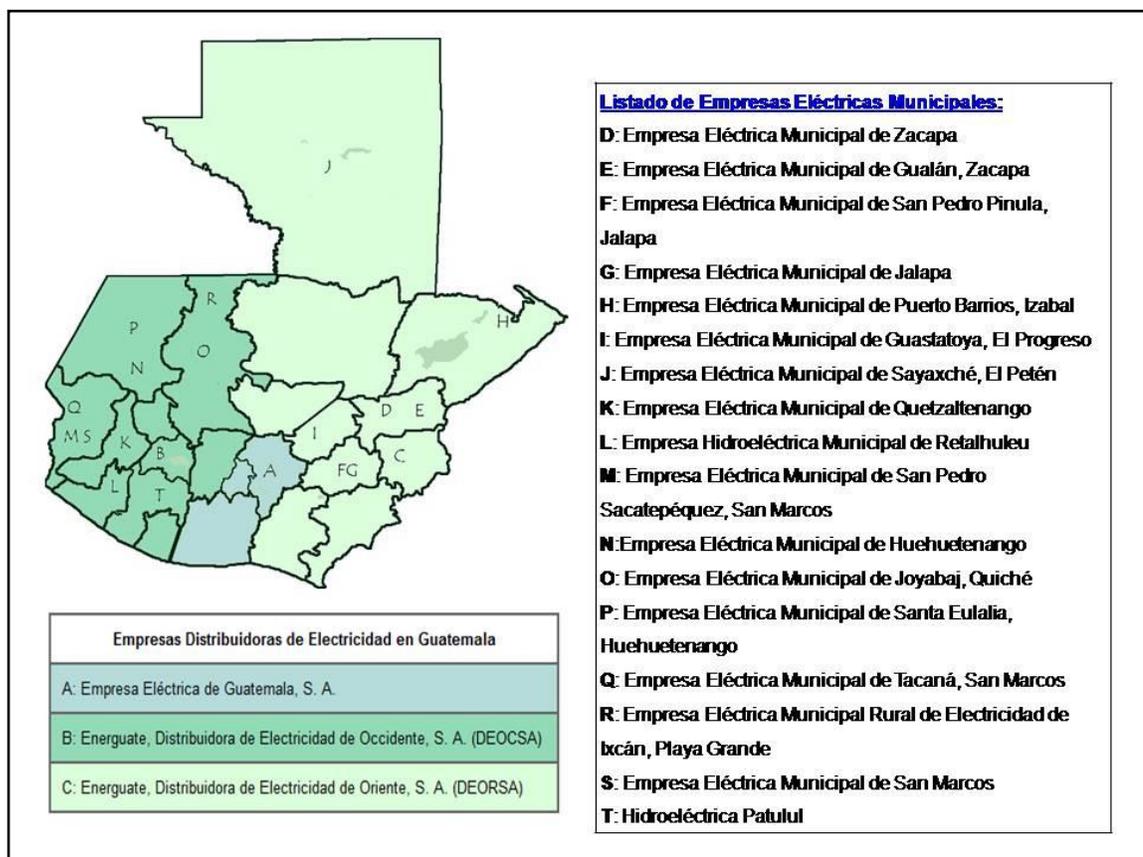
- En la costa del Atlántico están ubicados Puerto Barrios, Livingston y Santo Tomás de Castilla, contando también con playas de arena blanca, como Punta de Palma, Punta de Manabique.
- La costa del Pacífico: esta tiene dos bahías principales muy abiertas que son, la de San José en donde se encuentran los puertos Quetzal y San José; y la de Champerico en la que se encuentra el puerto de Champerico
- La Costa Sur se extiende desde la frontera con México hasta la frontera con El Salvador, con una longitud aproximadamente de 290 Kilómetro, siendo una de las zonas más importantes en la economía del país, por la gran fertilidad de sus suelos. También se le llama Costa Grande que abarca seis departamentos que son: San Marcos, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa. En Taxisco municipio de Santa Rosa se encuentra la playa de Monterrico

El desarrollo en costas del Pacífico del país, genera la necesidad de nuevos proyectos los cuales se requieren de recursos como la energía eléctrica, por lo que en la región del pacífico y central se contemplan obras de ampliación debido a la instalación de generación, principalmente térmica, y al crecimiento de la demanda. Dentro de esta región se encuentra el Puerto Quetzal que es un punto estratégico para el suministro de combustibles, por lo que se hace importante la construcción de refuerzos en transporte y subestaciones a fin de poder evacuar la nueva generación.

Por el crecimiento de la demanda en la región del Pacífico de Guatemala se encuentra en proceso el proyecto del Anillo Metropacífico, el cual tiene como objetivo principal abastecer el centro de carga más grande del país, el cual es el departamento de Guatemala, garantizando el suministro de energía eléctrica.

El Anillo Metropacífico se encuentra ubicado en la región central y sur del país con 144 kilómetros de longitud aproximada de líneas, con 17 sub estaciones, ampliaciones y refuerzos, con un costo estimado de 119,1 millones de dólares (americanos). A esto se estima una reducción de pérdidas de transmisión debido a la implementación de obras las cuales ascienden a 587 giga watts hora, esta reducción contribuye con el ahorro derivado de la reducción de generación de energía eléctrica para esas pérdidas.

Figura 19. Cobertura de las empresas de distribución de energía eléctrica de Guatemala



Fuente: www.cnee.com.gt. Consulta: septiembre de 2013.

La máxima capacidad de transferencia de potencia entre la zona pacífica y la zona metropolitana que resulta en el estudio sobre la implementación de las obras del Anillo Metropacífico se establece en 1 500 mega watts. Esta capacidad incluye, la capacidad instalada actual y la capacidad que resulta de la instalación de proyectos nuevos en la zona Pacífico.

Para fines del estudio se ha limitado la demanda a las costas de Guatemala, y la cobertura del servicio eléctrico por departamento según lo muestra la tabla X.

Tabla X. **Índice de cobertura del servicio eléctrico por departamento (costas de Guatemala)**

| Departamento | Hogares | Usuarios |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Izabal | 79 115 | 58 243 |
| Escuintla | 171 039 | 132 522 |
| Jutiapa | 103 726 | 87 552 |
| Retalhuleu | 63 380 | 53 483 |
| Santa Rosa | 79 553 | 68 544 |
| Totales | 496 813 | 400 344 |

Fuente: informe estadístico, 2013, CNEE.

Con estos datos se tiene que, cubriendo la demanda de futuras instalaciones de equipo Aperture, en las costas de Guatemala, se puede tener un mercado potencial de aproximadamente 500 mil hogares rurales con generación de energía eléctrica directa por medio de Aperture, con lo que permitirá alcanzar un aprovechamiento eficiente del recurso hídrico para fines eléctricos, además de un número suficiente de usuarios directamente

beneficiados. Para este estudio se estimará una cobertura de demanda de 1 750 hogares, los cuales representan el 1 por ciento de hogares en el área rural con mayor cantidad de usuarios (Escuintla) para ser el mercado potencial del proyecto.

La demanda de potencia representa la capacidad que necesita el conjunto de los usuarios de electricidad del área, los que también están conectados al SNI, a través de la red de distribución de la EEGSA. La demanda de energía relaciona la demanda de potencia con el tiempo en que los mismos usuarios están conectados al sistema. La producción de energía eléctrica está dada en kilovatios-hora [kWh].

La zona de influencia directa de la planta se conecta a través de una red de distribución a cargo de la EEGSA. Sin embargo, cuando se instala una planta generadora, conviene que ésta funcione la mayor cantidad de horas posibles al día, en primer lugar para que se venda más energía y en segundo lugar porque suspender la operación y reiniciarla después, puede ocasionar pérdida de oportunidad en el aprovechamiento de recurso híbrido.

Se estimará la instalación de un equipo Aperture cubriendo la demanda de energía eléctrica de usuarios finales, con beneficiarios residenciales en un cien por ciento. Según el informe estadístico 2013 de INE, el consumo de energía por usuario residencial, con un promedio de cinco residentes por hogar, es de 246 kilo watts hora-mes.

3.6. Mercados de carbono en Guatemala

El mercado de carbono es el resultado de la interacción de individuos que buscan satisfacer sus necesidades, ya que es un intercambio de certificaciones

sobre emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por dinero. Existen diferentes entes internacionales que pretenden regular estos mercados, entre ellos se pueden mencionar a la Organización Mundial de Comercio (OMC) y el Protocolo de Kioto.

El eficiente funcionamiento del mercado de carbono se basa en los mecanismos del Protocolo de Kioto: el comercio de emisiones. Este permite a las industrias contaminantes reducir sus emisiones de GEI a través de la compra de certificados de carbono a empresarios, organizaciones no gubernamentales y gobiernos.

El proceso de emisión y distribución de estos certificados debe ser realizado por una organización o asociación interna que sea autónoma, que no sea de carácter lucrativo y que no tenga intereses prioritarios. Para el caso de Guatemala ya existe la Oficina Guatemalteca de Implementación Conjunta (OGIC) creada en 1996. Estos certificados pueden ser cambiados libremente de acuerdo a los parámetros establecidos por el mercado de carbono. Para la prevención de posibles fraudes y para garantizar un exitoso intercambio de certificaciones, el intercambio debe ser efectuado de forma contractual.

3.7. Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un programa de incentivos económicos establecido por Naciones Unidas, para promover nuevas inversiones en proyectos que reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El sistema está creando un mercado global de demanda y oferta para el servicio certificado de reducciones de GEI. El Protocolo de Kioto es un brazo de la Convención Marco de Naciones Unidas de Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), que busca enfrentar el problema del

cambio climático generado por la interferencia humana en las dinámicas climáticas globales, con el objetivo de tratar de estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Cada certificado de reducción de emisiones (CER) representa la mitigación de una tonelada de dióxido de carbono equivalente. El valor general de los CER's es determinado por la demanda y oferta en el mercado internacional, y el precio depende de la estrategia de presentación y negociación de los CER's. Un proyecto debidamente acreditado ante el MDL puede aspirar a generar CER's por períodos de hasta 21 años, en función de su selección de períodos de acreditación.

Los conceptos utilizados por los países de la región en general, para buscar complacencia de las actividades de proyecto MDL con el desarrollo sostenible son:

- Congruencia y contribución con las políticas nacionales, regionales y sectoriales vigentes.
- Cumplimiento de la legislación nacional y local (ambiental y no ambiental).
- Contribución al mejoramiento de los niveles de vida, medido a través de algunos criterios tales como nivel de ingreso, generación neta de empleo, respeto de la cultura local, inversión, etc.
- Observancia a avances tecnológicos: transferencia de tecnología, utilización de nuevas fuentes de energía renovable.
- Relaciones con las comunidades locales.

3.7.1. En el mundo, Latinoamérica y el Caribe

Latinoamérica se ha convertido en el principal proveedor de proyectos MDL en el mundo, debido, entre otras cosas, al apoyo institucional por parte de los gobiernos de la región a la implementación del Protocolo de Kioto, tener sistemas de aprobación de proyectos MDL funcionando favorablemente y a la presencia de expertos locales en las instituciones de promoción del MDL. Según la información de las carteras MDL, la información más precisa y pública sobre este mercado, los proyectos latinoamericanos representan el 31 y 48 por ciento respectivamente de los montos totales negociados en sus carteras mundiales, siendo de lejos, para ambos fondos, la región más importante.

El monto total en negociaciones de proyectos MDL en LAC, según la información disponible, estaría alrededor US\$ 210,6 millones que representa compras por un total 55,3 millones de toneladas de dióxido de carbono reducidas.

Los precios MDL se rigen, básicamente, por los ofrecidos por el Banco Mundial y el Gobierno Holandés, que son los principales compradores de CERs. Los precios en el Banco Mundial han sido en promedio US\$ 3,5 por tonelada y puede haber un premio de medio dólar si el proyecto genera beneficios sociales extraordinarios. El Banco Mundial, sin embargo, traspasa los certificados a los participantes del fondo a un precio de US\$ 5,0. La diferencia de precios es justificada por los gastos en que incurre en la promoción del mercado MDL. Los precios del gobierno holandés a través de la subasta pública, en cambio son superiores, 4,7 euros en promedio.

Los proyectos de las actuales carteras MDL reducirán emisiones de las siguientes formas:

- Los proyectos de ER de emisión cero de GEI como los hidroeléctricos y eólicos reducen emisiones al desplazar energía producida por plantas de generación eléctrica que usan combustibles fósiles y generan dióxido de carbono.
- Los proyectos de biomasa reducen emisiones al cambiar fuentes energéticas fósiles por renovables, en procesos industriales o en la generación eléctrica.
- Los proyectos de manejo de residuos sólidos reducen emisiones al evitar, principalmente la emisión del gas metano, gas con poder de calentamiento global 21 veces mayor al dióxido de carbono y al desplazar energía generada a partir de combustibles fósiles cuando el gas metano es usado para fines comerciales.
- La eficiencia energética reduce emisiones al hacer un menor uso de energía para producir la misma cantidad de producto y por tanto disminuir el consumo combustibles fósiles generadores de GEI.
- Los proyectos geotérmicos utilizan el calor del subsuelo para generar energía de uso comercial evitando el uso de combustibles fósiles.
- Proyectos de remoción de óxido nitroso, gas emitido en la producción de fertilizantes y en la combustión de combustibles fósiles, especialmente de la industria automotriz. Evitan la emisión de este gas con un poder de calentamiento global 296 más que el dióxido de carbono.

La mayor participación de proyectos hidroeléctricos en la cartera de proyectos MDL de la región se debe, entre otras razones, a que son proyectos que generalmente reducen importantes cantidades de emisiones, lo que permite contar con ingresos importantes por su venta y costear las inversiones de transacción de la operación MDL. Además es relativamente sencillo calcular la cantidad de emisiones que reducirían así como establecer el plan de monitoreo y verificación.

Estos proyectos, y en general los de generación eléctrica interconectados a las redes eléctricas nacionales, como la mayoría de los eólicos, cuentan con criterios, desarrollados principalmente por el Banco Mundial, para establecer su adicionalidad. Los proyectos de generación de energía a partir de la biomasa tienen una participación importante por las oportunidades que se dan en proyectos de cambio de combustibles fósiles, como los de usar carbón vegetal de plantaciones sostenibles o aprovechar los residuos agrícolas como fuente de energía. Estos proyectos, usan la energía para procesos industriales, cogeneración y/o para producir energía eléctrica al sistema interconectado.

La participación de los países de América Latina establece que México y Brasil ofrecían las mayores posibilidades dentro de LAC para el desarrollo de proyectos MDL, debido básicamente al tamaño de sus economías y su desarrollo industrial. Esto podría explicar en parte, al menos para el caso de Brasil, su importancia actual como primer país en la región en montos negociados en el Mercado MDL. Sin embargo, países grandes como Argentina y México no han tenido una participación importante. Mientras que países chicos y medianos como Chile, Colombia, Panamá y Costa Rica entre otros, si la tienen, ver tabla XI.

Tabla XI. Países de Latinoamérica y el Caribe en el mercado MDL

| País | Cantidad de proyectos | Monto (US\$ millones) | Emisiones (ton CO ₂) |
|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Nicaragua | 1 | 0,5 | 141 600 |
| El Salvador | 2 | 1,4 | 347 400 |
| Jamaica | 1 | 2,5 | 457 200 |
| Bolivia | 1 | 1,8 | 713 990 |
| Guatemala | 2 | 8,1 | 2 168 231 |
| Ecuador | 7 | 11,2 | 3 239 320 |
| Panamá | 3 | 21,4 | 3 952 735 |
| Costa Rica | 7 | 21,0 | 4 765 201 |
| México | 3 | 17,7 | 5 083 400 |
| Perú | 3 | 20,2 | 6 026 191 |
| Chile | 5 | 27,3 | 7 423 973 |
| Colombia | 3 | 22,7 | 9 653 000 |
| Brasil | 8 | 54,9 | 11 319 026 |
| Totales | 46 | 210,7 | 55 291 267 |

Fuente: Mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas.

Este hecho se explicaría básicamente por dos razones: oportunidades para el desarrollo de las energías renovables en función a políticas de Estado favorables y por el *stock* de recursos para energías renovables disponibles, y por el dinamismo interno institucional para la promoción del MDL como se ha observado, principalmente en Costa Rica y Colombia.

3.7.2. En Guatemala MDL de energías renovables

Los MDL en Guatemala son un tema complejo de analizar y se aborda de manera detallada conociendo las tendencias de lo que ha está pasando con la red nacional y la entrada de nuevas capacidades, asociado al Plan Nacional de Expansión o las tendencias de desarrollo del sector en cada país, considerando la situación del mercado de la energía eléctrica y el efecto que estén teniendo, o pudieran tener, las condiciones del mercado internacional de las energías renovables y nuevas leyes de promoción de la energía renovable que puedan estar entrando en vigor o se estén estudiando en cada país.

Para fines de estudio podemos mencionar que Guatemala ha presentado 17 proyectos a marzo 2009, de los cuales 8 ya se encuentran registrados y representan un valor importante de 480 mega watts de potencia instalada, habiendo entregado ya 644 kilo toneladas de dióxido de carbono en total. En Guatemala, la distribución de proyectos por tipo esta diversificada, sin embargo, predominan y han tenido un éxito relativo los proyectos hidroeléctricos, representando más del 50 por ciento.

Aun cuando en número total de proyectos, Guatemala cuenta con cerca del 25 por ciento de todos los proyectos MDL de la región centroamericana, este número es muy bajo comparado con respecto a los países óptimos para el MDL de la región latinoamericana. Se pueden extraer algunas conclusiones sobre el clima de desarrollo MDL en el país:

- Guatemala cuenta con la institucionalidad, así como un esquema aprobatorio, mínimo pero necesario, para la otorgación de las cartas de aprobación nacional ante el MDL, que son otorgadas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

- Los procedimientos de aprobación nacional dan un rol importante a la proactividad de los desarrolladores y proponentes de actividades de proyecto MDL, al permitir el uso de declaraciones juradas en distintos aspectos del proceso.
- El tema de desarrollo sostenible y la apreciación de la contribución al mismo por parte de un proyecto MDL, que es sujeto de la aprobación nacional, no está explícitamente descrita en los procedimientos nacionales, pero la práctica local es muy semejante a la observada en otros países en vías de desarrollo, es decir, a través de la existencia de una lista positiva de aprobación, en la que generalmente se coloca con alta prioridad a los proyectos de energía renovable.
- La consideración de consultas específicas a actores locales no es parte explícita del proceso de aprobación nacional, sin embargo, la DNA local de Guatemala ha participado y apoyado el desarrollo de consultas locales de actores interesados en casos que así sean considerados. De la misma manera y en forma implícita, existe la tendencia de crear conciencia, en los desarrolladores de proyectos, de que los proyectos que van al MDL deben invertir algunos montos en obras de beneficio comunitario
- El desarrollo de proyectos MDL en Guatemala está claramente centrado en proyectos de generación eléctrica a partir de fuentes renovables. Existen dos tipos principales de desarrollos: proyectos de generación interconectada y proyectos de desarrollo de energía eléctrica en aplicaciones cautivas, especialmente en la agroindustria. Se nota poco desarrollo MDL para proyectos hidroeléctricos o de tecnología renovable en escalas menores a los 15 MW. Podría ser útil el desarrollo de programas de actividades MDL para facilitar el accionar en estas escalas.
- Pareciera que cuando se ha tomado ventaja de la existencia del MDL, se necesitará profundizar la participación y desarrollo a nivel sectorial para

ampliar la contribución del MDL en la atracción de financiamiento para apoyar sendas de energía sostenible en el país a mayor largo plazo.

4. ENERGÍA MAREOMOTRIZ Y EL PROYECTO *APERTURE ENGINE*

4.1. Aspectos generales de la energía mareomotriz

Forma de energía en la cual el movimiento de las aguas del mar produce una fuerza, (energía cinética de las olas del mar) que se transforma en electricidad en las centrales mareomotrices, (energía mecánica que acciona un generador). Se aprovecha la energía liberada por el agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas (flujo y reflujo). Esta es una de las nuevas formas de producir energía eléctrica.

Con un promedio de 4 kilómetros de profundidad, mares y océanos cubren las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta y constituyen un enorme depósito de energía siempre en movimiento. En la superficie los vientos provocan las olas que pueden alcanzar hasta 12 metros de altura, 20 metros debajo de la superficie, las diferencias de temperatura (que pueden variar de -2 °C a 25 °C) engendran corrientes; por último, tanto en la superficie como en el fondo, la conjugación de las atracciones solar y lunar, provoca una diferencia de alturas conocida como mareas.

La energía de olas puede generarse ya sea a partir de un aparato flotante en la superficie del océano o de una planta de energía fija al suelo marino. Una planta fija puede tener su base en tierra o localizarse alejada de la costa en mar adentro. De los numerosos dispositivos inventados y probados en los últimos años, la mayoría se encuentra en alguna de las tres categorías más conocidas como:

- Seguidores de superficie: utilizan la conexión mecánica entre un dispositivo que flota en la superficie del océano y un pivote fijo para convertir en electricidad los movimientos ascendentes y descendentes de la ola.
- Dispositivos activados a presión: estos se valen del nivel cambiante del agua para producir una presión variable.
- Aparatos de concentración: utilizan barreras físicas para redirigir las olas, concentrando su energía hacia un punto particular y potenciando su energía.

Como muchas de las fuentes de energía renovable basadas en agua, también los costos para las tecnologías de energía mareomotriz son muy altos al inicio, con la construcción e instalación de los aparatos; también hay que considerar los costos de mantenimiento, pero la fuente de energía durante toda la vida del sistema es gratis.

A diferencia de la energía generada por los combustibles fósiles, la energía mareomotriz no produce emisiones ni subproductos nocivos; y dado que son fuente de las olas de océanos son una fuente de energía renovable constante, lograr atrapar su fuerza elimina el peligro de agotar los preciosos recursos naturales de la Tierra. Si bien varias de las tecnologías actualmente disponibles para atrapar la energía inherente en las olas todavía necesitan ser desarrolladas, sí son prometedoras y pueden llegar a formar parte de los futuros suministros de energía.

La energía mareomotriz es una de las fuentes nuevas y renovables que estudian los organismos especializados de las Naciones Unidas. Esta energía está disponible en cualquier clima y época del año.

4.2. Energía mareomotriz en Guatemala

El nivel de utilización de la energía renovable mareomotriz para la producción de energía eléctrica en Guatemala es nulo, ya que no se posee registro de la utilización de la energía del mar para generar energía eléctrica en el país, pese a contar con territorio oceánico. A continuación se presentan algunas características que posee Guatemala para contar con el aprovechamiento para la generación de energía mareomotriz.

4.2.1. Formas de aprovechamiento

Geográficamente hablando, Guatemala se encuentra recostada a lo ancho de dos océanos, pocos países en el mundo cuentan con esta suerte, lo cual nos hace colindar desde las fuertes corriente oceánicas generadas en el océano Pacífico hasta los intensos cambios de mareas, una inagotable fuente de energía y de vida en los profundo de los mares.

La zona marina costera se define como el espacio geográfico que abarca la fase interactiva entre el océano y la Tierra, así como las interconexiones de los ecosistemas que se encuentran en dicho espacio; esta zona se encuentra bajo la influencia de las mareas y experimenta un efecto de salinidad por el viento, intrusión subterránea o durante desastres naturales como huracanes.

La zona costera y sus recursos son un patrimonio de importancia para diversificar la economía en Guatemala; puesto que ofrece oportunidades para el turismo, la acuicultura y el transporte marítimo. Sin embargo, existe la necesidad de promover un proceso dinámico mediante el cual se desarrollen y ejecuten estrategias coordinadas de distribución de los recursos ambientales,

socio cultural e institucionalmente con el fin de lograr la conservación y el manejo múltiple de la zona costera.

Guatemala cuenta con unos 403 kilómetros de línea costera, 255 kilómetros en el litoral del Pacífico y 148 kilómetros en el atlántico. La zona económica exclusiva que se extiende hasta 200 millas náuticas de la costa comprende un área de 85 100 kilómetros cuadrados de extensión, de los cuales 2 100 kilómetros cuadrados están en el Atlántico y 83 000 kilómetros cuadrados en el Pacífico.

La zona costera incluye, además, el mar territorial que se extiende hasta 12 millas náuticas de la costa y tiene una extensión de 7 694 kilómetros cuadrados; la zona intermareal, ubicada entre la línea de marea más alta y la línea de marea más baja y la zona submareal, la plataforma continental que comprende desde la superficie hasta una profundidad de 200 metros y los hábitat neríticos (cercaños a la costa y de poca profundidad), pelágicos (de gran profundidad) y oceánicos.

El litoral pacífico se enmarca dentro de la provincia biogeográfica de Chiapas-Nicaragua. Por las características geográficas y oceanográficas particulares el Pacífico en Guatemala carece de puertos naturales; el litoral consiste en una serie de barras arenosas paralelas a la costa, geológicamente recientes, detrás de los cuales se han formado estuarios y canales con boca barras más o menos permanentes.

La plataforma continental de Guatemala comprendida desde la costa hasta los 200 metros de profundidad, mide unos 14 700 kilómetros cuadrados. Tiene un ancho promedio de 60 kilómetros y está en su mayor parte, cubierta por lodos (arcilla y limo) y arena; los fondos son poco accidentados y más bien

planos y mayormente blandos. Los fondos de barro son más comunes en su parte profunda y cerca de las zonas limítrofes con México y El Salvador.

4.2.2. Referencias legales

A partir del 2007 se ha propiciado el desarrollo de la creación de una política que promueva el uso y el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, esto, basado en el Decreto Ley 20-86, Ley de Fomento al Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía, el cual declara de utilidad y necesidad pública la implantación de políticas energéticas encaminadas a promover el desarrollo.

Promoción y uso eficiente de las fuentes nuevas y renovables de energía. Fomentando la producción de proyectos que cumplan con lo estipulado en:

Artículo 12: Criterios para la evaluación de proyectos. Para evaluar los proyectos se tomarán en cuenta, entre otros, los criterios siguientes:

- a. La factibilidad técnica y financiera de su realización.
- b. Su contribución a la economía nacional.
- c. Su aporte al consumo energético nacional.
- d. Su impacto en la reducción de consumo de hidrocarburos.
- e. Su proyección social en cuanto pueda incidir en la reducción del gasto por un conglomerado social en el consumo de energéticos, principalmente de leña y productos derivados de hidrocarburos.
- f. Su incidencia en el desarrollo de la tecnología nacional.

El Decreto Ley 20-86 constituye un instrumento a través del cual se impulsa y coordina la acción de los ejecutores de proyectos de desarrollo y

aprovechamiento de los recursos renovables, como son: la radiación solar, el viento, el agua, la biomasa y cualquier otra fuente energética que no sea la nuclear ni la producción por hidrocarburos. Beneficia a los titulares de proyectos a través de incentivos fiscales.

Como beneficios adicionales se obtienen: la descentralización del suministro de energía eléctrica, beneficios económicos y además, mayor confiabilidad en el sistema eléctrico, ya que gracias a la descentralización geográfica del servicio, disminuyen sensiblemente las posibilidades de una suspensión de este. En Guatemala, cuanto mayor sea el número de plantas generadoras y mayor su dispersión geográfica, menores son las posibilidades de una suspensión generalizada del servicio.

El Reglamento de la Ley de Fomento al Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía preceptúa que las personas individuales o jurídicas interesadas en el desarrollo ejecución y mantenimiento de proyectos, deberán presentar ante la Dirección General de Planificación y Desarrollo Energético, la debida solicitud escrita.

Ante estos beneficios y el gran potencial con el que cuenta Guatemala en relación a la generación de energía renovable, nos hace tomar en cuenta los nuevos proyectos que tenemos a la mano en aprovechamiento de la energía mareomotriz.

4.3. Sistema *Aperture Engine*

El sistema *Aperture Engine* es una investigación privada sobre energía mareomotriz, la cual ha evolucionado con un nuevo tipo de turbina adecuado al sistema marino; su estudio detallado revela características teóricas para la

generación de energía eléctrica con el fin de buscar el acceso a esta fuente de energía, con un enfoque directamente renovable a un bajo costo y fácilmente accesible.

4.3.1. Descripción y funcionamiento⁵

El reactor atmosférico de energía potencial, es una máquina energizadora, de tres radios desbalanceados, (Atmospheric Potential Energy Reactor, a Three Unbalanced Radii Energizer engine), o Aperture para abreviar, es una máquina que utiliza el vacío proveniente, principalmente, de una cámara osciladora de olas, (OWC. por sus siglas en inglés), de preferencia localizada en el mar, para desplazar el peso de un líquido, gracias a la presión atmosférica en el sitio, a lo largo de un sistema reciprocante de vigas, para acumular energía potencial, impulsando jarras como contrapesos, en una secuencia alternada para producir básicamente, movimiento rotacional con trinquetes, en un generador eléctrico de doble eje.

La utilización del vacío, permite la localización remota del OWC, con ventajosas bajas pérdidas en la línea de tubería, permitiendo la instalación del ingenio en tierra firme. Siendo el mismo un mecanismo de baja presión, es posible construirlo incluyendo partes de plástico o madera.

Una máquina Aperture, funciona proporcionando energía rotacional a muy bajas RPM, con resonancia variable dinámica para el ambiente de trabajo marino, fricción interna baja, pocas reacciones mecánicas internas y muy bajo nivel de ruido, este artefacto opera con múltiples conversiones de energía potencial y cinética, y utiliza como conversor de torsión un mecanismo similar a una turbina desbalanceada, con movimiento modificado, de cero flujo externo y

⁵ LEÓN R., Enrique H. patente matriz US 2010/0301610, 2010.

sobresaliente mínima presión principal, con líquido recirculante no corrosivo; operando en la línea de la costa o aguas costaneras, incluyendo localizaciones interiores o sótanos, operando aún en algunos lagos y en algunos ríos sin requerir represas, siendo como tal un diseño de bajo impacto ambiental.

4.3.2. Aspectos técnicos

Dentro de los aspectos técnicos para un proyecto de generación e inversión es necesario contar con información cualitativa y cuantitativa respecto a los factores productivos que deberá tener la unidad de operación.

4.3.2.1. Factores a considerar

El sistema *Aperture* se encuentra con patente matriz US Pat. No. 2010\0301610, publicada el 2 de diciembre de 2010, por lo que generalizando detalles se puede indicar que *Aperture*:

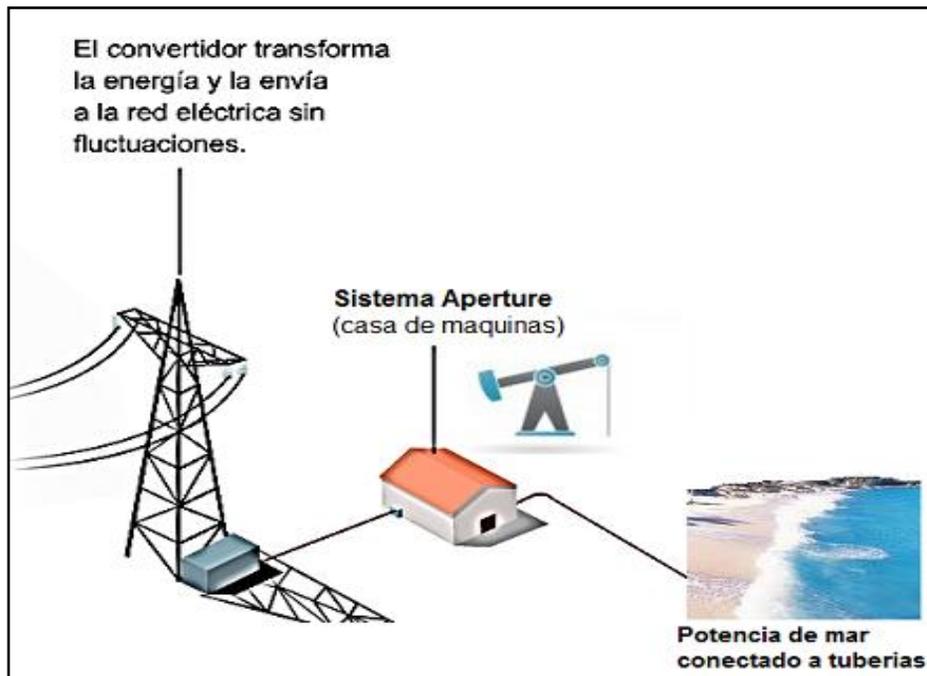
- Es una máquina tipo reactor, con un 90 por ciento de eficiencia estimada.
- Para usos de estudio y evaluación en este documento se considerará como una mini central hidroeléctrica con factibilidad de obtención directa de electricidad de 60 Hz/seg.
- Posee un sencillo funcionamiento, fácil de entender y mantener, por lo que no requiere de mantenimiento mínimo profesional, ni un técnico especializado para su funcionamiento.
- Adaptable a telemetría y reprogramación remota. Con regulación automática (variabilidad).
- Régimen de operación ultra-lento, trabaja en frío lo cual evita el desgaste de sus piezas.

- Utiliza un mínimo de piezas, evitando el uso de costosos componentes de gran tamaño, tales como engranajes, cojinetes, volantes, válvulas, ejes largos, materiales o partes especiales (de acero inoxidable).

4.3.2.2. Factor marítimo en conjunto

La estructura de Aperture se puede colocar en la tierra firme, compacta; con un área de instalación mínima de 10 metros cuadrados; únicamente tendrá su conexión con el mar por medio de una tubería conectada a un sistema OWC, el cual realizará la regulación de la extracción de la fuerza del mar. Su mecanismo trabaja con un proceso basado en múltiples conversiones de energía (cinética y potencial), ver figura 20.

Figura 20. Esquema de conexión en conjunto con el mar del sistema eléctrico, *Aperture Engine*



Fuente: elaboración propia.

Aperture engine trabaja independiente a cambios de altura de la marea, obteniendo así una optimización (dinámica) de la altura de la ola. Su tiempo de respuesta a esta variación de las olas, es ajustable, manual y/o automático.

No emplea turbina convencional con lo que obtenemos una reducción drástica en costo y tiempo. Su sistema de motor (giro), funciona a un rango de 100 a 425 revoluciones por minuto, a cualquier dirección que se requiera. Incrementada eficiencia en horas pico.

4.3.2.3. Especificaciones

Aperture engine es una máquina hidroneumática que comprende⁶:

- Un eje apoyado en dos puntos, soportando una viga esclava simplemente articulada y una viga maestra simplemente articulada, dicha viga esclava, actuando como un primer radio, además tiene conectado en su extremo libre una cadena tirante acoplada a un tanque cilíndrico viajero con resorte para amortiguación, en donde dicha cadena tirante tiene eslabones con bloques triangulares por efectuar acciones de disparo, un gancho articulado con una placa cerca de su longitud media, una barra angulada doble conectada con un cable y un resorte fijado a un pistón de una bomba para vacío para amortiguación, y una cubierta debajo de la cual un motor eléctrico con dos sensores eléctricos usando un tornillo largo.

Puede desplazar una masa deslizante roscada internamente, dicha viga maestra, bifurcada en un extremo, está dividida por sus soportes articulados en dos partes desiguales, definiendo así un radio largo y un radio corto, en la cual dicho radio corto tiene dos extremos partidos, el extremo de dicho radio largo además tiene una cadena tirante conectada a un tanque cilíndrico viajero con resorte de amortiguación, en donde dicha cadena tirante tiene fijadas en sus eslabones una pluralidad de bloques triangulares para acción de disparo, una barra doble conectada con cable y resorte a una barra angulada levitadora, dicha barra levitadora mantenida en posición con dos resortes cortos fijados a dicha viga, cerca de la mitad de su longitud un gancho articulado con placa conecta una cadena de acoplamiento con el gancho articulado de la dicha viga

⁶ LEÓN, Enrique H. Especificaciones sistema *Aperture Engine*, patente matriz US 2010/0301610, 2010.

esclava, y una cubierta debajo de la cual un motor eléctrico con dos sensores, usando un tornillo largo puede desplazar una masa deslizante roscada internamente, un actuador hidroneumático que consta de un reactor y una balanza de transferencia, el reactor mencionado cuelga con tres cadenas debajo del mencionado radio largo y con una cadena atada al extremo bajo de la mencionada barra angulada levitadora, es una caja alargada, elongada con una boca de entrada inferior, con un tubo absorbente interno con dos sellos rotativos.

Dicho tubo absorbente tiene una conexión externa a través de un distribuidor a un cincho para mangueras, dicho cincho para mangueras conecta con un distribuidor que descansa sobre la zona bifurcada del mencionado radio largo de la viga maestra, en donde dicho distribuidor, en un extremo tiene un sensor eléctrico de vacío, y un sello rotativo para un conector para línea de tubería, dicho conector localizado concéntricamente con el eje soportante, y en el otro extremo tiene un reductor con una válvula de retención interna y un sello rotativo conectado con manguera flexible hacia la mencionada bomba de vacío de la viga esclava, y en donde ambos mencionados distribuidores incluyen una pluralidad de piezas de plomería.

La balanza de transferencia mencionada, cuelga de ambos extremos partidos de dicho radio corto, además sujeta una barra vertical, cuyo cada extremo inferior sostienen una barra angulada, dichas barras anguladas sostienen en cada extremo un tanque seguidor, en el cual un resorte auxiliar con cadena lo conecta con dicho reactor y en los otros extremos de dichas barras anguladas un resorte con dos cadenas sujeta cada extremo de un tanque arenero acojinado, donde una placa acopladora localizada entre ambas barras anguladas está encadenada a un tanque

ancla, este tanque ancla además tiene un sensor eléctrico de nivel y una bomba bidireccional con manguera de salida, en donde cada uno de los mencionados tanque seguidor y tanque arenoso están destinados a sostener un extremo de manguera y un sensor eléctrico para controlar el nivel de los líquidos.

Los cables con resortes conectan los extremos superiores de dichas barras verticales con los extremos mencionados de barras anguladas, los cuales están cercanos a dicho tanque seguidor, en el cual los extremos de las barras anguladas dichas, incluyen además pequeñas barras anguladas de tope, una placa superior con agujeros de fijación, con caja para contener un controlador industrial, un computador, partes eléctricas, acumulador de respaldo y cableado para los componentes externos eléctricos mencionados, un distribuidor unido a cuatro válvulas eléctricas para abastecer los mencionados tanques viajeros arenoso y seguidor, con un filtro unido a la bomba bidireccional dicha, un soporte con dos sensores eléctricos y dos poleas para controlar y sostener la cadena de acoplamiento.

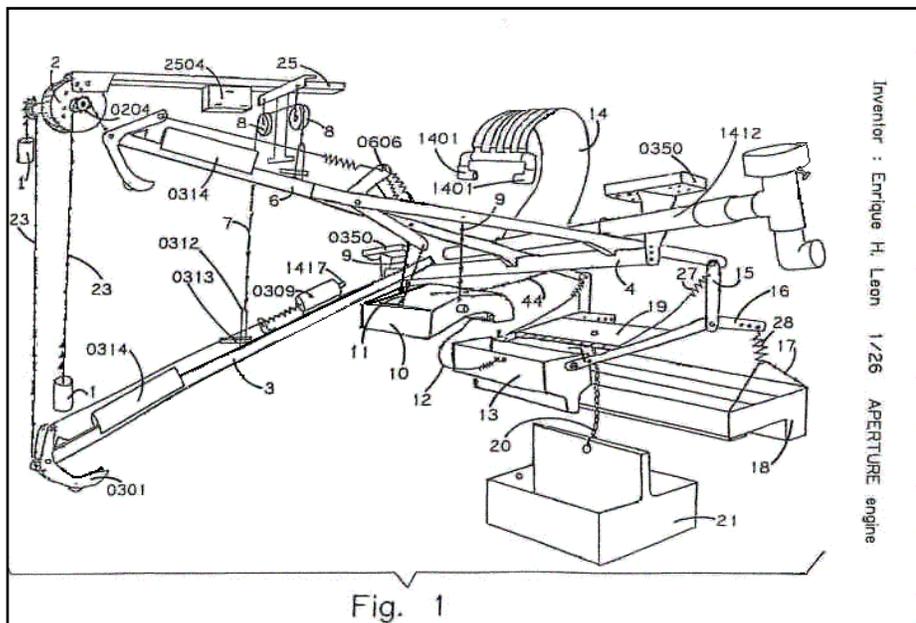
Un generador eléctrico de doble eje, en el cual dos mecanismos de disparo controlan el ciclo de la máquina, dos engranajes con trinquete interno sostienen dichas cadenas tirantes, y dos extremos de manguera con dos sensores eléctricos controlan el nivel de dichos tanques viajeros, una estructura para sostener y alojar la máquina completa, que proporcione protección para la intemperie, especialmente contra vientos y además, adecuados soportes a la máquina.

- La máquina hidroneumática, según lo indicado anteriormente, en donde el eje soportante está basado sobre dos puntos, posteriormente el eje,

además incluye cojinetes y trinquetes en los soportes articulados de las vigas.

- La máquina hidroneumática, donde los engranajes con trinquete interno además comprenden trinquetes autoimantados.
- La máquina hidroneumática, en la cual, además del actuador hidroneumático contiene un actuador hidráulico, siendo una bandeja oscilante que descarga líquido sobre un tanque fijado bajo el radio largo de la viga maestra.

Figura 21. Esquema general, *Aperture engine*



Fuente: informe de patente *Aperture Engine*, US 2010/0301610. p.1.

4.3.2.4. Rendimiento

Para fines de este estudio se evaluará un sistema *Aperture engine* con generación de 1 000 kilo watts de potencia, se tiene un margen muy amplio

para crecer en potencia, ya que, como bien se entiende, la energía potencial que está disponible como combustible es la fuerza de empuje que genera las olas del mar, es mucho mayor a lo que puede llegar a generar otro recurso renovable.

El sistema *Aperture engine* cuenta con estudios teóricos de una eficiencia mayor al 85 por ciento, tomando en cuenta un margen de pérdidas de transmisión y generación de potencia, mantenimiento periódico, fallas técnicas. Por lo que se tiene una capacidad de generación de 850 kilo watts, de la cual puede cubrir la demanda de consumo de energía eléctrica por usuarios residenciales en las playas costeras (246 kW al mes).

El factor de planta, que es la relación entre la energía utilizada y la energía que el sistema está en capacidad de entregar, tiene un valor menor o igual a la relación de potencia. La energía que el sistema está en capacidad de entregar teóricamente se calcula mediante la siguiente fórmula:

Energía del sistema/ año = potencia del diseño [kW]* eficiencia*24 horas*365 días

Energía de Aperture / año = 1 000 [kW]* 0,85 * 24 horas * 365 días

Energía de Aperture / año = 7 446 000 KWh / año

Según la estimación de la demanda únicamente residencial, de energía, durante el primer año se calcula de la siguiente manera:

Energía de demanda/ año = potencia por usuario [kWh-mes]* usuarios * 12 meses

Energía de demanda/ año = 246 [kWh-mes]* 1750 * 12 meses

Energía de demanda/ año = 5 166 000 KWh/ año

El factor de planta se calcula con la fórmula siguiente:

$$FP = \frac{\text{Energía de demanda}}{\text{Energía que la planta está en capacidad de entregar}}$$

$$FP = \frac{5,166,000 \text{ [KWh-año]}}{7,446,000 \text{ [KWh-año]}}$$

$$FP = 0,6937 = 69,37 \%$$

Mientras mayor es el factor de planta, es decir, cuando más se acerca a la unidad, mejor será la distribución del consumo de energía dentro del período considerado, lo que permite verificar el buen uso de la capacidad instalada; de lo contrario puede darse el caso que existen picos elevados de demanda y capacidad instalada ociosa.

4.3.3. Aspectos financiero y comercial

Las plantas de generación eléctricas deben realizar estudios y análisis para determinar sus costos de generación y proyectar así los precios de la energía y la potencia a licitar. Estos costos fueron calculados y proporcionados por medio de la empresa Rossellco, S. A., los cuales ya se tienen estimados y desglosados para proyecciones de inversionistas. El servicio que se estima en relación a costos se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Capital de inversión inicial incluyen los costos de diseño y construcción de los módulos *Aperture* que generaran 1000 kilo watts de potencia, además incluye derecho de piso, materia prima de los módulos.
- Costos de operación y mantenimiento, son los costos que incluyen el pago de planillas y salarios, mano de obra de operarios y técnicos, insumos, en

general, los gastos relativamente constantes en que incurre la generadora en el sistema *Aperture*, mantenimiento preventivo como mantenimiento correctivo del sistema.

- Costos variables de operación y mantenimiento, constituidos por los insumos que pueden variar de precio, utilizados para el correcto funcionamiento de la maquinaria, motores y generadores del sistema.
- Los costos de operación y mantenimiento se estiman para este estudio únicamente para el sistema *Aperture*, que comprende desde las tuberías instaladas en mar hasta la casa de máquinas; no incluye el mantenimiento y operación de la interconexión al sistema de distribución nacional, ya que estos costos depende de la ubicación de la torre distribuidora.
- Costos de combustible: se refiere al costo del tipo de combustible de generación, para energías renovables el costo es cero, lo cual se aplica al presente estudio.

4.3.3.1. Costos de inversión

Para la ejecución del proyecto *Aperture* se ha estudiado la opción de dos fuentes de financiamiento, cuyos recursos serán administrados por medio de un Fideicomiso de Inversión. Una parte, el 30 por ciento del total del costo de inversión, es la que corresponde a las aportaciones directas de los socios (Municipalidad, inversionistas privados, o bien la participación conjunta de ambos sectores) y la otra es el restante 70 por ciento, como financiamiento externo a partir de la obtención de capital en préstamo.

Las aportaciones de los socios podrán ser en efectivo constituido como capital de trabajo. Este último está representado por el capital inicial con el que se cuenta para el inicio de operaciones de *Aperture*. En otras palabras, hay que financiar la generación eléctrica inicial antes de recibir ingresos, lo que implica

que deben realizarse las erogaciones pertinentes para hacer los estudios necesarios, los gastos de operación y mantenimiento del sistema *Aperture* como los costos de operación y mantenimiento de la interconexión al sistema de distribución nacional y contar con liquidez para sufragar los gastos que ocurran en la central generadora.

La proyección de costos y gastos está referida a los egresos de dinero que se harán por la utilización de bienes y servicios que tengan relación con la generación. En este caso, y para efectos de evaluación primaria, los gastos de operación y mantenimiento incluyen en particular cuatro cuentas, las cuales comprenden en forma integral las salidas de efectivo que incorpora la operación de *Aperture*. Las cuentas son: los mantenimientos de obras e instalaciones, la administración, el costo variable de operación y mantenimiento y gastos de operación.

Los gastos financieros son también parte del presupuesto proyectado de los costos y gastos, estos corresponden al pago de intereses del préstamo bancario, el que alcanza un 70 por ciento del total del costo de inversión.

Para el cálculo de la inversión del proyecto *Aperture* se realizará una serie de cálculos, entre ellos está el *costo nivelado del kilo watts hora* generado por concepto de inversión (CnkWh-I), el cual es un parámetro de referencia que corresponde al precio medio mínimo de venta de la energía, durante los 15 años de vida útil, que es el periodo de derechos de licencia de *Aperture*.

- Insumos:

| | |
|--|-----------------|
| Capacidad instalada de <i>Aperture</i> | 850 kWh |
| Inversión y estudios | Q. 7 158 000,00 |
| Factor de planta | 69,37 % |
| Vida económica | 15 años |
| Tasa de corte (ver pag. 152) | 31,36 % |

- Procedimiento:

- Costo unitario del kW instalado (CU/kW)

$$CU = I / kW = 7\ 158\ 000 / 850 = Q. 8\ 421,18/ kW$$

- Factor de recuperación de capital (Frc)

$$Frc(0,2345, 15) = \frac{0,2345(1,2345)^{15}}{(1,2345)^{15} - 1} = 0,2449$$

$$\frac{Frc(0,2345, 15)}{(1+i)^{1,2345}} = \frac{0,2449}{(1+i)^{1,2345}} = 0,19837$$

- Factor del valor presente (Fvp)

$$Fvp(0,2345, \underline{w}) = 1(1,2345)^1 = 1,2345$$

w = tiempo en años durante el cual se efectúa la inversión

- Generación neta anual por kW (GNA/kW)

$$\text{GNA} = (1-0,01) * 0,6937 * 8\ 760 = 6\ 016,04 \text{ kWh/kW}$$

- Costo nivelado del kWh generado por concepto de inversión (CnkWh-I)

$$\text{CnkWh-I} = \text{CU/kW} * \text{frc} * \text{fvp} * 1/ \text{GNA/kW}$$

$$\text{CnkWh-I} = 8\ 421,18 * 0,19837 * 1,2345 * (1/ 6\ 016,04)$$

$$\text{CnkWh-I} = \text{Q } 0,34$$

El costo nivelado es un parámetro que sintetiza la información económica disponible del proyecto. El valor, que generalmente es de Q. 0,34 (treinta y cuatro centavos de quetzal), expresa el costo medio del kilovatio hora generado y es particularmente útil para comparar dos o más proyectos opcionales que permiten la obtención del mismo producto, la energía eléctrica. Para establecer el precio mínimo al que deberá venderse el kilovatio hora. En este caso nos indica que realmente se tendrá un costo relativamente muy bajo en la generación de kilovatio hora.

La tasa de retorno mínima aceptable (TREMA), tasa de corte (Re), tasa de descuento o valor presente se calculó a través del método de costo promedio ponderado de capital, el cual principalmente pondera el costo del capital privado y el costo del financiamiento.

Para el cálculo del costo del capital privado se utilizó el modelo de asignación de precios de los activos de capital (MAPAC), utilizando el siguiente procedimiento:

$$\text{Costo de capital privado} = K_e = R_f + (R_m - R_f) * \beta_L + R_p + R_d$$

En donde:

- R_f = tasa libre de riesgo a largo plazo. Es el rendimiento promedio del bono soberano de Guatemala a 30 años en US\$, el que se sitúa en 7,487 por ciento.
- R_m = tasa promedio de retorno del mercado. Corresponde a la tasa libre de riesgo, 7,487 por ciento, más 13,6 por ciento como premio sobre el riesgo del mercado eléctrico en el país, equivalente a la tasa de interés del préstamo, se toma la tasa de interés activa (préstamos bancarios, Banco de Guatemala, 16/03/2014) entonces $R_m = 21,087$ por ciento.
- R_p = tasa de riesgo país. Equivale a la diferencia entre el riesgo de una operación financiera en Guatemala y una operación similar en el exterior. En este caso, se toman como base los créditos asegurados durante el año 2005 por Ex-ImBank de los Estados Unidos de América otorgados a Guatemala que tuvieron un cargo del 8,125 por ciento, menos el rendimiento de los títulos del Gobierno de EE.UU de 5,175 por ciento, se obtiene una tasa riesgo país de 2,95 por ciento.
- β_L = beta apalancada. Para generación hidroeléctrica en Guatemala es de 0,95,⁷ es decir, que el riesgo sistemático del sector equivale a un 95 por ciento del riesgo promedio del mercado.
- R_d = riesgo de la divisa. Equivale al tipo de cambio del quetzal con respecto al dólar estadounidense.

⁷Iberdrola. *Evaluación de proyectos de inversión*. En: Seminario Energético Condiciones necesarias para la Inversión privada en el Sector Energético. Guatemala. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. 2006. p 27. El coeficiente de volatilidad –beta- de una mini central hidroeléctrica indica cuanto varía el rendimiento de dicha planta en función de los cambios producidos en el rendimiento del mercado eléctrico del país.

$$Ke = 0,07487 + (0,21087 - 0,07487) * 0,95 + 0,0295 + 0,08$$

$$Ke = 31,36 \%$$

Por lo tanto, el costo medio ponderado de capital (CMPC), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$CMPC = Ke * [E / (E+D)] + Ti * (1 - Tx) * [D / (E+D)] + PRc$$

En donde:

Ke = costo del capital privado igual a 31,36 por ciento.

E = aporte en porcentaje del capital propio, equivalente al 30 por ciento del total de la inversión.

D = préstamo bancario. Es del 70 por ciento del total de la inversión.

Ti = tasa de interés del préstamo bancario, 13,6 por ciento.

Tx = impuesto sobre la renta, 0,00 por ciento.

PRc=prima por riesgo de construcción de proyectos de generación hidroeléctrica, 5,0 por ciento.

$$CMPC = 0,3136 * [0,3 / (0,3+0,7)] + 0,136 * (1 - 0,05) * [0,7 / (0,3+0,7)] + 0,05$$

$$CMPC = 23,45\%$$

Dentro de los costos de la inversión inicial se encuentra los derechos de licencia de *Aperture*, con un valor de 600 mil US\$ por MW de generación, los cuales se distribuyen o incluyen los siguientes aspectos:

- Derecho de exclusividad de patente *Aperture*: uso y generación por medio del sistema *Aperture* durante 15 años a partir del pago recibido.
- Derecho de piso: para la generación de 1 mega watt de potencia se requiere de 15 módulos *Aperture*, los cuales generan 67 kilo watt hora

cada uno, en un área total de 315 m², los cuales serán arrendados con costos incluidos.

- Estudios e Investigación: en busca de mejoras y avances en el sistema *Aperture*.
- Mantenimiento: incluye bodega de repuestos, mantenimiento preventivo y correctivo para los módulos *Aperture*, con técnicos especializados y supervisión profesional durante los años de derecho de licencia.
- Obra civil: incluye ingeniería de diseño y construcción del área a utilizar.
- Ensamblaje y materia prima de los módulos (tuberías, mangueras, generador, tornillos, bases, vigas, etc.)

Tabla XII. **Presupuesto de inversión**

| Quetzales (Q. /000` s) | | | |
|---|-----------------|--------------------------|----------------|
| Componentes del Proyecto | Inversión total | Fuente de financiamiento | |
| | | Banco | Recurso propio |
| <i>Gastos diferidos</i> | | | |
| Derechos de patente Aperture | 4 800,00 | 2 880,00 | 1 920,00 |
| Intereses durante la construcción (1er año) | | | 680,00 |
| <i>Sub total</i> | 4 800,00 | 2 880,00 | 2 600,00 |
| <i>Capital de trabajo</i> | | | |
| Inventario de repuestos de generación | 80,00 | 80,00 | |
| Otros | | 20,00 | |
| <i>Sub total</i> | 80,00 | 100,00 | - |

Continuación de la tabla XII.

| | | | |
|---|----------|----------|----------|
| Obras civiles | | | |
| Casa de máquinas | 250,00 | 250,00 | |
| Caminos de acceso | 150,00 | | 150,00 |
| <i>Sub total</i> | 400,00 | 250,00 | 150,00 |
| Equipo electromecánico | | | |
| Equipo interno de interconexión | 135,00 | 135,00 | |
| Subestación | 480,00 | 480,00 | |
| <i>Subtotal</i> | 615,00 | 615,00 | - |
| Administración | | | |
| Administración y gastos generales | 215,00 | 150,50 | 64,50 |
| Seguro | 145,00 | 101,50 | 43,50 |
| Planilla anual de planta generadora | 728,00 | 728,00 | |
| <i>Sub total</i> | 1 088,00 | 980,00 | 108,00 |
| Escalamiento e imprevistos | 175,00 | 175,00 | |
| Total costos de inversión Aperture | 7 158,00 | 5 000,00 | 2 858,00 |
| Participación en porcentaje | 100% | 70% | 30% |
| Capacidad total instalada generada (kW) | 850 | | |
| Costo de inversión por kW instalado | 8,42 | | |

Fuente: Estudios Rossellco, S. A., Evaluación financiera primaria, 2011.

Para la inversión se tendrá un programa de financiamiento, con un préstamo bancario, equivalente al 70 por ciento del costo total de la inversión Q. 4 980 000,00. Se ha planificado la amortización en un plazo de 8 años con pagos cuatrimestrales de Q. 207 500,00 y anuales de Q. 622 500,00.

Tabla XIII. Programa del financiamiento del préstamo

QUETZALES (Q. /000`s)

| Pago | Fecha | Capital inicial | Intereses | Capital amortizado | Capital pendiente | Amortización anual de capital | Pago anual de intereses |
|--------------|-----------|-----------------|-----------------|--------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| -3 | 31-ene-13 | 5 000,00 | 226,67 | - | | | |
| -2 | 31-may-13 | - | 226,67 | - | | | |
| -1 | 30-sep-13 | - | 226,67 | - | | Intereses durante la construcción = | 680,00 |
| 1 | 31-ene-14 | 5 000,00 | 226,67 | 208,33 | 4 791,67 | | |
| 2 | 31-may-14 | 4 791,67 | 217,22 | 208,33 | 4 583,33 | | |
| 3 | 30-sep-14 | 4 583,33 | 207,78 | 208,33 | 4 375,00 | 625,00 | 651,66 |
| 4 | 31-ene-15 | 4 375,00 | 198,33 | 208,33 | 4 166,67 | | |
| 5 | 31-may-15 | 4 166,67 | 188,89 | 208,33 | 3 958,33 | | |
| 6 | 30-sep-15 | 3 958,33 | 179,44 | 208,33 | 3 750,00 | 625,00 | 566,66 |
| 7 | 31-ene-16 | 3 750,00 | 170,00 | 208,33 | 3 541,67 | | |
| 8 | 31-may-16 | 3 541,67 | 160,55 | 208,33 | 3 333,33 | | |
| 9 | 30-sep-16 | 3 333,33 | 151,11 | 208,33 | 3 125,00 | 625,00 | 481,66 |
| 10 | 31-ene-17 | 3 125,00 | 141,67 | 208,33 | 2 916,67 | | |
| 11 | 31-may-17 | 2 916,67 | 132,22 | 208,33 | 2 708,33 | | |
| 12 | 30-sep-17 | 2 708,33 | 122,78 | 208,33 | 2 500,00 | 625,00 | 396,66 |
| 13 | 31-ene-18 | 2 500,00 | 113,33 | 208,33 | 2 291,67 | | |
| 14 | 31-may-18 | 2 291,67 | 103,89 | 208,33 | 2 083,33 | | |
| 15 | 30-sep-18 | 2 083,33 | 94,44 | 208,33 | 1 875,00 | 625,00 | 311,66 |
| 16 | 31-ene-19 | 1 875,00 | 85,00 | 208,33 | 1 666,67 | | |
| 17 | 31-may-19 | 1 666,67 | 75,56 | 208,33 | 1 458,33 | | |
| 18 | 30-sep-19 | 1 458,33 | 66,11 | 208,33 | 1 250,00 | 625,00 | 226,67 |
| 19 | 31-ene-20 | 1 250,00 | 56,67 | 208,33 | 1 041,67 | | |
| 20 | 31-may-20 | 1 041,67 | 47,22 | 208,33 | 833,33 | | |
| 21 | 30-sep-20 | 833,33 | 37,78 | 208,33 | 625,00 | 625,00 | 141,67 |
| 22 | 31-ene-21 | 625,00 | 28,33 | 208,33 | 416,67 | | |
| 23 | 31-may-21 | 416,67 | 18,89 | 208,33 | 208,33 | | |
| 24 | 30-sep-21 | 208,33 | 9,44 | 208,33 | - | 625,00 | 56,67 |
| TOTAL | | | 3 513,31 | 5 000,00 | | 5 000,00 | 3 513,31 |

Fuente: elaboración propia.

Los intereses a una tasa de 13,60 por ciento anual, se aplican sobre los saldos de capital pendiente de pago e incluye un total de Q. 677 280,00, que corresponden a intereses durante la construcción, considerando un año de gracia.

4.3.3.2. Costos de operación y mantenimiento

Los sistemas de generación a través de energías renovables se caracterizan por requerir de una alta inversión inicial, y un bajo costo de operación y mantenimiento ya que el recurso energético que alimenta es un recurso natural renovable.

Buena parte de los costos de operación y mantenimiento se encuentran incluidos en la inversión de los derechos de licencia de *Aperture*, siempre existen costos que son independientes a la producción de energía tales como: mantenimiento de obras e instalaciones, administración y seguros, costos variables de operación y mantenimiento, estos referentes a los gastos directos de la planta generadora. Se deben tomar en cuenta los intereses de financiamiento por el préstamo bancario.

Entre los gastos administrativos, que se encuentran en el rubro de la inversión, se debe tomar en cuenta los gastos de seguro por generación, planilla por personal administrativo, jefaturas y operativos de la planta y trabajadores de servicio para la limpieza y operación de edificio, los cuales se encuentran desglosados en la tabla XIII.

Tabla XIV. **Proyección gastos de planilla**

| Descripción | Cantidad | Salario mensual (Q) | Salario anual (Q) | Salario anual (US\$) |
|--------------------------------|----------|---------------------|-------------------|----------------------|
| Gerente de planta | 1 | 12 000 | 192 000 | 24 000 |
| Jefe adm. comercial, finanz. | 1 | 8 000 | 128 000 | 16 000 |
| Jefe de oper y mantto. | 1 | 8 000 | 128 000 | 16 000 |
| Asist. adm comercial, y finanz | 1 | 5 000 | 80 000 | 10 000 |
| Operador de planta | 1 | 3 500 | 56 000 | 7 000 |
| Mecánico electricista | 1 | 3 500 | 56 000 | 7 000 |
| Secretaria asistente | 1 | 3 000 | 48 000 | 6 000 |
| Trabajador de servicios | 1 | 2 500 | 40 000 | 5 000 |
| Totales | 8 | 4 500 | 728 000 | 91 000 |

Fuente: elaboración propia.

Los ingresos de operación que recibirá la central generadora son por la venta de energía eléctrica y certificados de reducción de emisiones CER's. Las proyecciones de los ingresos por venta de energía eléctrica se han formulado considerando la generación anual de electricidad en un periodo de 10 años (2013 - 2022). El precio al que se venderá la energía producida se ha establecido en US\$ 113 por mega watt, que es el precio promedio o máximo de oferta a que el INDE compra la energía. (Informe INDE noviembre 2013). Tomando el tipo de cambio promedio de Q. 8,00 / US\$, el precio es Q. 0,904.00 por kilo watt hora, más el impuesto al valor agregado IVA, de acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 10, Decreto 27-92 del Congreso de la República de Guatemala y sus reformas.

En la tabla XIV, se desglosa los rubros de operación y mantenimiento para el funcionamiento de la planta de generación con el sistema *Aperture Engine*:

Tabla XV. **Costos y gastos de operación, mantenimiento y financieros proyectados, período 2013-2022**

QUETZALES (Q. / 000`S)

| CUENTA | Año | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 2 013 | 2 014 | 2 015 | 2 016 | 2 017 | 2 018 | 2 019 | 2 020 | 2 021 | 2 022 | |
| Gastos de operación y mantenimiento* | | | | | | | | | | | |
| Mantenimiento de obras e instalaciones | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 |
| Administración y seguros | 125,6 | 125,6 | 125,6 | 125,6 | 125,6 | 125,6 | 125,6 | 125,6 | 125,6 | 125,6 | 125,6 |
| Costos variables de operación y mantenimiento | 40,6 | 40,6 | 40,6 | 40,6 | 40,6 | 40,6 | 40,6 | 40,6 | 40,6 | 40,6 | 40,6 |
| Otros gastos de operación | 127 | 127 | 127 | 127 | 127 | 127 | 127 | 127 | 127 | 127 | 127 |
| Amortización de costos de desarrollo | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | | | | | | |
| Depreciación de activos de generación | 295,3 | 295,3 | 295,3 | 295,3 | 295,3 | 295,3 | 295,3 | 295,3 | 295,3 | 295,3 | 295,3 |
| Subtotales | 748,7 | 748,7 | 748,7 | 748,7 | 748,7 | 618,7 | 618,7 | 618,7 | 618,7 | 618,7 | 618,7 |
| Gastos financieros | | | | | | | | | | | |
| Intereses del préstamo bancario | 651,66 | 566,66 | 481,66 | 396,66 | 311,66 | 226,67 | 141,67 | 56,67 | 0 | 0 | 0 |
| Total de costos y gastos | 1 400,36 | 1 315,36 | 1 230,36 | 1 145,36 | 1 060,36 | 845,37 | 760,37 | 675,37 | 618,70 | 618,70 | 618,70 |

* No incluye costos de interconexión al sistema de distribución nacional.

Fuente: elaboración propia.

Los estándares de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmosfera establecidos por el protocolo de Kyoto crean el mercado de carbono, a través del cual los países comprometidos a reducir las emisiones, compran bonos que emiten empresas que reducen la emisión de contaminantes en países subdesarrollados. El valor de la tonelada de dióxido de carbono (CO₂) que se evita producir, se vende a un costo mínimo de US\$ 3,50⁸ , alrededor de entre Q. 28,00.

Por lo tanto, en el primer año de operaciones de *Aperture*, la producción de energía eléctrica alcanzará 7 446 mega watt hora, equivalentes a 7 446 giga watt hora; al incorporar el dato de que, por cada giga watt hora generado se evita las emisiones al aire de 270 toneladas de dióxido de carbono⁹, se tiene entonces un total de toneladas 2 010,42 de dióxido de carbono evitadas, con un ingreso adicional mínimo de Q. 56 292,00 durante el primer año. Para la proyección de generación de los próximos años se considera un crecimiento de la demanda anual en Guatemala de 3 por ciento¹⁰ la cual aplica en los ingresos de venta como en las certificaciones de dióxido de carbono en el proyecto *Aperture engine*.

⁸Fuente: los créditos de carbono surgen en el ámbito mundial como una vía complementaria, alternativa y económicamente viable al compromiso asumido por muchos países, empresas e individuos para disminuir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero (GEI), una de las principales causas del cambio climático que está sufriendo el planeta. Los créditos de carbono se definen genéricamente como el instrumento por medio del cual se negocian e intercambian unidades representativas de derechos de emisión de GEI entre gobiernos, corporaciones privadas, organismos internacionales, *brokers*, bancos e individuos. Desde el punto de vista ambiental los mercados de carbono son de dimensiones globales e interés universal y los permisos o créditos que se comercializan en ellos son conocidos como "*commodities*".

⁹ Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Situación del Sector Eléctrico de Guatemala, mayo 2006. p. 21.

¹⁰ Informe estadístico CNEE, 2013, para el periodo 2011 –2012.

Tabla XVI. Ingresos por venta de energía y CER's, período 2013-2022

Quetzales (Q. /000's)

| CUENTA | Año | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Ingresos | | | | | | | | | | |
| Venta de energía [MWh] | 7 446 | 7 669 | 7 899 | 8 136 | 8 380 | 8 631 | 8 889 | 9 156 | 9 431 | 9 714 |
| Precio Q. / 000's / MWh | 0,904 | 0,904 | 0,904 | 0,904 | 0,904 | 0,904 | 0,904 | 0,904 | 0,904 | 0,904 |
| Subtotal por venta de energía | 6 731,18 | 6 932,78 | 7 140,70 | 7 354,94 | 7 575,52 | 7 802,42 | 8 035,66 | 8 277,02 | 8 525,62 | 8 781,46 |
| Otros ingresos | | | | | | | | | | |
| Producción de energía [MWh] | 7 446 | 7 669 | 7 899 | 8 136 | 8 380 | 8 631 | 8 889 | 9 156 | 9 431 | 9 714 |
| Toneladas métricas de CO ₂ evitadas | 2 010 | 2 070 | 2 133 | 2 197 | 2 263 | 2 330 | 2 400 | 2 472 | 2 546 | 2 622 |
| Precio Q / 000's / Tm | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 |
| Subtotal por venta de CER's | 56,29 | 57,96 | 59,72 | 61,52 | 63,36 | 65,24 | 67,20 | 69,22 | 71,29 | 73,42 |
| Total Ingresos | 6 787,48 | 6 990,74 | 7 200,42 | 7 416,46 | 7 638,88 | 7 867,66 | 8 102,86 | 8 346,24 | 8 596,91 | 8 854,88 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Estado de resultados proyectados, período 2013-2022**

Quetzales (Q. / 000's)

| CUENTA | Año | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Ingresos de operación | 6 787,48 | 6 990,74 | 7 200,42 | 7 416,46 | 7 638,88 | 7 867,66 | 8 102,86 | 8 346,24 | 8 596,91 | 8 854,88 |
| Gastos de operación y mantenimiento | 748,70 | 748,70 | 748,70 | 748,70 | 748,70 | 618,70 | 618,70 | 618,70 | 618,70 | 618,70 |
| Utilidad antes del intereses e impuestos | 6 038,78 | 6 242,04 | 6 451,72 | 6,667,76 | 6 890,18 | 7 248,96 | 7 484,16 | 7 727,54 | 7 978,21 | 8 236,18 |
| Gastos financieros | 651,66 | 566,66 | 481,66 | 396,66 | 311,66 | 226,67 | 141,67 | 56,67 | - | - |
| Utilidad antes de impuesto | 5 387,11 | 5 675,38 | 5 970,06 | 6,271,10 | 6 578,52 | 7 022,29 | 7 342,49 | 7 670,87 | 7 978,21 | 8 236,18 |
| Impuesto sobre la renta (exento, dto. 52-2003) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Utilidad neta | 5 387,11 | 5 675,38 | 5 970,06 | 6 271,10 | 6 578,52 | 7 022,29 | 7 342,49 | 7 670,87 | 7 978,21 | 8 236,18 |

Fuente: elaboración propia.

El estado de resultados muestra el movimiento de pérdidas y ganancias obtenidas a partir del desarrollo de la actividad de generación en un plazo determinado, el que normalmente es de un año. Sin embargo, en este caso se ha estructurado una estimación de las principales cuentas, reflejando los ingresos, gastos, pérdidas y beneficios obtenidos durante los primeros 10 años de operación, ver tabla XVI.

4.3.3.3. Generación y tarifa final

Las proyecciones de los ingresos por venta de energía eléctrica se han formulado considerando la generación anual de electricidad (7 446 mega watt

hora al año). El precio al que se venderá la energía producida se ha establecido según el precio promedio máximo de oferta, establecido por INDE, en compra de energía eléctrica que es de US\$ 113,00 por mega watt hora por un tipo de cambio promedio de Q. 8,00/ US\$, el precio final de venta es de Q 904,00 por mega watt hora.

Para el cálculo de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) se ha tomado el método de evaluaciones económicas para proyectos de inversión de desarrollo sostenible, en donde se tiene una tasa de descuento anual para proyectos de generación de energía eléctrica y mitigación del cambio climático, en este estudio para un proyecto de inversión entre 6 a 10 años su tasa será de 15 por ciento.

Con los datos obtenidos anteriormente se obtienen los siguientes indicadores financieros:

| | |
|----------------------|--------------|
| TIR | 12,35532 % |
| VAN | 2 241 343,72 |
| VPN | -377 944,28 |
| Tasa descuento anual | 15 % |

4.3.4. Aspectos ambientales

La realización de un estudio de generación de energía eléctrica, crea un impacto sobre el medio ambiente, estos son muy importantes para determinar la viabilidad del proyecto. Es indispensable describirlos en conjunto porque interfieren cómo los sistemas constructivos y técnicos, culturales y socioeconómicos.

El proyecto del sistema *Aperture Engine*, durante su construcción y operación puede generar una serie de impactos ambientales en el área donde se desarrollará, algunos evaluados como negativos y también con impactos positivos tales como la evolución que este tipo de generación de energía puede llegar a desarrollar tanto a nivel tecnológico como ambiental.

4.3.4.1. Efectos del uso

Con la instalación de una generadora eléctrica se tendrán efectos sociales, económicos y culturales, ya que se obtendrían nuevos empleos, actividad económica y opción a nuevos proyectos industriales, comerciales y turísticos. Se tendría el beneficio de energía eléctrica ilimitada entre los usuarios del sector con bajos costos y visión de ampliación de cobertura entre las comunidades vecinas.

A nivel operativo se tendría el manejo y circulación de efectivo en el área, movilidad de recursos alimenticios y convertirse en un sector metropolitano en costas marítimas.

4.3.4.2. Modificaciones del entorno

Los valores recreativos y paisajísticos del área directamente afectada por las obras y componentes de la central generadora permanecerán intactos dada la magnitud e importancia de las obras. Potencialmente la construcción del área de máquinas se tiene la opción que sea subterráneo (sótano) o bien una bodega no mayor de 21 metros cuadrados por módulo *Aperture*; el canal de conducción de potencia va enterrado a una profundidad mínima de 2 metros para tener acceso a cualquier reparación o mantenimiento preventivo.

Se tendría a futuro un incremento de viviendas y los servicios de salud, educación, agua potable, alcantarillado y otros. La construcción de nuevas carreteras con acceso a las comunidades y a la central generadora.

4.3.4.3. Impacto en el entorno social

Los principales aportes del proyecto *Aperture* se basan en la seguridad energética continua e ilimitada, debido a la creciente demanda de energía eléctrica lo cual requiere aumentar la capacidad de generación.

Su implementación tendrá un impacto positivo en la generación de empleo a nivel local y nacional, tanto en su etapa constructiva como en la operación posterior, induciendo localmente al desarrollo de la sociedad. Incrementará la calidad y continuidad del servicio eléctrico ante eventuales incidencias de fallas de las redes de transmisión que alimentan la zona de influencia.

El desarrollo de un proyecto como el propuesto en una zona del país con menor grado de desarrollo relativo tiene un valor en sí mismo. La alta concentración de la actividad económica en la capital está en la raíz de los principales problemas sociales que enfrenta el país. Este proyecto da una contribución a la reversión de ese proceso.

4.3.4.4. Impacto de ruido y visual

Debido a los tipos de materiales a los cuales puede estar sujeta su estructura (madera o plástico) no provoca fricciones entre sus partes por lo que no genera ruidos o vibraciones que pueden ser molestas para el oído humano.

Visualmente *Aperture* puede ser instalado en sótanos o dentro de edificios ya que no requiere de gigantescas estructuras que afecten al paisaje. Su conexión con el mar es por medio de una tubería a baja presión la cual puede ser subterránea, evitando así la obstaculización en las playas.

4.4. Análisis FODA del proyecto *Aperture Engine*

El siguiente análisis se basa en el FODA del sistema *Aperture Engine*.

Fortalezas

- Admite fabricaciones en serie. Reduce tiempo y costo de manufactura de los módulos *Aperture*.
- Alto aprovechamiento hidroeléctrico, ya que se encuentra disponible sin importar clima y época del año.
- Sistema silencioso y sin emisiones de gases a la atmósfera.
- Costos de materia prima muy bajos.
- Costo de combustible nulo.
- Larga vida útil.
- Exclusividad en nueva tecnología renovable.
- Bajo costo de distribución y producción.
- Escaso impacto ambiental en comparación con otras tecnologías.
- Tecnología avanzada para la implantación de sistemas mareomotrices y aprovechamiento de las ventajas de las redes débiles de distribución eléctrica (bajo voltaje).

Oportunidades

- Generación de energía mareomotriz pendiente de explotación hidroeléctrica.
- Aprovechamiento de combustible mareomotriz alto.
- Obtención de certificados verdes.
- Leyes del país con iniciativas a nuevas tecnologías renovables.
- Impuestos exentos durante varios años.
- El déficit de energía eléctrica en el país.
- Tamaño del mercado.
- Rentabilidad industrial.
- Flexibilidad de procesos.
- Nueva tecnología.
- Utilización de sistema *Aperture engine* para el abastecimiento de sectores energéticos aislados.
- Energía limpia y prácticamente inagotable.

Debilidades

- Inversión inicial relativamente alta.
- Falta de finalización de estudios y pruebas sobre el sistema *Aperture engine*.
- Deficiente calidad de redes de transporte y distribución eléctrica en algunas zonas del país como mercados potenciales.
- Falta de publicación de estudios e información estadística del sistema *Aperture engine*.
- Tiempo de promoción muy largo.

- Incertidumbre, ya que no existe demasiado conocimiento sobre esta tecnología.
- Solo es viable en costas.

Amenazas

- Excesiva burocracia en las concesiones de playas, agua y demás tramitación para la puesta en marcha de las instalaciones.
- Obligatoriedad de estudio de impacto ambiental para todas las instalaciones, independiente de su potencia.
- Nuevos competidores en otras tecnologías renovables.
- Excesiva presión de ciertos grupos ecologistas para la consecución de licencias de obra y permisos por parte de las municipalidades.
- No existen criterios científicos en el establecimiento de medidas correctoras para la disminución de impactos ambientales.
- Traslado de energía muy costoso, en general.

4.4.1. Estrategias FODA

Los principales aspectos estratégicos del sistema *Aperture engine* son:

Promocionar la creación de plantas generadoras por medio del sistema *Aperture engine*, para cubrir el déficit del país, por medio de la búsqueda de inversionistas dispuestos a ejecutar nuevas tecnologías renovables con altos niveles de rentabilidad. En donde se deberá realizar la construcción de la infraestructura de la planta, incentivar el desarrollo, estudios e investigaciones del sistema *Aperture engine*, salarios y administración del personal técnico para la planta generadora.

Crear una infraestructura organizacional en conjunto con la operación, investigación y desarrollo del sistema *Aperture engine* con la planta generadora con el fin de aprovechar el tamaño actual de mercado y así obtener la mayor rentabilidad posible para que sea más atractivo a futuros socios.

Aprovechamiento de las leyes e incentivos que se tienen para la implementación de nueva generación de energías renovables, obtener la mayor cantidad de ingresos por ventas de certificados ambientales.

El problema que se tiene por la incertidumbre que crea una nueva tecnología se debe trabajar en la demostración de la eficiencia que tiene el sistema *Aperture*, ya que cuenta con certificaciones nacionales e internacionales que respaldan la nueva tecnología.

Aprovechamiento al escaso impacto ambiental que genera el sistema *Aperture* con bajos niveles de ruido, reducción de gases en la atmosfera y visualmente puede ser adaptado a playas turísticas sin daño a otros ecosistemas, ya sea aéreos, marinos y terrestres, por lo que se considera amigable con el medio ambiente.

Costos relativamente bajos de materias primas, operación y mantenimiento, con recuperación de inversión en pocos años obteniendo utilidades altas desde los primeros años de operación.

5. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL PROYECTO *APERTURE ENGINE* COMO INSTRUMENTO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

5.1. Evaluación cualitativa

La mayoría de las definiciones de evaluaciones por medio de indicadores de desarrollo sostenible e indicadores ambientales descartan la posibilidad de indicadores cualitativos, al limitar explícita o implícitamente, el concepto de indicadores a variables numéricas, se mantiene que una de las funciones de los indicadores es calificar las cualidades del proyecto, porque al principio el indicador puede llegar a ser una variable cualitativa; estos tipos de indicadores son muy usados en ecología y ambiente, ya que su presencia indica una serie de existencia de condiciones lógicamente rigurosas.

Los indicadores cualitativos pueden ser preferible a los indicadores cuantitativos en mínimo tres casos: cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa; cuando el atributo de interés es no cuantificable (variables de tipo cultural y político); y cuando las condiciones de costos se vuelven determinantes. En este estudio presentado a continuación se evaluarán combinaciones de características cualitativas que ayudan a tener el mejor criterio del proyecto *Aperture Engine*.

5.1.1. Viabilidad económica ambiental

Entre los aspectos viables que posee el sistema *Aperture* está la amplia dispersión geográfica, ya sea en el territorio de Guatemala como en otras

costas del mundo, lo cual puede llegar a favorecer a las áreas menos desarrolladas, ya que una economía que se basa en energías alternativas con un ilimitado recurso combustible será sin duda mucho más segura.

Conociendo las características en conjunto que posee el sistema *Aperture* da un buen margen de probabilidades de llevarse a cabo con éxito, ya que económicamente se ha demostrado que tiene altos índices de utilidad, con una inversión alta que puede recuperarse durante su vida útil, contando además, con factores a favor como los ingresos de certificados de carbono y la exoneración de impuestos por ser un proyecto de generación de energía renovable.

La funcionalidad con la que cuenta el sistema *Aperture* demuestra que ambientalmente es amigable, ya que por las materias primas con las que puede ser construido no generan desgaste excesivo entre ellas, por lo que no emite ruidos al ambiente. Visualmente puede ser instalado subterráneo por lo que no daña los paisajes de las playas las cuales son su punto de instalación; no funciona con un combustible específico más que la fuerza del empuje de las olas del mar, por lo que no emite ningún tipo de gases a la atmosfera.

Estas características en conjunto proyectan la viabilidad económica y ambiental que tendrá el sistema *Aperture*, las cuales son compatibles a las que necesita un proyecto de desarrollo sostenible.

5.1.2. Equidad económica social

El crecimiento económico en un proyecto de inversión es indispensable para que sea atractivo ante futura inversión, pero para que sea sostenible debe llevar consigo un crecimiento social, el cual refleje la mejora de vida y desarrollo

humano que llega a tener un país por dicho proyecto. El sistema *Aperture* tiene una proyección alta de crecimiento económico, lo cual genera inicialmente a su comunidad más cercana un desarrollo social, con aumento de comercio en la zona, generación de empleos principalmente entre los habitantes del lugar, crecimiento urbanístico, atractivas futuras inversiones turísticas y hoteleras para la fomentación turística de las playas de la región.

Se considera que si el progreso técnico de *Aperture* tiene una incorporación cada vez más acelerada, es posible crecer, competir en los mercados internacionales, distribuir mejor la energía eléctrica generada, explotar racionalmente las potencialidades del entorno natural y garantizar la protección del medio ambiente, aspectos en los que las políticas de reestructuración energética del país adquieren especial prioridad.

5.1.3. Soportabilidad socioambiental

El diseño, construcción e implementación de un proyecto como *Aperture*, generará impactos positivos en el área de influencia directa e indirectamente; Entre estos cambios esta la alteración de la cultura de los pobladores en vías a un desarrollo constante, lo que traerá consigo una dinámica poblacional que trabajará en conjunto con los ecosistemas, ya que se comprometerán en un entorno que luchará por la conservación ambiental, con un proyecto que tendrá la mira nacional e internacional del desarrollo que genera para la comunidad.

La equidad socioambiental que traerá *Aperture* se reflejará en el cumplimiento de leyes ambientales y desarrollo social, convirtiendo así a una comunidad rural en una en desarrollo productivo para el país.

5.2. Evaluación cuantitativa

La evaluación cuantitativa corresponde a la utilización de variables numéricas las cuales están ordenadas de manera lineal y al combinarlas nos muestran información cuantitativa, la cual puede llegar a ser medible históricamente para fines comparativos y/o demostrativos en la evolución y justificación del proyecto.

5.2.1. Indicadores energéticos del desarrollo sostenible

Los indicadores son componentes esenciales en la evaluación del progreso hacia el desarrollo sostenible. A nivel operativo un indicador es una variable y una variable es una representación operativa de un atributo (calidad, característica o propiedad) de un sistema.

Las principales funciones de los indicadores sostenibles son:

- Apreciar y evaluar condiciones y tendencias en relación a metas y objetivos
- Permitir una alerta temprana
- Anticipar condiciones y tendencias futuras

Para este estudio se tomarán en cuenta los indicadores energéticos básicos y aplicables a un área rural de la cual se generalizarán las variables y se tomarán en cuenta los valores proporcionados por el sistema de información nacional de Guatemala.

5.2.1.1. Sociales

- SOC1: Educación
- SOC2: Salud
- SOC3: Tecnologías de información y comunicación
- SOC4: Confort y recreación
- SOC5: Porcentaje de viviendas conectadas a una red de energía eléctrica
- SEC6: Porcentaje de viviendas conectadas a un contador de electricidad
- SEC7: Variación en las irregularidades del servicio de energía eléctrica

5.2.1.2. Económicos

- ECO1: Intensidad energética agregada
- ECO2: Elasticidad de la demanda energética respecto al PIB
- ECO3: Dependencia del consumo energético de las importaciones de energía
- ECO4: Consumo eléctrico per cápita
- ECO5: Estructura de la generación eléctrica por energético
- ECO6: Contribución a la reducción de la pobreza
- ECO7: Aumento de productividad
- ECO8: Sostenibilidad económica

5.2.1.3. Ambientales

- AMB1: Emisiones de gases de efecto invernadero per- cápita
- AMB2: Intensidad de emisiones totales respecto al PIB
- AMB3: Emisiones de GEI por unidad de electricidad generada
- AMB4: Certificados de emisiones reducidas (CER's) del sistema *Aperture*

- AMB5: Factor de utilización de las instalaciones energéticas
- AMB6: Factor de pérdida por transporte y distribución de energía
- AMB7: Reducción de emisiones de GEI
- AMB8: Reducción de residuos contaminantes

5.2.2. Metodología y aplicación de indicadores energéticos

Los proyectos de electrificación presentan ciertas particularidades que conllevan una mayor dificultad metodológica a la hora de diseñar la evaluación de los mismos. Los proyectos de electrificación sostenible pretenden tener un impacto positivo sobre la situación social, económica y ambiental de la población beneficiaria, pero no mejoran estos aspectos de manera inmediata y directa.

Una evaluación de impacto busca determinar de forma válida y confiable si un programa o proyecto producirá los efectos deseados en los beneficiarios y si la causa de dichos efectos es realmente atribuible a la implementación del programa o proyecto. Además, estas evaluaciones permiten observar resultados y efectos no previstos, tanto positivos como negativos.

Para que una evaluación de impacto tenga la calidad y la consistencia necesarias, se debe definir una serie de indicadores que le permitan analizar, por un lado cómo afecta el proyecto a los beneficiarios, por lo que se ha realizado una metodología la cual consiste en definir y seleccionar indicadores planteados por organizaciones que buscan el desarrollo sostenible a nivel mundial y por el otro que dichos indicadores sean aplicados de forma concreta al sistema *Aperture* y su evaluación expuesta en los capítulos anteriores.

SOC1: educación

Índice de origen de Manual de Banco Mundial, se evalúa de forma afirmativa o negativa en base a criterio y observación las siguientes características:

- Mejora en el estudio de los alumnos (aumento del tiempo de estudio).
- Mejora de los centros educativos (iluminación, uso de equipos eléctricos didácticos).
- Mejora en rendimiento académico.
- Aumento de alfabetismo en adultos.
- Mejora en condiciones de los docentes (aumento de formación posibilitado por la energía eléctrica).

SOC2: salud

Índice de origen de Manual de Banco Mundial, se evalúa de forma afirmativa o negativa con base en criterio y observación las siguientes características:

- Mejora en los servicios sanitarios (iluminación, utilización de nuevos equipos eléctricos, conservación de medicamentos y vacunas).
- Aumento en la atención nocturna .
- Mejora de las condiciones del personal del campo de salud (aumento de tiempo de formación posibilitado por energía eléctrica).
- Mejoras en salud del hogar (disminución de afecciones oculares y respiratorias, reducción de accidentes producidos por mecheros o velas).

SOC3: tecnologías de información y comunicación

Índice de origen Manual de Banco Mundial, se evalúa de forma afirmativa o negativa con base en el criterio y observación las siguientes características:

- Mayor acceso a información exterior (uso de televisión, radio, internet)
- Aumento de posibilidades de comunicación (acceso a teléfono, computadoras)

SOC4: confort y recreación

Índice de origen Manual de Banco Mundial, se evalúa de forma afirmativa o negativa con base a criterio y observación las siguientes características:

- Penetración del servicio eléctrico (porcentaje de familias con acceso a electricidad, potencia y consumo de electricidad por familias).
- Mejora de confort en la vivienda (focos para iluminación, refrigeración de alimentos, uso de electrodomésticos, computadoras, celulares).
- Percepción en la mejora del nivel de vida.

SOC5: porcentaje de viviendas conectadas a una red de energía eléctrica

Índice con información de origen de Instituto Nacional de Estadística, INE, se evalúa el porcentaje de cobertura de la actual red de distribución eléctrica o bien el porcentaje de viviendas que pueden tener cobertura con el sistema *Aperture*. Se interpreta como opción a demanda.

SEC6: porcentaje de viviendas conectadas a un contador de electricidad

Índice energético con información de origen de Instituto Nacional de Estadística, INE, se estima el porcentaje de viviendas que tienen conexión legal y directa a la red de distribución y la cantidad de viviendas que pueden tener acceso a una red de distribución con conexión de energía renovable y a baja tarifa.

SEC7: variación en las irregularidades del servicio de energía eléctrica

Índice con información de origen de Instituto Nacional de Estadística, INE, se evalúan las irregularidades que tiene el usuario durante un mes en el servicio de distribución de energía eléctrica en el país durante el período de un año. Se interpreta como la variación constante en la falta de energía eléctrica en ciertos días del año debido a las altas demandas y desestabilizadas en el servicio que se presta actualmente, teniendo oportunidad de mejora con el sistema *Aperture*.

ECO1: intensidad energética agregada

Es la relación entre el consumo de energía y el producto interno bruto. El PIB puede ser calculado a valores constantes con un año base determinado o valores corrientes. Cabe indicar que para efecto de comparación entre países, es preferible referir el cálculo del PIB a valores constantes tomando como base un año común. El consumo energético se calcula mediante el consumo final de la energía primaria más lo que entra a los centros de transformación. Este indicador permite realizar previsiones del impacto energético y ambiental que causaría el crecimiento de la economía de un país.

Aunque la energía es esencial para el desarrollo económico y social de un país, el elevado consumo de energías fósiles, representa también un alto grado de contaminación ambiental, por lo que es necesario implantar programas de eficiencia energética y tratar de desvincular el crecimiento económico con el aumento en el consumo energético.

$$IE_i = \frac{CE_i}{PIB_i}$$

Donde:

IE_i = intensidad energética agregada en el año i (KW/103 US\$)

CE_i = consumo energético total expresado en unidades calóricas

PIB_i = PIB total (US\$)

ECO₂: elasticidad de la demanda energética respecto al PIB

Se define como la relación entre la tasa de variación de la demanda energética, respecto a la tasa de variación del PIB. Este indicador permite identificar el grado de estabilidad que tiene el sector energético, respecto a variaciones en las condiciones económicas del país.

Un índice alto de elasticidad, indica que pequeñas variaciones en el ingreso nacional del país producirán grandes variaciones en la demanda de energía, mientras que un índice pequeño de elasticidad, indica que la demanda de energía es un parámetro rígido respecto a la variación del ingreso. Con el mismo criterio expresado en el indicador de intensidad energética, ambientalmente conviene un índice bajo de elasticidad de la demanda respecto al PIB. Para el análisis de un intervalo de dos períodos consecutivos, la ecuación simplificada de la elasticidad demanda energética-PIB es la siguiente:

$$ED_i = \frac{\frac{D_i}{D_{i-1}} - 1}{\frac{PIB_i}{PIB_{i-1}} - 1}$$

Donde:

EDi = elasticidad demanda energética – PIB (a dimensional)

Di = demanda energética del período i

Di-1 =demanda energética del período i-1

PIBi = PIB del período i (US\$)

PIBi-1 = PIB del período i-1 (US\$)

ECO3: dependencia del consumo energético de las importaciones de energía

Es la relación entre el volumen de importaciones netas de energía respecto al consumo total interno de energía, expresada en porcentaje. Este indicador sirve para medir el grado de participación que tienen las importaciones netas de energía, en el abastecimiento interno del país.

$$DIE_i = \frac{IMP_i - EXP_i}{CE_i} * 100$$

Donde:

DIEi = dependencia del consumo energético de las importaciones energéticas para el período i (%).

IMPi = volumen de importación total de energía para el período i.

EXPi = volumen de exportación total de energía para el período i.

CEi = consumo energético total interno para el período i

ECO4: consumo eléctrico per cápita

Es la división del consumo de energía eléctrica total del país entre la población. En forma similar al indicador anterior, tradicionalmente es aplicado para medir el grado de desarrollo industrial del país y el nivel de vida de los habitantes. Sin embargo, no se debe olvidar que es también una medida de la presión que ejerce la población sobre el medio ambiente.

$$CELPC_i = \frac{CEL_i}{POB_i}$$

Donde:

CELPCi = consumo eléctrico per cápita para el período i (Kwh/hab)

CELi = consumo eléctrico total en el período i (GWh)

POBi = población del país en el período i (10^6 hab)

ECO5: estructura de la generación eléctrica por energético

Es el porcentaje que representa la generación de electricidad por cada energético utilizado como fuente en las centrales eléctricas, respecto a la generación total de electricidad. Como centrales eléctricas, se consideran tanto las de servicio público como las de auto productores.

Este indicador permite prever la demanda de fuentes energéticas para el abastecimiento eléctrico y proporciona un parámetro de medición del nivel de aprovechamiento de los recursos renovables del país. Se puede también obtener mediante este indicador, en combinación con factores de emisiones, una medida del impacto ambiental del sector eléctrico.

$$PGEE_{ik} = \frac{GEE_{ik}}{GET_i} * 100$$

Donde:

PGEE_{ik} = porcentaje de participación del energético k en la generación de electricidad para el período i (%)

GEE_{ik} = generación de electricidad a partir del energético k en el período i (GWh)

GET_i = generación total de electricidad en el período i (GWh)

ECO6: contribución a la reducción de la pobreza

Índice de origen Manual de Banco Mundial, se evalúa la forma de beneficio (directo o indirecto) entre la comunidad con base al criterio y observación de las siguientes características:

- Contribución en el alivio de la pobreza (cantidad de empleados en la central, sueldo de los empleados, beneficios por tarifas).
- Diferencia de costo energético por sustitución (reducción de gasto energético por combustibles, gasto por tarifa eléctrica).

ECO7: aumento de productividad

Índice de origen en el Manual de Banco Mundial, se evalúa la forma de beneficio altos, medios o bajos entre la comunidad con base al criterio y observación de las siguientes características:

- Rentabilidad económica de aplicaciones productivas proyectadas (nivel de beneficios generados por la aplicación productiva, nivel de consumo nocturno de energía eléctrica).
- Negocios y aplicaciones productivas creados no proyectados (negocios creados en la implementación de la planta, negocios mejorados gracias a la implementación de energía eléctrica, tipos de aplicación y organización).

ECO8: sostenibilidad económica

Índice de origen en el Manual de Banco Mundial, se evalúa si se generará a futuro, con el proyecto *Aperture*, la existencia de sostenibilidad con base en el criterio y observación de las siguientes características:

- Sostenibilidad económica (existencia de consumo subsidiado).
- Apropiación por parte de la comunidad (porcentaje de costo del proyecto aportado a la comunidad, porcentaje de familias que participaron en la construcción del proyecto).
- Sostenibilidad técnica (estado de las instalaciones, nivel de formación de los encargados de la planta, interrupciones en el servicio, gastos extraordinarios de mantenimiento).

AMB1: emisiones de gases de efecto invernadero per- cápita

Es la división del volumen total de emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el sector energético, entre la población. El indicador permite realizar previsiones de incremento del impacto ambiental en función del crecimiento demográfico del país.

$$GEIPC_i = \frac{GEI_i}{POB_i}$$

Donde:

GEIPC_i = emisión per cápita de gases de efecto invernadero en el período i (Ton/hab).

GEI_i = emisión de gases de efecto invernadero en el período i (ton).

POB_i = población en el período i (hab).

AMB2: intensidad de emisiones totales respecto al PIB

Es la división del volumen total de emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el sector energético, para el PIB, el cual puede ser calculado a valores corrientes o a valores constantes para un año base determinado. El indicador permite medir el impacto ambiental del desarrollo económico del país.

$$IEGEI_i = \frac{GEI_i}{PIB_i}$$

Donde:

IEGEI_i = intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en el período i (Ton/US\$)

GEI_i = emisión de gases de efecto invernadero en el período i (Ton)

PIB_i = Producto Interno Bruto en el período i (US\$)

AMB3: emisiones de GEI por unidad de electricidad generada

Es la división del volumen total de emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el sector eléctrico, entre la generación total de electricidad. El indicador permite medir unitariamente el impacto ambiental por cada giga watt hora de electricidad generada. Este indicador puede ser mitigado mediante el mayor aprovechamiento de las fuentes de energía renovable o limpia en la generación eléctrica.

$$GEIGE_i = \frac{GEI_i}{GET_i}$$

Donde:

GEIGE_i = emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de generación eléctrica en el período *i* (ton/GWh.).

GEI_i = emisión de gases de efecto invernadero en el período *i* (ton).

GET_i = generación eléctrica total en el período *i* (GWh).

AMB4: certificados de emisiones reducidas (CER's) del sistema *Aperture engine*

Este índice tiene su origen en las conferencias y reuniones internacionales de desarrollo sostenible de las cuales es necesario conocer y calcular la cantidad de toneladas de CO₂ o GEI, se emite a la atmosfera. Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO₂ equivalente, y se traducen en certificados de emisiones reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera.

Es equivalente a la reducción de 270 toneladas de CO₂ por cada GWh producido por generación de energía renovable, y cada tonelada equivale a 1 tonelada de CO₂ removida de la atmósfera y corresponde a 1 certificado de emisiones reducidas (CER´s)

AMB5: factor de utilización de las instalaciones energéticas

Este indicador es llamado también factor de planta o factor de capacidad y su formulación depende de la actividad de la cadena energética y de los energéticos con la que esté relacionada la instalación. En el caso particular de las centrales eléctricas, el factor de capacidad se calcula dividiendo la generación neta de electricidad en un período de tiempo entre la capacidad máxima de generación en ese mismo período. La capacidad máxima de generación es el producto de la potencia instalada por el número de horas contenido.

Este factor ya fue calculado en el capítulo 4, (ver página 146). Este indicador permite visualizar el porcentaje de la infraestructura energética del país que permanece ociosa. Si bien un factor de capacidad pequeño, puede significar una situación favorable de seguridad energética a largo plazo, no hay que perder de vista las consecuencias negativas que tiene la sobre inversión y el estancamiento de recursos económicos

AMB6: factor de pérdida por transporte y distribución de energía

Es la relación entre el total de energía perdida en las instalaciones de transporte y distribución, y la oferta total de energía tanto primaria como secundaria.

Las pérdidas se pueden conceptualizar como la diferencia entre la cantidad de energía que es entregada a las instalaciones de transporte y distribución y la energía que llega efectivamente a los centros de consumo final.

En el caso específico del sector eléctrico, las pérdidas en los sistemas de transmisión y distribución, se clasifican en pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas. Las pérdidas técnicas son las ocasionadas por las propiedades físicas de los equipos eléctricos, mientras que las no técnicas están relacionadas con errores de medición, errores de facturación, robo de energía etc.

Este indicador mide el grado de desarrollo del sector energético, ya que uno de los principales objetivos que se persigue mediante los planes de expansión y modernización, es reducir al máximo este factor.

$$FPE_i = \frac{PTD_i}{OTE_i} * 100$$

Donde:

FPE_i = factor de pérdidas de energía en transporte y distribución en el período i (%)

PTD_i = pérdidas totales de energía en transporte y distribución en el período i

OTE_i = oferta total de energía en el período i

AMB7: reducción de emisiones de GEI

Índice de origen en el Manual de Banco Mundial, se evalúa de forma afirmativa o negativa en base a criterio y observación de las siguientes características:

- Cambios en los consumos energéticos (reducción de consumo de combustibles como querosén, gas y velas).
- Diferencia en el consumo de energía eléctrica.

AMB8: reducción de residuos contaminantes

Índice de origen en el Manual de Banco Mundial, se evalúa de forma afirmativa o negativa con base al criterio y observación la siguiente característica:

- Diferencia en el consumo de pilas en lámparas manuales y electrodomésticos como la radio.

Tabla XVIII. Resumen de indicadores

| <i>CATEGORÍA DEL INDICADOR</i> | | | <i>ORIGEN DEL</i> | <i>FUENTES DE</i> | <i>Medición</i> |
|--------------------------------|---------------|--|------------------------------|--------------------|-----------------|
| <i>TIPO</i> | <i>Siglas</i> | <i>NOMBRE</i> | <i>INDICADOR</i> | <i>DATOS</i> | |
| Social | SOC1 | Educación | Manual de Banco Mundial | Elaboración propia | Si / No |
| | SOC2 | Salud | Manual de Banco Mundial | Elaboración propia | Si / No |
| | SOC3 | Tecnologías de información y comunicación | Manual de Banco Mundial | Elaboración propia | Si / No |
| | SOC4 | Confort y recreación | Manual de Banco Mundial | Elaboración propia | Si / No |
| | SOC5 | Porcentaje de viviendas conectadas a una red de energía eléctrica | INE, indicadores Energéticos | Informe INE, 2012 | % |
| | SEC6 | porcentaje de viviendas conectadas a un contador de electricidad | INE, indicadores Energéticos | Informe INE, 2012 | % |
| | SEC7 | Variación en las irregularidades del servicio de energía eléctrica | INE, indicadores Energéticos | Informe INE, 2012 | veces / mes |

Continuación de la tabla XVII.

| | | | | | |
|------------------|-------------|--|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Económico | ECO1 | Intensidad energética agregada | indicadores Energéticos OLADE | Informe estadístico CNEE, 2012 | kWh/ US\$ |
| | ECO2 | Elasticidad demanda energética respecto al PIB | indicadores Energéticos OLADE | AMM, 2012 | adimensional |
| Económico | ECO3 | Dependencia del consumo energético de las importaciones de energía | indicadores Energéticos OLADE | CNEE, junio 2012 | % |
| | ECO4 | Consumo eléctrico per cápita | indicadores Energéticos OLADE | Informe estadístico CNEE, 2012 | kWh / hab |
| | ECO5 | Estructura de la generación eléctrica por energético | indicadores Energéticos OLADE | CNEE, junio 2012 | % |
| | ECO6 | Contribución a la reducción de la pobreza | Manual de Banco Mundial | Elaboración propia | Directa / Indirecta |
| | ECO7 | Aumento de productividad | Manual de Banco Mundial | Elaboración propia | Alto/Bajo/Medio |
| | ECO8 | Sostenibilidad económica | Manual de Banco Mundial | Elaboración propia | Si / No |
| Ambiental | AMB1 | Emisiones de gases de efecto invernadero per- cápita | indicadores Energéticos OLADE | MARN, 2012 | ton / hab |
| | AMB2 | Intensidad de emisiones totales respecto al PIB | indicadores Energéticos OLADE | MARN, 2012 | ton / US\$ |
| | AMB3 | Emisiones de GEI por unidad de electricidad Generada | indicadores Energéticos OLADE | MARN, 2012 | ton / GWh |
| | AMB4 | Certificados de emisiones reducidas (CER's) del sistema Aperture | Protocolo de Kyoto | Sistema Aperture | ton / GWh |
| | AMB5 | Factor de utilización de las instalaciones energéticas | indicadores Energéticos OLADE | Sistema Aperture | % |

Continuación de la tabla XVII.

| | | | | | |
|------------------|-------------|--|----------------------------------|---------------------|---------|
| Ambiental | AMB6 | Factor de pérdida por transporte y distribución de energía | indicadores Energéticos OLADE | Sistema Aperture | % |
| | AMB7 | Reducción de emisiones de GEI | Manual de Banco Mundial | Sistema Aperture | Si / No |
| | AMB8 | Reducción de residuos contaminantes | Manual de Banco Mundial | Sistema Aperture | Si / No |

Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Hojas de metodología

Las hojas de metodología sirven para facilitar la descripción completa de cada uno de los indicadores que se utilizan en la evaluación. Son diseñadas con el propósito de proporcionar al usuario todos los datos necesarios para elaborar los indicadores. Contienen los siguientes datos:

- Información básica del indicador, que incluye su definición y unidad de medida, datos o indicadores auxiliares y de donde se deriva el indicador si se tiene la información.
- Descripción de la metodología a utilizar, que incluye las definiciones y los conceptos subyacentes, los sistemas de medición, limitaciones y definiciones alternativas.
- Descripción de la aplicación de los indicadores.
- Relación con el desarrollo sostenible.
- Origen o derivación del indicador a utilizar.
- Área de cálculos o auxiliar.

Las hojas de metodología están diseñadas para ayudar a elaborar indicadores que se adapten a las políticas y a los programas para un desarrollo

sostenible. Las hojas de metodología representan el punto de partida para el proceso de configuración de los índices energéticos y son susceptibles a cambios y mejoras. A continuación se presenta un formato como ejemplo de las hojas de metodologías.

Tabla XIX. **Ejemplo hoja de metodología**

SOC2: porcentaje de ingresos de los hogares dedicado a combustibles y electricidad

| | |
|--|--|
| DEFINICIÓN | Porcentaje de los ingresos disponibles de los hogares o consumo privado, gastado en combustibles y electricidad (en promedio y para el 20 por ciento de la población con menores ingresos). |
| UNIDADES DE MEDICIÓN | Porcentaje (%) |
| INDICADORES AUXILIARES O DERIVADOS | |
| APLICACIÓN | Este indicador corresponde a los gastos globales de energía comercial de los hogares, dividido entre los ingresos totales disponibles o el consumo privado. Se debe obtener el dato del gasto de energía de las encuestas sobre el gasto de los hogares o de la suma de todos los consumos energéticos multiplicados por el precio unitario correspondiente. |
| RELACIÓN CON EL DESARROLLO SOSTENIBLE | Desde el punto de vista del desarrollo sostenible, es importante examinar los ingresos, la riqueza y en particular la equidad de los servicios modernos de abastecimiento de energía para toda la población. |
| ORIGEN DEL INDICADOR | Indicadores Energéticos OLADE |

Fuente: elaboración propia.

5.3. Resultados y estadísticas

La evaluación primaria realizada para el sistema *Aperture Engine* como proyecto de desarrollo sostenible en Guatemala, por medio del método de aplicación de indicadores cualitativos y cuantitativos, se presenta los resultados en la tabla XX.

Tabla XX. **Resultados aplicación de indicadores de desarrollo sostenible**

| CATEGORÍA DEL INDICADOR | | Medición | Resultado | Interpretación |
|-------------------------|--------|---------------------|-----------|--|
| TIPO | Siglas | | | |
| Económico | ECO1 | kWh/ US\$ | 1.093 | con el crecimiento de la economía del país se tendrá un impacto energético del 1,093 kWh por cada dólar |
| | ECO2 | Adimensional | 0.706 | se encuentre entre un índice bajo de elasticidad, indica que la demanda de energía es un parámetro rígido respecto a la variación del ingreso |
| | ECO3 | % | 4.07 | las importaciones netas de energía tienen un grado de participación bajo en el abastecimiento interno del país |
| | ECO4 | kWh / hab | 193,45 | el grado de desarrollo industrial, respecto a la energía eléctrica consumida por habitante, de igual forma representa una presión que la población ejerce sobre el medio ambiente |
| | ECO5 | % | 0.01 | Porcentaje de aportación del sistema Aperture a la generación de energía eléctrica con una planta de 1MW |
| | ECO6 | Directa / Indirecta | Directa | Contribución directa en el alivio de la pobreza con pago directo a empleados del sistema Aperture; reducción de gasto directo de combustibles y tarifa eléctrica |
| | ECO7 | Alto/Bajo/Medio | Medio | Beneficios económicos por aplicaciones productivas durante los horarios nocturnos (comercio, educación, salud, recreación etc.) |
| | ECO8 | Si / No | Si | Existirá sostenibilidad económica directa por parte de la comunidad con subsidios, costos de tarifa eléctrica, sostenibilidad técnica con nuevas aplicaciones tecnológicas en el mercado local |

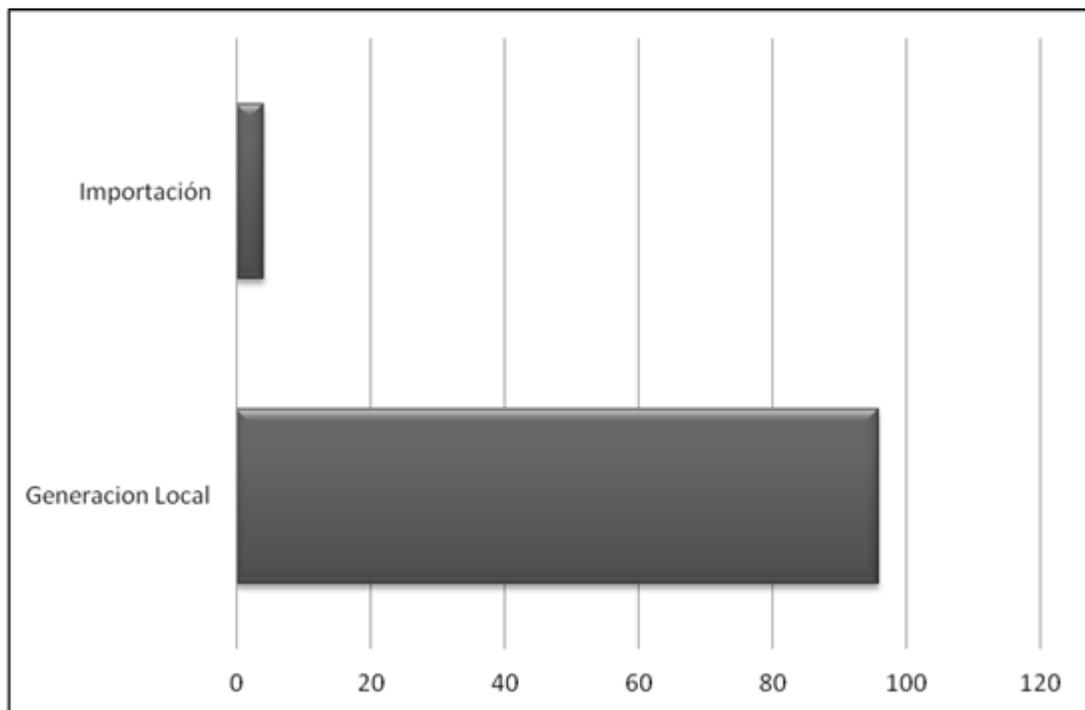
Continuación de la tabla XX.

| | | | | |
|------------------|-------------|-------------|----------|--|
| Ambiental | AMB1 | ton / hab | 1.62 | Cantidad de emisión de GEI por habitante en Guatemala |
| | AMB2 | ton / US\$ | 0.00328 | Cantidad emisión de GEI producidas por sector energético, para el PIB |
| | AMB3 | ton / GWh | 3,003.26 | Cantidad de impacto ambiental por cada GWh de electricidad generada |
| | AMB4 | ton / GWh | 2,010.42 | Cantidad de reducción de emisiones de GEI por unidad de electricidad generada por el sistema <i>Aperture</i> |
| | AMB5 | % | 69.37 | Porcentaje favorable de seguridad energética a largo plazo, se encuentra en un porcentaje aceptable |
| | AMB6 | % | 14.9333 | A mayor factor reducido, nos indica el grado de desarrollo del sistema. |
| | AMB7 | Si / No | Si | Con el uso de energía eléctrica renovable se contribuye a la reducción de velas y lámparas de gas, contribuyendo a la reducción de GEI |
| | AMB8 | Si / No | Si | Reducción de residuos como el ácido de baterías por su alto consumo |
| Social | SOC1 | Si / No | Si | La implementación de un sistema de generación eléctrica fomenta de forma directa el beneficio de rendimiento académico de los alumnos |
| | SOC2 | Si / No | Si | Mejora en servicios de atención médica, cobertura nocturna de salud, mejora en la salud del hogar con reducción de enfermedades respiratorias como de la vista |
| | SOC3 | Si / No | Si | proyecta mayor acceso de información al exterior, aumento de posibilidades de comunicación |
| | SOC4 | Si / No | Si | Penetración del servicio eléctrico, mejora de confort de viviendas. |
| | SOC5 | % | 79 | porcentaje de viviendas con beneficio de EE en el país, o demanda de hogares a cubrir por <i>Aperture</i> |
| | SEC6 | % | 75 | Porcentaje de viviendas conectados legalmente a un contador de electricidad |
| | SEC7 | veces / mes | 26 | Cantidad de veces que una vivienda se queda sin energía eléctrica durante un mes o bien la irregularidad del servicio actual de distribución de energía eléctrica. |

Fuente: elaboración propia.

Gráficamente se pueden interpretar los siguientes índices para su evaluación de beneficios y proyección hacia el desarrollo sostenible.

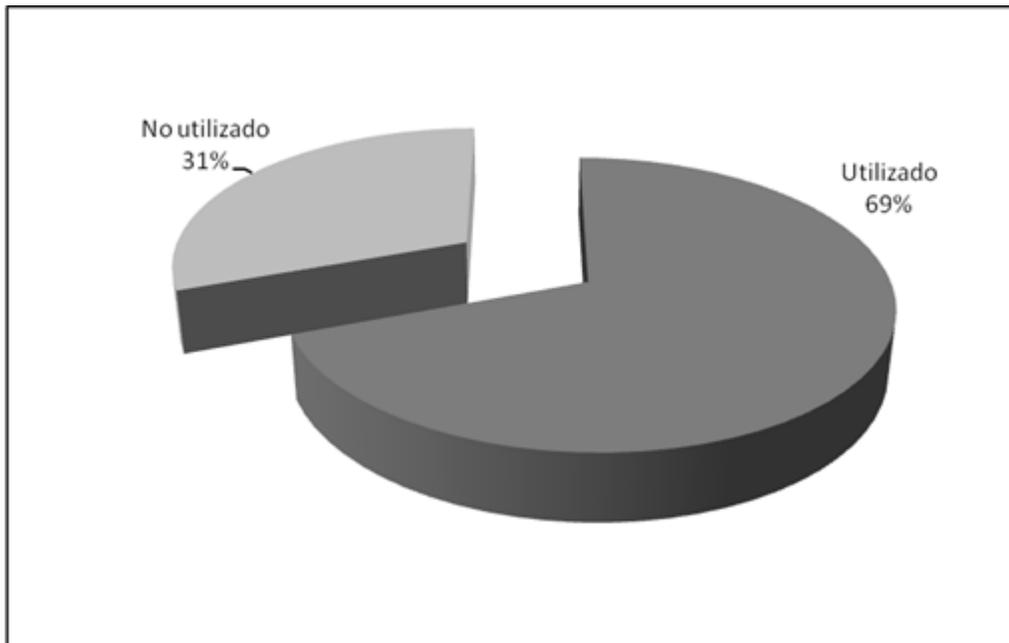
Figura 22. **ECO3 Dependencia del consumo energético de las importaciones de energía (%)**



Fuente: elaboracion propia.

En la figura 22 se muestra el indicador ECO3, en donde se indica el porcentaje de participacion en las importaciones de energía eléctrica en Guatemala, el cual es muy bajo, por lo que se interpreta como la oportunidad de mercado que tiene el sistema *Aperture* para cubrir esas importaciones y lograr un acercamiento mayor al 100 por ciento de generacion local, lo que también sería un impacto en el cambio de la matriz energética con aumento de generación de energía renovable.

Figura 23. **AMB5 Factor de utilización de las instalaciones energéticas (factor de planta)**



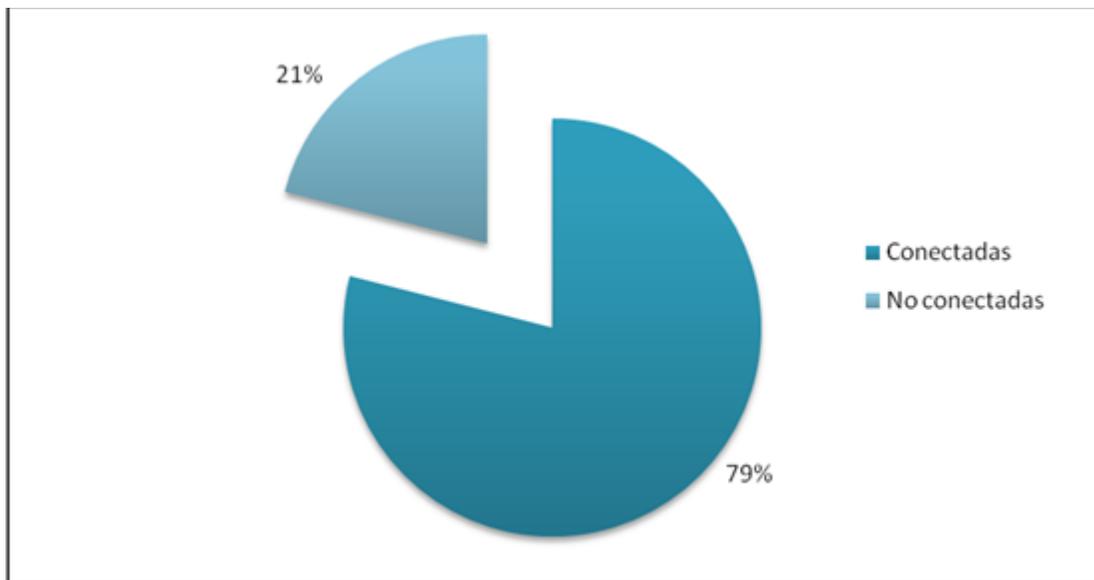
Fuente: elaboración propia.

La figura 23 representa la interpretación del indicador AMB5, factor de planta, este se interpreta con la instalación de una generadora eléctrica, en este caso la proyección que puede llegar a tener el sistema *Aperture* con una generación de un mega watt de instalación se obtiene, trabajando a una eficiencia del 85 por ciento, un factor de planta mayor de 0,6, lo cual se interpreta como un factor que se acerca a la unidad obtiene mayor factibilidad a una proyección de largos años de vida, con características altas, al desarrollo sostenible del país.

En la figura 24 se muestra el indicador SOC5, se da la proyección actual de viviendas que se encuentran conectadas a una red de distribución de energía eléctrica con un 79 por ciento y se indica que un 21 por ciento de las

viviendas del país no cuentan con una conexión directa a una red de distribución; lo que representa un porcentaje de demanda que no se encuentra cubierta aun por el SNI, siendo un mercado de oportunidad para *Aperture Engine*.

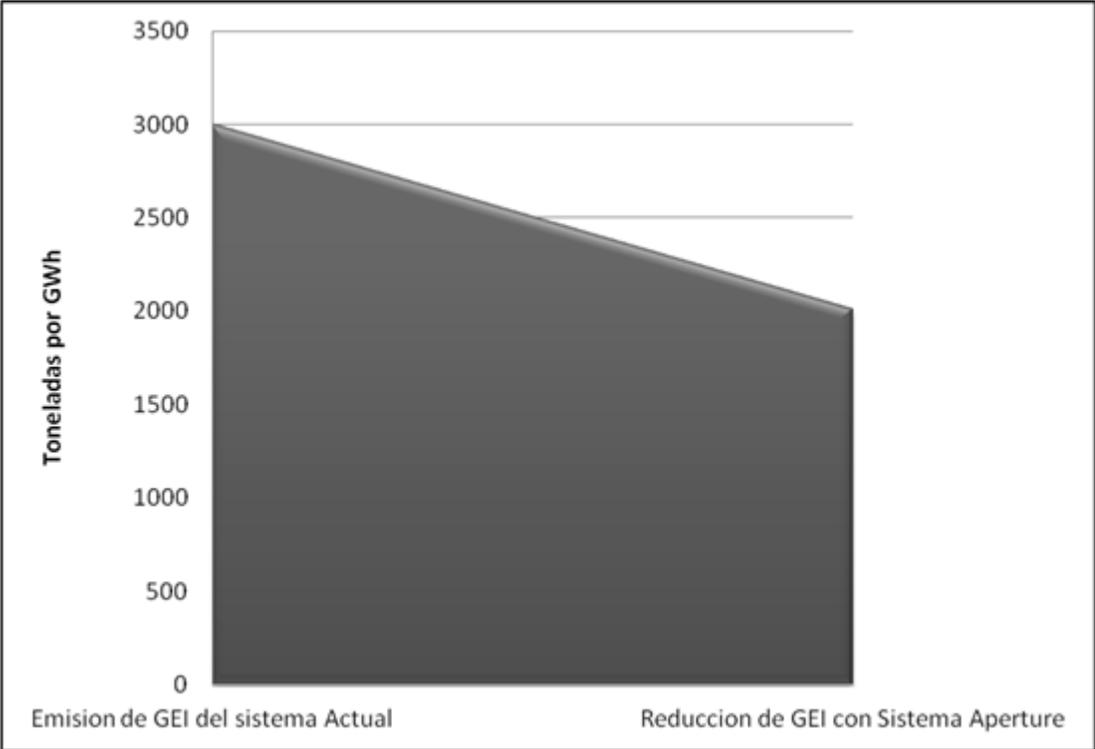
Figura 24. **SOC5 Porcentaje de viviendas conectadas a una red de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 25 se compara la emisión de GEI que actualmente genera el sistema de EE con más de 3 000 toneladas de CO₂, y la reducción de GEI que puede llegar a tener el sistema *Aperture* con una reducción de 2 000 toneladas de GEI; esta comparativa muestra las opciones que se tienen de obtener CER en mercados internacionales y negociar un mejor pago de estas certificaciones llegando a obtener mayores ingresos por las reducciones de CO₂. Esto convertiría a Guatemala en un país competitivo en el continente americano que aporta al desarrollo sostenible.

Figura 25. **Comparativa de la emision de GEI del sistema de EE actual y la reducci3n de GEI con sistema *Aperture***



Fuente: elaboraci3n propia.

CONCLUSIONES

1. A través de la evaluación realizada se obtienen las justificaciones necesarias para calificar el sistema *Aperure engine*, como instrumento de desarrollo sostenible tiene características cualitativas y cuantitativas que enmarcan viabilidad social, económica y medioambiental.
2. El desarrollo de Guatemala ha traído consigo una máxima demanda energética de 1 491,16 MW, por lo que entre las características en conjunto con la aplicación de un sistema *Aperture engine*, en aspectos de desarrollo como: educación, salud, mejora de vida social, cultura, crecimiento comercial, laboral, aprovechamiento de recurso renovable, contribución a mejoras ambientales.
3. Actualmente en Guatemala se promueve la implementación de energías renovables, se cuenta con políticas gubernamentales para su promoción de generación, reducciones de impuestos a generadores en los primeros diez años y obtención de ingresos por medio de CER's.
4. Se obtiene en la evaluación financiera los indicadores de VAN mayor a 2,24 millones de quetzales y con una TIR positiva mayor a 12 por ciento, por lo cual se puede inferir que el presente proyecto de generación de energía eléctrica se proyecta rentable y sostenible.
5. El sistema *Aperture engine* tiene características para el desarrollo con innovación tecnológica, certificaciones internacionales, esquema económico proyectado, se comprueba su viabilidad económica con

utilidades atractivas, aprovechando su sostenibilidad ambiental con mitigaciones de impacto ambiental, comercialmente puede ser promovido internacionalmente.

6. Se implementó una metodología apoyada en la selección de índices energéticos del desarrollo sostenible, de los cuales se evaluaron índices cualitativos basados en la observación y criterio de características que pueden ser de baja importancia para inversión, pero importantes, porque califican al proyecto *Aperture engine* como instrumento de desarrollo sostenible.
7. Con la implementación de índices de desarrollo sostenible cuantitativos se han obtenido los siguientes resultados derivados de una proyección generar 1 MW de potencia:
 - Un factor de planta de 0,693, indica que si se acerca a la unidad representa una mayor eficiencia energética y una larga vida del proyecto.
 - Reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera con más de dos mil toneladas y obteniendo ingresos por la contribución al medio ambiente.
 - Confiabilidad en la prestación del servicio de electricidad en las comunidades beneficiadas.
 - Cumplimiento de acuerdos sectoriales, nacionales e internacionales de producción limpia de energía evitando las emisiones de CO₂.
 - Disminución de la dependencia de combustibles fósiles para generación eléctrica que contribuye a la estabilidad de precios.
 - Movilización de recursos financieros públicos y privados para promover el desarrollo; induce a la creación de nuevas oportunidades de empleo y fortalece la competitividad de las actividades comerciales e industriales locales.

- Trae impactos positivos, con su implementación se reducen los GEI por el uso de tecnología nueva y altamente eficiente.

RECOMENDACIONES

1. Fomentar la continuidad del estudio en investigación del sistema *Aperture engine*, con evaluaciones como la de campo e implementación de nuevas aplicaciones en ríos donde no se tiene acceso a una playa.
2. Promover el mejoramiento del desarrollo sostenible con la participación del sistema *Aperture engine* y el Gobierno, convocando a grupos sociales para explicar el camino hacia la sostenibilidad social, económica y ambiental.
3. Impulsar el uso de recursos renovables que se tienen disponibles en el país como los dos océanos, entre los cuales se encuentra el territorio nacional tomando la oportunidad de implementar el sistema *Aperture engine*.
4. Considerar que el estudio presentado no cuenta con gastos de instalación, operación y mantenimiento de conexión al sistema de interconexión nacional (SIN), estos dependen de la ubicación que tendrá la planta generadora *Aperture engine*; dichos gastos corren a cuenta del inversionista.

BIBLIOGRAFÍA

1. FERNÁNDEZ DIEZ, Pedro. *Energía maremotriz*, Departamento de Energía Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria. 31 p.
2. GARCÍA PRADO, Romel Alaric. *Caracterización energética de Guatemala*. Tesis Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 143 p.
3. GÓMEZ PALACIOS, Vera Priscila, *Análisis de la agenda 21 y su impacto en las políticas sobre el manejo y eliminación de los desechos sólidos en Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 103 p.
4. GONZÁLEZ LAXE, Fernando; PALMERO, Martín. *Medición del desarrollo sostenible a través de índices sintéticos: diseño y aplicación a la Unión Europea*. Universidad de A. Coruña. 129 p.
5. Guatemala. *Ley general de electricidad*. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 199. 94 p.
6. GUDYNAS Eduardo, *Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible*, 5a ed. Montevideo: COSCOROBA, 2004. 132 p.

7. HERRERA DE NOACK, García-Jeanee; SOBENES, Alejandra, *Manual de legislación ambiental de Guatemala. Guatemala*, 1999. 114 p.
8. LEÓN RABANALES, Enrique H. APERTURE Engine, *Patent Application Publication US 2010/0301610*. 2010. 33 p.
9. Ministerio de Energía y Minas. *Política energética 2008-2022*. Guatemala: MEM, 2008. 53 p.
10. MOUTHON BELLO, Alberto Federico. *Manual de evaluación de estudios ambientales: criterios y procedimientos / compiladores* – Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente, 2002. 252 p.
11. Naciones Unidas. *Fuentes renovables en América Latina y el Caribe: situación y propuestas de las políticas*. CEPAL, 2004, 159 p.
12. OCHOA PAREDES, Byron Enrique. *Racionalidad económica del modelo de desarrollo sostenible para la economía de Guatemala, Periodo 2000-2004*. Trabajo de graduación de Economía. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Economía, 2006. 174 p.
13. Organismo Internacional de Energía Atómica. *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y Metodologías*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, Agencia Internacional de la Energía EUROSTAT, y Agencia Europea del Medio Ambiente, Viena Austria, OIEA. 2008, 193 p.

14. Organización de las Naciones Unidas. *Informe nacional sobre desarrollo sostenible*. 10a ed. USA: Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, Guatemala, 2009, 104 p.

