

**Concejo Nacional de Energía (CNE)  
República de El Salvador**

**República de El Salvador**

**Proyecto del Plan Maestro para el Desarrollo  
de Energías Renovables**

**Informe Final  
(Resumen Ejecutivo)**

**Marzo 2012**

**Japan International Cooperation Agency**

**Nippon Koei Co., Ltd.  
Japan Metals & Chemicals Co., Ltd.  
KRI International Corp.**

ILD
JR
12-061

**Concejo Nacional de Energía (CNE)  
República de El Salvador**

**República de El Salvador**

**Proyecto del Plan Maestro para el Desarrollo  
de Energías Renovables**

**Informe Final  
(Resumen Ejecutivo)**

**Marzo 2012**

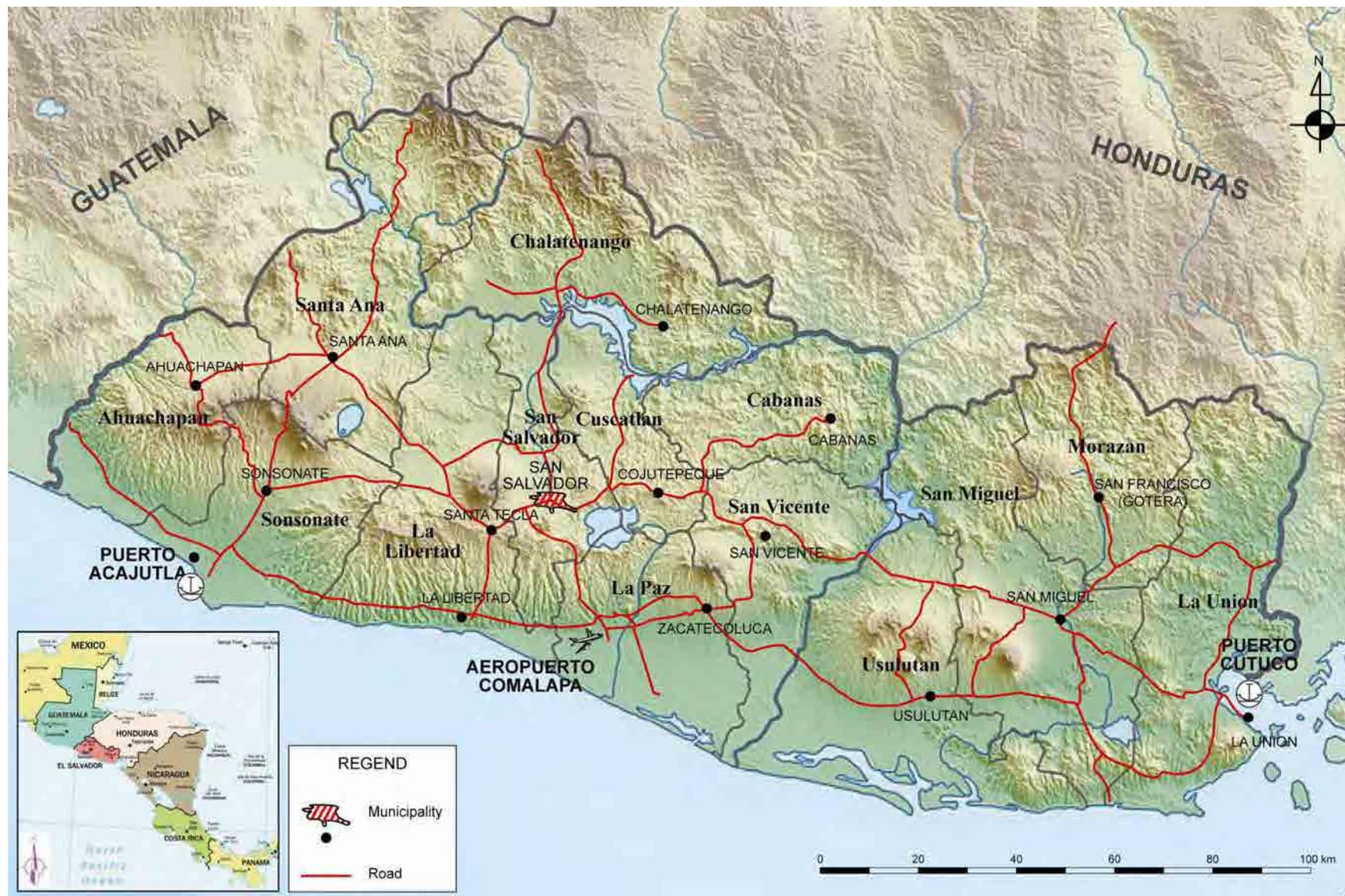
**Japan International Cooperation Agency**

**Nippon Koei Co., Ltd.  
Japan Metals & Chemicals Co., Ltd.  
KRI International Corp.**

Tasa de conversión de divisas

1 US \$ = 80,0 yenes

(Al 22 de febrero de 2012)



Área de estudio (República de El Salvador)

## República de El Salvador

### Proyecto del Plan Maestro para el Desarrollo de Energías Renovables

## Informe Final (Resumen Ejecutivo)

### Tabla de Contenido

#### Mapa de Ubicación

	Pág.
<b>Capítulo 1 Introducción</b>	
1.1 Antecedentes .....	1-1
1.2 Objetivos del Estudio .....	1-2
1.3 Agencias de Contraparte .....	1-2
1.4 Área de Estudio .....	1-3
1.5 Cronograma de Actividades .....	1-3
<b>Capítulo 2 Aspectos Generales del Sector Eléctrico y el papel de las Energías Renovables</b>	
2.1 Aspectos Generales del Sector Eléctrico .....	2-1
2.1.1 Sistema de Generación de Energía Eléctrica .....	2-1
2.1.1.1 Organizaciones para el Sector Eléctrico .....	2-1
2.1.1.2 Capacidad Instalada y Generación Eléctrica .....	2-2
2.1.1.3 Subestaciones de Transmisión y Distribución .....	2-3
2.1.2 Tarifa de Electricidad .....	2-4
2.1.3 Índice de Electrificación .....	2-7
2.2 Situación Actual de las Instituciones Gubernamentales del Sector Eléctrico .....	2-7
2.2.1 Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) .....	2-7
2.3 Situación Actual de las Empresas Eléctricas Privadas .....	2-8
2.4 Situación de cooperación por parte de los Donantes .....	2-8
2.5 El Papel de las Energías Renovables en el Sector Eléctrico .....	2-8
2.5.1 En función de la capacidad instalada .....	2-8
2.5.2 En función de la generación de energía eléctrica .....	2-9
2.5.2.1 En función de generación de energía eléctrica anual .....	2-9
2.5.2.2 En función de generación Mensual .....	2-11
2.5.2.3 Curva de carga diaria .....	2-12
2.5.2.4 Recursos de Energía Renovables .....	2-12
<b>Capítulo 3 Leyes y Reglamentos y Normas relacionadas con el Sector Eléctrico.</b>	
3.1 Leyes, Reglamentos y Normas Medioambientales .....	3-1
3.1.1 Normativas y Legislaciones .....	3-1

3.1.2	Instituciones relacionadas con el ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.....	3-4
3.1.2.1	Estructura del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN.....	3-4
3.2	Procedimientos para el Estudio de Impacto Ambiental (EIA).....	3-5
3.2.1	Categorización del Proyecto.....	3-5
3.2.2	EsIA y Permiso Ambiental.....	3-5
3.3	Leyes, Reglamentos y Normas sobre el Uso del Suelo.....	3-6
3.3.1	Decreto Legislativo No. 855 del Uso del Suelo.....	3-6
3.3.2	Áreas Naturales Protegidas.....	3-7
3.4	Leyes, Reglamentos y Normas que regulan la participación de los Generadores Privados de Energía Eléctrica.....	3-7
3.4.1	Flujograma del Desarrollo de Energía Renovable.....	3-7
3.4.2	Procedimientos Requeridos.....	3-8
3.4.3	Incentivos Actuales.....	3-12

#### Capítulo 4 Proyectos Existentes y en Desarrollo con Energías Renovables

4.1	Situación actual.....	4-1
4.2	Pequeñas centrales hidroeléctricas.....	4-1
4.2.1	Situación actual.....	4-2
4.2.2	Barreras en la Implementación.....	4-4
4.2.3	Estudios relacionados, proyectos existentes y en desarrollo.....	4-4
4.2.4	Plan de Desarrollo a Futuro	
4.3	Energía eólica.....	4-8
4.3.1	Situación actual.....	4-8
4.3.2	Barreras en la implementación.....	4-8
4.3.2.1	Reglamento/Directriz técnica.....	4-8
4.3.2.2	Ingenieros.....	4-8
4.3.3	Estudios relacionados, proyectos existentes y en desarrollo.....	4-9
4.3.3.1	Mapa eólico nacional.....	4-9
4.3.3.2	Estudio de factibilidad.....	4-9
4.3.4	Plan de desarrollo a futuro.....	4-9
4.4	Energía solar Fotovoltaica.....	4-10
4.4.1	Situación actual.....	4-10
4.4.2	Barreras en la implementación.....	4-12
4.4.2.1	Costo del sistema fotovoltaico.....	4-12
4.4.2.2	Directriz técnica.....	4-12
4.4.2.3	Ingenieros.....	4-12
4.4.3	Estudios relacionados y proyectos existentes y en desarrollo.....	4-13
4.4.3.1	CEL.....	4-13
4.4.3.2	SWERA.....	4-13

4.4.3.3	Electrificación rural .....	4-13
4.4.3.4	USTDA.....	4-13
4.4.4	Planes de Proyectos Futuros .....	4-13
4.5	Energía Solar térmica .....	4-14
4.5.1	Situación actual .....	4-14
4.5.2	Barreras en la Implementación .....	4-14
4.5.3	Estudios relacionados y proyectos existentes y en desarrollo .....	4-15
4.5.4	Plan de Proyectos Futuros .....	4-15
4.6	Energía Geotérmica.....	4-15
4.6.1	Situación actual .....	4-15
4.6.1.1	Antecedentes y situación actual de la generación eléctrica por energía geotérmica en El Salvador .....	4-15
4.6.1.2	Recursos geotérmicos de El Salvador.....	4-17
4.6.2	Barreras en la Implementación .....	4-19
4.6.3	Estudios Relacionados y Proyectos Existentes y en Desarrollo .....	4-20
4.6.4	Planes de Proyectos Futuros .....	4-21
4.7	Biomasa.....	4-22
4.7.1	Situación actual .....	4-22
4.7.1.1	Caña de azúcar.....	4-22
4.7.1.2	Café.....	4-22
4.7.1.3	Arroz.....	4-23
4.7.2	Barreras en la Implementación .....	4-24
4.7.2.1	Biomasa forestal .....	4-24
4.7.2.2	Residuos agrícolas .....	4-24
4.7.2.3	Tecnología .....	4-25
4.7.3	Estudios relacionados y proyectos existentes y en desarrollo .....	4-25
4.7.4	Planes de proyectos futuros .....	4-25
4.8	Biogás.....	4-25
4.8.1	Situación Actual .....	4-25
4.8.1.1	Biogás de rellenos sanitarios .....	4-25
4.8.1.2	Desechos de animales.....	4-28
4.8.1.3	Desechos Industriales .....	4-29
4.8.1.4	Aguas Residuales.....	4-29
4.8.2	Barreras para la Introducción .....	4-29
4.8.3	Estudios relacionados y proyectos existentes y en funcionamiento .....	4-29
4.8.4	Planes de desarrollo futuros.....	4-30

## Capítulo 5 Revisión del Pronóstico de la Oferta y Demanda de Energía Eléctrica

5.1	Revisión del Pronóstico de la Oferta y Demanda de Energía Eléctrica del Gobierno ..	5-1
5.1.1	Pronóstico de la Demanda de Energía.....	1

5.1.2	Plan de Expansión de la Generación .....	5-2
5.1.2.1	Escenario de Referencia .....	5-2
5.1.2.2	Otros escenarios para el Plan de Expansión de la Generación .....	5-3
5.1.2.3	Plan de Adquisición de Energía a 350 MW.....	5-5
5.2	Consistencia entre los Planes de Proyectos de Desarrollo de Electricidad y la Introducción de las Energías Renovables .....	5-6
<b>Capítulo 6 Revisión de las Leyes, Reglamentos y Normas de las Redes de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica relacionada con las Energías Renovables</b>		
6.1	Líneas Generales de las Leyes, Reglamentos y Normas de las Redes de Transmisión y Distribución.....	6-1
6.2	Problemas en las Leyes, Reglamentos y Normas Actuales al conectar proyectos de Energía Renovable en las Redes de Transmisión y Distribución .....	6-2
6.2.1	Problemas al conectar pequeñas centrales hidroeléctricas .....	6-2
6.2.2	Problemas al conectar fuentes de energía inestables como solar FV y eólica.....	6-3
6.2.3	Problemas al conectar otras fuentes de energía (geotérmica, biomasa, etc.).....	6-5
<b>Capítulo 7 Examen del uso de Energías Renovables</b>		
7.1	Preparación del Mapa del Potencial Eólico de todo el país.....	7-1
7.1.1	Preparación del Mapa de Potencial Eólico .....	7-1
7.1.1.1	Procedimiento.....	7-1
7.1.1.2	Modelo de Simulación del tiempo para evaluar el potencial eólico .....	7-1
7.1.2	Mapa del Potencial Eólico.....	7-2
7.1.3	Resultados del Análisis.....	7-4
7.1.3.1	Potencial Eólico.....	7-4
7.1.3.2	Sitios Eólicos con Potencial. ....	7-4
7.1.3.3	Comparación a Datos Monitoreados .....	7-6
7.1.4	Consideraciones.....	7-6
7.2	Preparación de la Guía para la Promoción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (menores a 20 MW).....	7-6
7.2.1	Lineamientos Generales de la Guía .....	7-6
7.2.2	Guía para la Promoción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas .....	7-7
7.2.2.1	Consideraciones básicas sobre los Aspectos Técnicos .....	7-7
7.2.2.2	Procedimiento para los aspectos regulatorios.....	7-7
7.2.2.3	Contenidos de la Guía.....	7-8
7.3	Exanimación de los Sistemas Fotovoltaicos montados en techo en áreas urbanas.....	7-9
7.3.1	Situación Actual y Perspectivas Futuras.....	7-9
7.3.1.1	Potencial .....	7-9
7.3.1.2	Estimación del precio e instalación de un sistema FV .....	7-9
7.3.2	Tendencias del costo FV.....	7-10

7.3.2.1	Tendencias del costo en el pasado .....	7-10
7.3.2.2	Tendencias Futuras en el costo de los sistemas FV .....	7-10
7.3.3	Problemas y contramedidas para los Aspectos Técnicos.....	7-11
7.3.3.1	Problemas y contramedidas para mantener la calidad de la energía.....	7-11
7.3.3.2	Problemas y Contramedidas para la instalación .....	7-11
7.3.4	Problemas y Contramedidas para los aspectos Institucionales.....	7-11
7.3.4.1	Desarrollo del Recurso Humano.....	7-12
7.3.4.2	Acumulación de datos y experiencia operativa .....	7-12
7.3.5	Mapa de ruta para la introducción .....	7-12
<b>Capítulo 8 Enfoques para Examinar la Posibilidad de Implementación de las Energías Renovables</b>		
8.1	Aspectos Técnicos.....	8-1
8.1.1	Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.....	8-2
8.1.2	Energía Eólica .....	8-2
8.1.3	Energía Solar Fotovoltaica .....	8-3
8.1.4	Energía Solar Térmica .....	8-3
8.1.5	Energía Geotérmica .....	8-3
8.1.6	Energía de la Biomasa .....	8-4
8.1.7	Energía del Biogás.....	8-4
8.2	Análisis Económico y Financiero.....	8-5
8.2.1	Flujograma de Estudio.....	8-5
8.2.2	Propuesta de Análisis.....	8-5
8.2.3	Premisas de Análisis .....	8-5
8.2.4	Evaluación de la rentabilidad del proyecto.....	8-6
8.2.4.1	Evaluación de la Comercialización .....	8-7
8.3	Aspectos Ambientales .....	8-8
8.3.1	Identificación de barreras para promover Energía Renovables .....	8-8
8.3.2	Impactos Previstos al Socio-Ambiente por la implementación de Energías Renovables (alcance) .....	8-9
8.3.3	Prioridades para las Energías Renovables en el marco de las Consideraciones ....	8-9
<b>Capítulo 9 Recomendaciones para Promover el Uso de las Energías Renovables</b>		
9.1	Propuestas para el desarrollo de las energías renovables .....	9-1
9.2	Apoyos gubernamentales e incentivos para los desarrolladores de proyectos de energía eléctrica que utilizan recursos renovables .....	9-4
<b>Capítulo 10 El Plan Maestro de Energías Renovables</b>		
10.1	Definición del Plan Maestro.....	10-1
10.1.1	Fuentes de energías discutidas.....	10-1

10.2	El Plan Indicativo del Desarrollo .....	10-1
10.3	Plan Maestro para cada fuente de energía renovable .....	10-3
10.3.1	Pequeñas centrales hidroeléctricas .....	10-3
10.3.1.1	Flujo de trabajo para la formulación del Plan Maestro para pequeñas centrales hidroeléctricas.....	10-3
10.3.1.2	Revisión del estudio previo para pequeñas centrales hidroeléctricas .....	10-4
10.3.1.3	Hallazgo y evaluación de nuevos sitios potenciales .....	10-5
10.3.1.4	Evaluación técnica de sitios potenciales.....	10-5
10.3.1.5	Estimación de costo de sitios potenciales.....	10-5
10.3.1.6	Evaluación financiera de los sitios potenciales .....	10-5
10.3.1.7	Optimización del caudal de diseño para sitios potenciales.....	10-5
10.3.1.8	Sitios potenciales para pequeñas centrales hidroeléctricas.....	10-5
10.3.1.9	Plan maestro para pequeñas centrales hidroeléctricas .....	10-6
10.3.1.10	Recomendaciones para llevar a cabo el Plan Maestro.....	10-7
10.3.2	Energía Eólica .....	10-9
10.3.2.1	Selección de Sitios Potenciales.....	10-9
10.3.2.2	Capacidad Admisible para Implementar en la red.....	10-9
10.3.2.3	Consideración de los Aspectos Técnicos.....	10-10
10.3.3	Energía Solar Fotovoltaica .....	10-14
10.3.3.1	Selección de Sitios Potenciales.....	10-14
10.3.3.2	Capacidad Permisible para introducir en la Red.....	10-14
10.3.3.3	Consideración de Aspectos Técnicos .....	10-14
10.3.4	Energía Solar térmica .....	10-17
10.3.4.1	Potencial solar térmico .....	10-17
10.3.4.2	Estado actual y prospectiva futura.....	10-17
10.3.4.3	Examen sobre los aspectos técnicos .....	10-19
10.3.4.4	Plan Maestro .....	10-20
10.3.5	Geotérmica .....	10-20
10.3.5.1	Plan de Desarrollo hasta el año 2017.....	10-20
10.3.5.2	Plan de Desarrollo después de 2017 .....	10-21
10.3.5.3	Programa general de Desarrollo y Costo.....	10-21
10.3.6	Biomasa .....	10-22
10.3.6.1	Gasificación de Biomasa .....	10-22
10.3.6.2	Sistema de Generación Micro-binario .....	10-23
10.3.6.3	Consideraciones para la introducción de la tecnología de la biomasa.....	10-24
10.3.7	Biogás .....	10-25
10.3.7.1	Desechos Animales.....	10-25
10.3.7.2	Aguas Residuales.....	10-26
10.3.7.3	Energía de los Desechos sólidos.....	10-27
10.3.7.4	Consideraciones para la introducción de la Tecnología de Biogás .....	10-28

### Lista de Tablas

Tabla 2.1.1	Ejemplo de tarifa eléctrica de cada Distribuidor .....	2-6
Tabla 2.5.1	Tipo de Recursos, capacidad instalada y capacidad efectiva de centrales eléctricas en El Salvador .....	2-9
Tabla 2.5.2	Generación de energía eléctrica anual por tipo de fuente de energía 2006 - 2010.	2-11
Tabla 2.5.3	Generación de Energía Eléctrica Mensual en 2009 (GWh) .....	2-11
Tabla 2.5.4	Generación de Energía Eléctrica Mensual en 2010 (GWh) .....	2-11
Tabla 3.1.1	Normativa y Legislación relacionada a la Gestión ambiental .....	3-1
Tabla 3.2.1	Pasos y tiempo estimados para Obtener Permiso Ambiental .....	3-6
Tabla 4.1.1	Capacidad instalada en cada central eléctrica fuente de energía renovable .....	4-1
Tabla 4.2.1	Centrales hidroeléctricas existentes (2011).....	4-3
Tabla 4.2.2	Resumen del potencial hidroeléctrico en El Salvador.....	4-5
Tabla 4.2.3	Lista de proyectos pequeños con potencial hidroeléctrico menor de 20 MW (1/2) .....	4-6
Tabla 4.2.3	Lista de proyectos pequeños con potencial hidroeléctrico menor de 20 MW (2/2) .....	4-7
Tabla 4.3.1	Parques eólicos candidatos de CEL .....	4-9
Tabla 4.4.1	Sistemas fotovoltaicos en El Salvador .....	4-11
Tabla 4.4.2	Planes de Desarrollo futuro de CEL en sistemas solares FV .....	4-13
Tabla 4.6.1	Inventario de recursos geotérmicos de alta entalpía en El Salvador (Campos, 1988).....	4-18
Tabla 4.6.2	Inventario de recursos geotérmicos de moderada-baja entalpía en El Salvador (Campos, 1988).....	4-19
Tabla 4.6.3	Plan de proyectos nuevos, expansión y modificación de LaGeo .....	4-20
Tabla 4.6.4	Plan de desarrollo de generación eléctrica con recursos geotérmicos (Nuevos proyectos, Expansión, Modificación, etc.) de LaGeo en El Salvador (Campos, 1988).....	4-21
Tabla 4.7.1	Capacidad instalada generada por la biomasa proveniente del bagazo de caña de azúcar en El Salvador.....	4-22
Tabla 4.7.2	Producción de café y Potencial de Generación Eléctrica en cada departamento ...	4-23
Tabla 4.7.3	Producción de arroz y potencial de Generación Eléctrica por departamento (2009/2010).....	4-24
Tabla 4.7.4	Planes de proyectos futuros.....	4-25
Tabla 4.8.1	Potenciales de Generación Eléctrica en Rellenos Sanitarios (Excluyendo Nejapa).....	4-28
Tabla 4.8.2	Plan a Futuro de la Estación Generadora de Biogás de Nejapa .....	4-30
Tabla 5.1.1	Plan Indicativo de Desarrollo de Energía (Escenario de Referencia) .....	5-2
Tabla 5.1.2	Lista de Escenarios del Plan de Expansión de Generación y los Costos Marginales de la Operación .....	5-4

Tabla 5.1.3	Plan de Desarrollo para el Escenario de Energías Renovables .....	5-5
Tabla 6.1.1	Leyes, reglamentos y normas relacionadas a las redes eléctricas de transmisión y distribución .....	6-1
Tabla 6.2.1	Problemas al conectar Pequeñas Centrales Hidroeléctricas .....	6-2
Tabla 6.2.2	Problemas al conectar fuentes de energía inestables como solar FV y eólica.....	6-4
Tabla 6.2.3	Problemas al conectar otras fuentes de energía (eotérmica, biomasa, etc.) .....	6-6
Tabla 7.1.1	Datos del potencial en los sitios (velocidad y potencial del viento) .....	7-5
Tabla 7.1.2	Datos Calculados y Monitoreados .....	7-6
Tabla 8.2.1	Premisas para la simulación ingresos y egresos.....	8-6
Tabla 8.2.2	Resultados de la Evaluación por Caso de Estudio .....	8-7
Tabla 9.1.1	Propuestas sobre el rumbo del desarrollo de energías renovables basado en los resultados del estudio.....	9-1
Tabla 10.2.1	Plan Indicativo de Desarrollo (2012 ~ 2026).....	10-2
Tabla 10.3.1	Criterios de selección para el plan maestro de pequeñas centrales hidroeléctricas	10-6
Tabla 10.3.2	Resumen de plan maestro de desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas.....	10-7
Tabla 10.3.3	Plan Maestro de desarrollo para la Energía Eólica.....	10-14
Tabla 10.3.4	Plan Maestro Solar FV .....	10-17
Tabla 10.3.5	Plan Maestro Solar Térmica.....	10-20
Tabla 10.3.6	Nuevos planes de Desarrollo, ampliación y modificación de LaGeo .....	10-20
Tabla 10.3.7	Programa general de desarrollo y costo estimado para un proyecto de energía geotérmica de 30MW (elaborado por LaGeo en El Salvador) .....	10-21

## Lista de Figuras

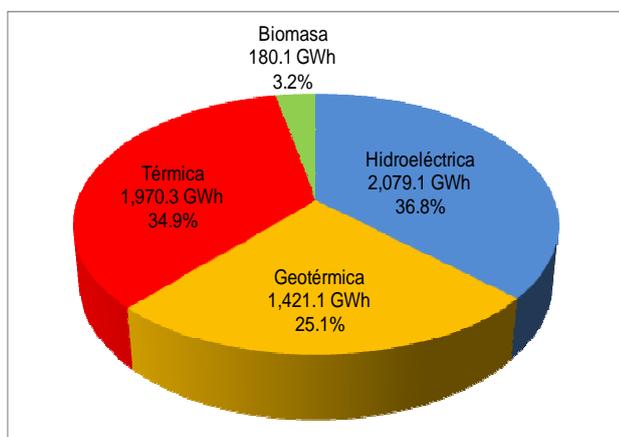
Figura 1.1.1	Generación de Energía por Tipo de Recurso (2010).....	1-1
Figura 1.1.2	Evolución Anual de la Capacidad Instalada por Tipo de Recurso .....	1-1
Figura 1.5.1	Cronograma General del Estudio .....	1-3
Figura 2.1.1	Función del gobierno y el sector privado en el mercado mayorista .....	2-2
Figura 2.1.2	Capacidad Instalada y Generación de Energía Anual (2010).....	2-2
Figure 2.1.3	Ubicación de las Centrales en El Salvador y su Capacidad Instalada.....	2-3
Figura 2.1.4	Ubicación de las Centrales y Diagrama Unifilar de las Líneas de Transmisión ....	2-4
Figura 2.5.1	Generación de energía eléctrica anual por tipo de fuente de energía 2006 – 2010	2-10
Figura 2.2.2	Generación de Energía Eléctrica Mensual (2009).....	2-11
Figure 2.2.3	Generación de Energía Eléctrica Mensual (2010).....	2-11
Figura 2.2.4	Curvas de Carga Diaria por Tipo de Fuente.....	2-12
Figura 3.1.1	Estructura Organizativa del MARN.....	3-4
Figura 3.2.1	Categorización de proyectos según el nivel con Potencial Impacto Ambiental.....	3-5
Figura 3.3.1	Ubicación de Áreas Protegidas .....	3-7
Figura 3.4.1	Flujo grama para la implementación del proyecto .....	3-8
Figura 3.4.2	Flujograma del registro de productores de energía en el Mercado eléctrico.....	3-9
Figura 3.4.3	Procesos para obtener el permiso ambiental .....	3-10
Figura 3.4.4	Proceso para obtener permiso para la realización de estudios de recursos geotérmicos o hidroeléctricos .....	3-10
Figura 3.4.5	Procedimientos para obtener concesión para proyectos mayores de 5 MW .....	3-11
Figura 3.4.6	Procesos para la obtención de concesión para proyectos con capacidad igual o menor a 5 MW .....	3-11
Figura 3.4.7	Procedimientos para el registro en la participación del mercado mayorista .....	3-12
Figura 4.2.1	Centrales hidroeléctrico existentes y sitios con potencial hidroeléctrico.....	4-5
Figura 4.3.1	Mapa del potencial de energía eólica (SWERA) .....	4-8
Figura 4.3.2	Velocidad del viento (en Metapán) y factor de capacidad (15 de Septiembre, energía hidroeléctrica) .....	4-10
Figura 4.4.1	Mapa de irradiación solar en El Salvador .....	4-11
Figura 4.4.2	Sistemas solares fotovoltaicos instalados en El Salvador .....	4-12
Figura 4.5.1	Costo proyectado de electricidad para los sistemas CSP .....	4-14
Figura 4.6.1	Mapa de Ubicación de las Centrales Geotérmicas en El Salvador.....	4-16
Figura 4.6.2	Evolución de la Generación Eléctrica de las Centrales Geotérmicas en El Salvador .....	4-17
Figura 4.6.3	Ubicación de 28 áreas de aguas termales y 7 áreas de fumarolas de El Salvador..	4-18
Figura 4.6.4	Ubicación de 12 áreas con recursos geotérmicos de alta entalpía en El Salvador .	4-19
Figura 4.8.1	Plan de desarrollo y expansión de rellenos sanitarios .....	4-27
Figura 5.1.1	Pronóstico de demanda para tres escenarios y valores para escenario de Referencia.....	5-1

Figura 5.1.2	Cambio de cantidad de generación eléctrica por tipo de fuente de energía .....	5-3
Figura 5.1.3	Resultados de Simulación de los costos marginales para la operación anual .....	5-3
Figura 7.1.1	Mapa de Potencial eólico de El Salvador (30 m sobre nivel de suelo) .....	7-3
Figura 7.1.2	Mapa de Potencial eólico de El Salvador (50 m sobre nivel de suelo) .....	7-3
Figura 7.1.3	Mapa de Potencial eólico de El Salvador (80 m sobre nivel de suelo) .....	7-4
Figura 7.1.4	Sitios con potencial eólico .....	7-5
Figura 7.2.1	Flujograma de la formulación de Guía y aspectos técnicos relacionados .....	7-7
Figura 7.3.1	Concepto de un sistema Fotovoltaico montado en techo. ....	7-9
Figura 7.3.2	Mapa de ruta para la introducción de Sistemas FV .....	7-13
Figura 8.1.1	Relación entre el avance en tecnologías y planeación, métodos de planeación y estado de las energías renovables en El Salvador. ....	8-1
Figura 8.1.2	Flujo de Análisis Técnico sobre la energía hidroeléctrica pequeña .....	8-2
Figura 8.1.3	Flujo de Análisis Técnico en Energía Eólica .....	8-2
Figura 8.1.4	Flujo de Análisis Técnico en energía solar fotovoltaica .....	8-3
Figura 8.1.5	Flujo de Análisis Técnico en energía solar térmica .....	8-3
Figura 8.1.6	Flujo de Análisis Técnico en energía Geotérmica .....	8-4
Figura 8.1.7	Flujo de Análisis Técnico en energía Biomasa .....	8-4
Figura 8.1.8	Flujo de Análisis Técnico en energía del Biogás .....	8-5
Figura 8.2.1	Flujograma de Estudio del Análisis Económico y Financiero .....	8-5
Figura 10.2.1	Proporción de Fuentes de Energía por Fuentes en el Plan Maestro .....	10-2
Figura 10.3.1	Flujo de trabajo para la formulación del plan maestro para pequeñas centrales hidroeléctricas .....	10-4
Figura 10.3.2	Mapa de ubicación de sitios potenciales para energía hidroeléctrica.....	10-6
Figura 10.3.3	Mapa de ubicación de sitios seleccionados para pequeñas centrales hidroeléctricas para el Plan Maestro 2012-2027 .....	10-7

## Capítulo 1 Introducción

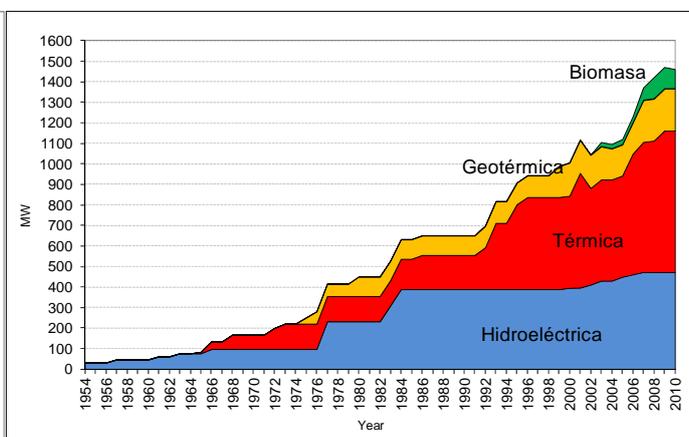
### 1.1 Antecedentes

De acuerdo al estudio realizado por el Consejo Nacional de Energía (CNE), se espera que la demanda de energía eléctrica crezca a una tasa promedio anual de 4.7% en el escenario de referencia hacia 2026<sup>1</sup>. En el año 2010 la generación total de energía fue de 5,650.6 GWh y quedó compuesta por: Energía Hidroeléctrica 2,079.1 GWh (36.8%), Energía Térmica 1,970.3 GWh (34.9%), Energía Geotérmica 1,421.1 GWh (25.5%), Biomasa 180.1 GWh (3.2%)<sup>2</sup>, como lo mostrado en la Figura 1.1.1. A pesar que el porcentaje de generación con fuentes de energía renovables (actualmente compuesto por: hidroeléctrica, geotérmica y biomasa) es más alto que el porcentaje de generación con fuentes de energía térmica, la dependencia de la generación térmica aumenta año a año. La dependencia en la energía térmica es más significativa al comparar las capacidades instaladas de las fuentes de energía, como mostrado en la Figura 1.1.2.



(Fuente: Datos del Boletín de Estadísticas Eléctricas No 12, (SIGET, 2010))

**Figura 1.1.1 Generación de Energía por Tipo de Recurso (2010)**



(Fuente: Datos del Boletín de Estadísticas Eléctricas No 12, (SIGET, 2010))

**Figura 1.1.2 Evolución Anual de la Capacidad Instalada por Tipo de Recurso**

En El Salvador el consumo de petróleo depende en un 100% de la importación. La expansión en la introducción de energía renovable se vuelve cada vez más importante debido a la crisis de energía causada por el aumento acelerado de los precios del petróleo. Este enfoque encaja con la tendencia global, la cual prioriza la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Por otro lado, tras la liberalización del mercado de energía eléctrica en 1999 a través de la separación de la generación y la transmisión, la tasa de uso de combustibles fósiles ha aumentado. A pesar de los esfuerzos del gobierno de introducir fuentes de energía renovables por medio de productores estatales o privados, la tasa de introducción de energía renovable todavía es limitada.

Una de las razones por la que se tiene una tasa limitada de fuentes de energías renovables es la falta de un plan maestro para la introducción de este tipo de energías. La alta tasa de generación de energía con

<sup>1</sup> Informe Final – Plan Indicativo de la Expansión de la Generación de El Salvador 2012 - 2026 (CNE, 2011).

<sup>2</sup> Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 12 (SIGET, 2010)

combustibles fósiles se obtiene porque este tipo de energía posee un menor costo inicial de inversión y a su vez establece un ingreso estable para los productores de energía independientes (PEIs).

En este contexto, la Asamblea Legislativa aprueba la creación del Consejo Nacional de Energía (CNE) en 2007 como institución rectora y normativa de la Política Energética Nacional para desarrollar políticas y estrategias para el desarrollo económico y social mediante el incremento de la producción, la productividad y el uso racional de los recursos energéticos. En la Política Energética Nacional anunciada en junio de 2010, se destacaron como los más importantes los siguientes seis puntos:

- (1) Diversificación de la matriz energética y fomento a las fuentes de energía renovables.
- (2) Fortalecimiento de la institucionalidad del sector energético y protección al usuario.
- (3) Promoción de una cultura de eficiencia y ahorro energético.
- (4) Ampliación de cobertura y tarifas sociales preferentes.
- (5) Innovación y desarrollo tecnológico.
- (6) Integración Energética Regional.

En vista de la necesidad de la introducción de energías renovables en los sectores público y privado, el gobierno de El Salvador hizo una solicitud al gobierno de Japón para la formulación de un plan maestro de energías renovables en El Salvador, que incluye la determinación de los potenciales de cada fuente de energía y la preparación de los lineamientos necesarios para la promoción de las energías renovables.

En respuesta a la solicitud, JICA desarrolló un estudio de planificación detallada en marzo de 2010, a fin de confirmar si era posible la implementación de la cooperación en el desarrollo de este estudio técnico. Este se desarrolla en base al Alcance de los Trabajos (A/T) y las minutas de las reuniones (M/R) concluidas entre el CNE y JICA en Julio de 2011.

## **1.2 Objetivos del Estudio**

El objetivo del Estudio es formular el Plan Maestro para la generación de energía eléctrica a partir de recursos de energías renovables en El Salvador por un período de 15 años desde 2012 hasta 2026.

Además, para el fomento en la introducción de las energías renovables en El Salvador, se organizarán seminarios que introducirán tecnologías, políticas institucionales y medidas de promoción de energías renovables desarrolladas en el Japón, con el objetivo de compartir esta información y transferirla a las organizaciones relacionadas.

## **1.3 Agencias de Contraparte**

El Consejo Nacional de Energía (CNE) funcionará como agencia de contraparte para el Equipo de Estudio de JICA.



## **Capítulo 2 Aspectos Generales del Sector Eléctrico y el papel de las Energías Renovables**

### **2.1 Aspectos Generales del Sector Eléctrico**

De acuerdo a la Constitución de la República, en El Salvador existen tres órganos fundamentales, los cuales son el Legislativo, el Ejecutivo y el Judicial. El Órgano Ejecutivo se encuentra conformado por el presidente y vice presidente de la República, los ministros y viceministros junto a sus funcionarios dependientes.

El Órgano Ejecutivo está compuesto por trece (13) ministerios. Con la finalidad de garantizar a los ciudadanos la prestación de servicios esenciales a la comunidad en las mejores condiciones se han creado diversas instituciones estatales de derecho público y carácter autónomo en diferentes aspectos, dentro de las que se incluyen la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) y el Consejo Nacional de Energía (CNE)

En septiembre de 2007, se aprueba la Ley de Creación del Consejo Nacional de Energía (CNE), como la autoridad superior, rectora y normativa en materia de Política Energética y como coordinadora de los distintos actores del sector energético. El CNE inició funciones en el 2009 y para cumplir su misión de ser el Ente Rector de la Política Energética Nacional debe contar con los recursos tecnológicos adecuados para el logro de sus atribuciones en su marco legal. La formulación del plan maestro para el desarrollo de las energías renovables es muy importante tanto para el equipo de estudio de JICA como para el CNE.

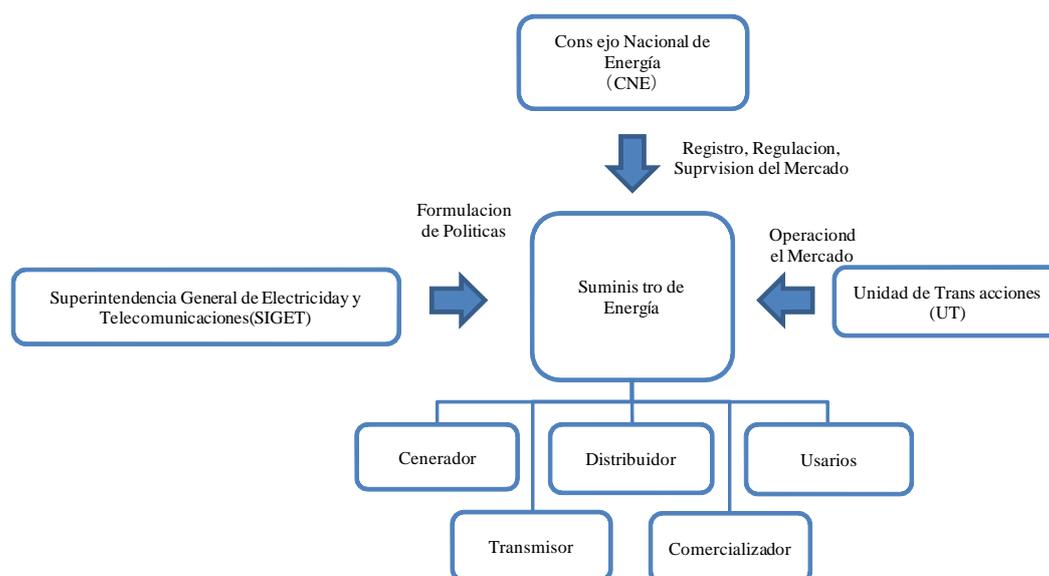
#### **2.1.1 Sistema de Generación de Energía Eléctrica**

##### **2.1.1.1 Organizaciones para el Sector Eléctrico**

El sistema de generación de energía eléctrica en El Salvador tuvo un cambio drástico a partir de la reforma del sector eléctrico, la cual empezó en 1996. La generación eléctrica paso de ser responsabilidad de una entidad estatal llamada Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) a un nuevo sistema de Mercado Mayorista de Electricidad, en consecuencia, la estructura del sector eléctrico quedó dividida en los subsectores de generación, transmisión, distribución y comercialización.

La operación del mercado mayorista es manejada por una empresa privada llamada “Unidad de Transacciones” (UT). El mercado mayorista está compuesto principalmente de dos tipos de segmentos: mercado de contratos, realizado entre los “participantes del mercado” (PM), como por ejemplo entre generadores y distribuidores o entre generadores y comercializadores, etc. y el Mercado Spot en base a un despacho horario ó de corto plazo

La función del gobierno y el sector privado en el mercado mayorista son ejemplificados a continuación en la Figura 2.1.1.



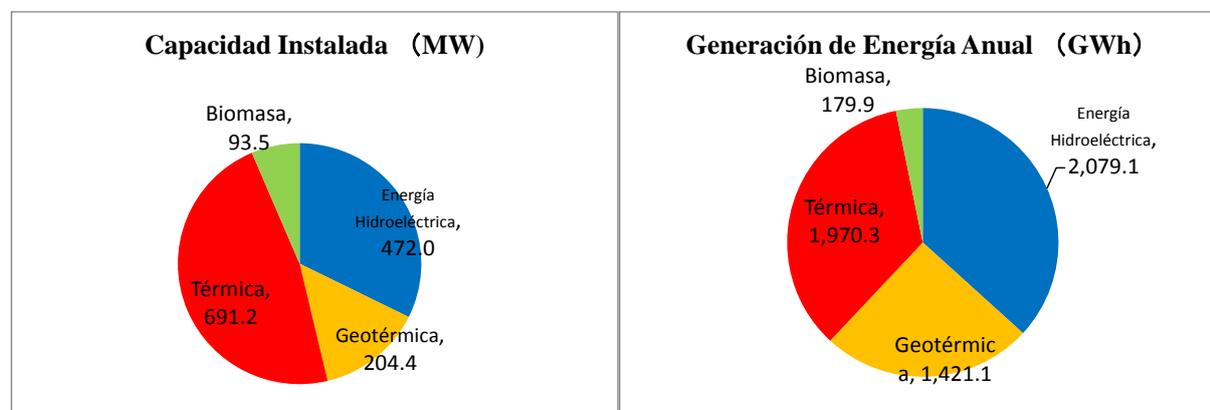
(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 2.1.1 Función del gobierno y el sector privado en el mercado mayorista**

### 2.1.1.2 Capacidad Instalada y Generación Eléctrica

De acuerdo al Boletín de Estadísticas Eléctricas de la SIGET (2010), la cantidad de energía generada que fue inyectada al mercado mayorista de Electricidad en el 2010 fue de 5,650.4 GWh. La capacidad instalada y la cantidad de energía generada por las distintas fuentes renovables son:

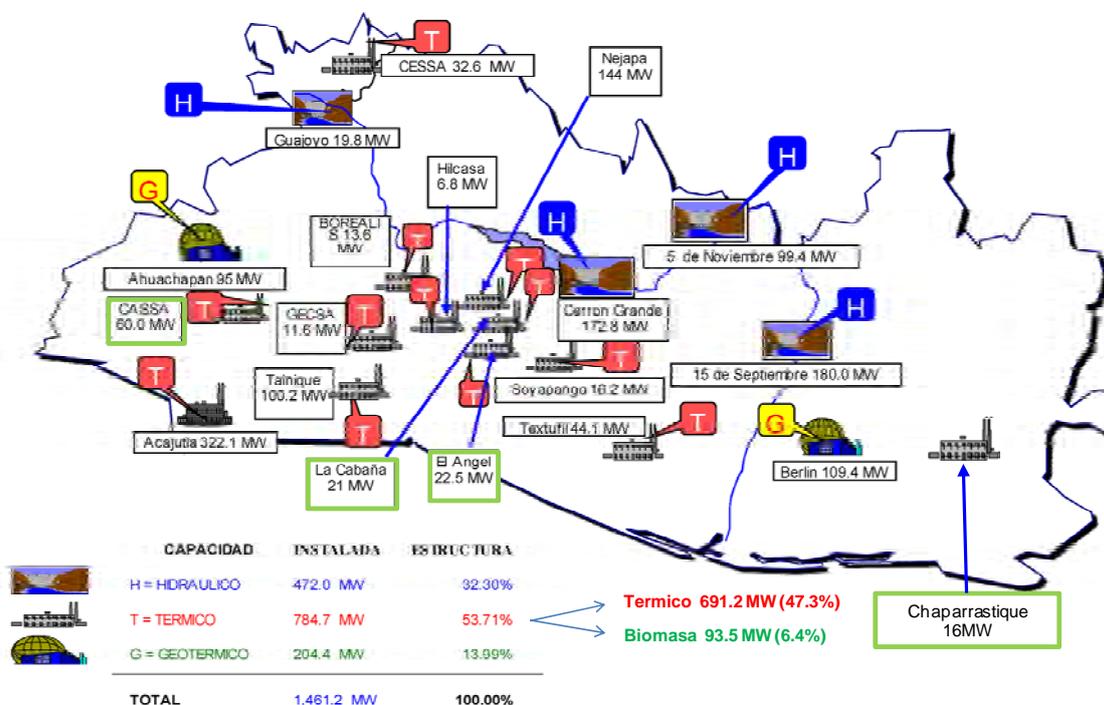
- Energía Hidroeléctrica: 4 centrales, Capacidad Instalada 472.0 MW (32.3%), Generación 2,079.1 GWh (36.8%)
- Geotérmica: 2 centrales, Capacidad Instalada 204.4 MW (14.0%), Generación 1,421.1 GWh (25.1%)
- Térmica: 9 centrales, Capacidad Instalada 691.2 MW (47.3%), Generación 1,970.3 GWh (34.9%)
- Biomasa: 3 centrales, Capacidad Instalada 93.5 MW (6.4%), Generación 179.9 GWh (3.2%)



(Fuente: Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 12 (SIGET, 2010))

**Figura 2.1.2 Capacidad Instalada y Generación de Energía Anual (2010)**

En la Figura 2.1.3 se muestran la ubicación aproximada y sus respectivas capacidades instaladas (MW) de las centrales presentadas en el Boletín de la SIGET (2010).



(Fuente: Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 12 (SIGET, 2010))

**Figure 2.1.3 Ubicación de las Centrales en El Salvador y su Capacidad Instalada**

Las cuatro (4) centrales hidroeléctricas pertenecen a la compañía estatal CEL. Las otras centrales con distinto tipo de energía renovable, como Geotérmica y Biomasa, pertenecen a empresas privadas. En la Figura 2.1.3 se ubican tres (3) centrales, las cuales están marcadas con un recuadro verde, estas centrales aunque están marcadas como Térmicas en realidad son de Biomasa, (CASSA, La Cabaña y El Ángel). Estas centrales hacen uso del bagazo (residuo de la caña de azúcar) como fuente de energía y provienen de los ingenios de azúcar

### 2.1.1.3 Subestaciones de Transmisión y Distribución

En la Figura 2.1.4 se muestra la red de transmisión de El Salvador, esta se compone de líneas de transmisión de Alta Tensión de 115 kV y 230 kV. Un circuito de las líneas de 230 kV pertenece al SIEPAC3, el cual está bajo concesión de la Empresa Propietaria de la Red (EPR). Solo una empresa de transmisión se encarga del mantenimiento de las líneas y la red de transmisión, esta es “ETESAL” (Empresa Transmisora de El Salvador S.A de C.V). La unidad de Transacciones (UT) está encargada de las operaciones de la red de transmisión.

<sup>3</sup> Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central. En El Salvador este sistema de transmisión se utiliza para la conexión internacional regional con Guatemala y Honduras.

## A. Categorización de las líneas de transmisión y distribución

En general las líneas de transmisión y distribución de El Salvador se clasifican de la siguiente manera:

### a. Línea de transmisión de alta tensión:

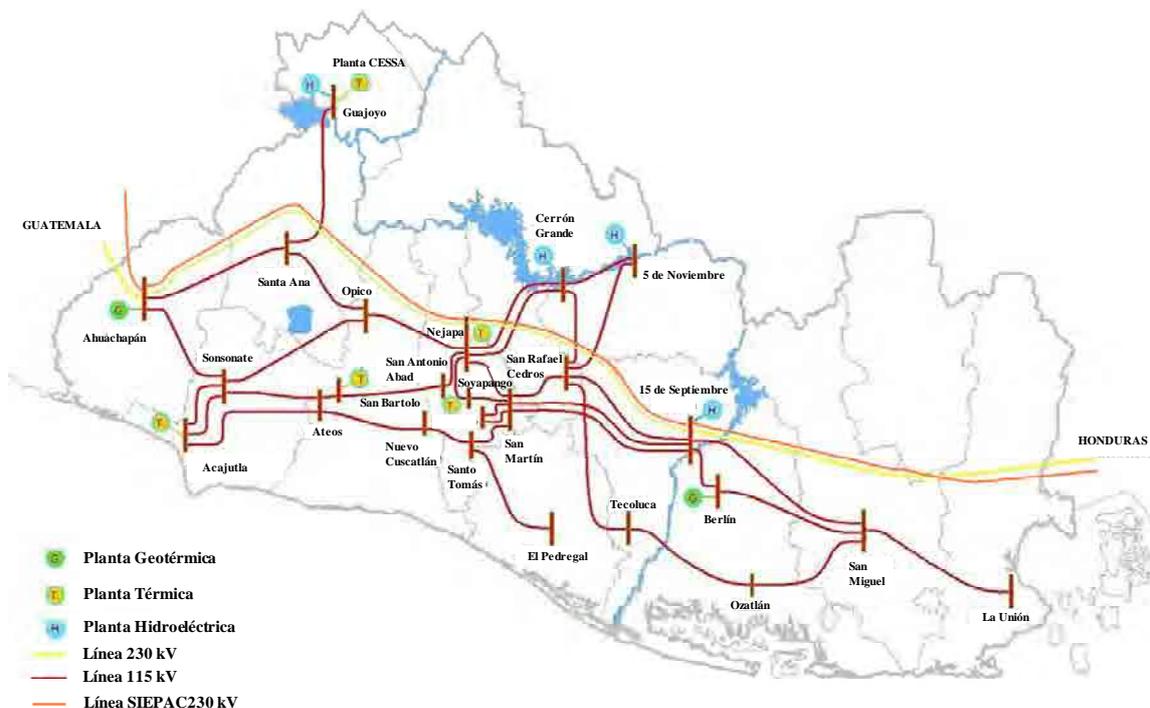
230 kV: (EPR y ETESAL) Red de transmisión y conexión internacional (con Guatemala y Honduras).

- Línea Ahuachapán – Nejapa – 15 de Septiembre (longitud total: 191.9 km)
- Conexión con Guatemala: Ahuachapán – Este de Guatemala (longitud total: 112.6 km)
- Conexión con Honduras: 15 de Septiembre – Agua Caliente (longitud total: 147 km)

115 kV: (ETESAL) Red de transmisión nacional (longitud total: 1,072 km)

**b. Línea de distribución de media tensión (46 kV, 34.5 kV, 23 kV, 13.2 kV, 4.16 kV, 2.4 kV):** Redes eléctricas pertenecientes a las empresas distribuidoras.

**c. Línea de distribución de baja tensión (120/240V):** Para conexión eléctrica a los usuarios finales.



(Fuente: SIGET, CNE)

**Figura 2.1.4 Ubicación de las Centrales y Diagrama Unifilar de las Líneas de Transmisión**

### 2.1.2 Tarifa de Electricidad

La tarifa de electricidad es monitoreada por la SIGET cada tres meses y se basa en el costo actual de generación eléctrica determinado en el mercado mayorista. Existen tres categorías en la tarifa de electricidad, las cuales se determinan a partir de la máxima demanda; por ejemplo: los usuarios de la categoría baja demandan menos de 10 kW, en la categoría media entre 10 a 50 kW y en la categoría alta más de 50 kW.

La tarifa de electricidad es calculada en base a las tres categorías anteriores, adicionando el cargo de uso, el cargo por distribución y el cargo por comercialización. Existen tasas establecidas acorde al consumo de energía mensual y en función de los siguientes intervalos: 1 a 99 kWh, 100 a 199 kWh e igual o mayor a 200 kWh.

Dependiendo de consumo de energía mensual, los costos serán calculados en cada intervalo (si son aplicables a estos intervalos) para finalmente ser sumados y facturados al usuario. La tarifa base que proviene del intervalo de consumo, del cargo por uso y del cargo por distribución, es tabulado por las compañías de distribución y la SIGET. Tabla 2.1.1 se muestra un ejemplo de la tarifa eléctrica.

Tabla 2.1.1 Ejemplo de tarifa eléctrica de cada Distribuidor

No.	Tarifa Categoría		Tarifa por la Compañía de Distribución							
			Nombre de la Empresa de Distribución							
<b>1</b>	<b>Tarifa Residencial para consumos mayores de 99 kWh/mes - BT</b>		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
	Cargo de Comercialización									
	Cargo Fijo	US\$/Usuario	0.813531	0.967705	0.879995	0.86499	1.021556	0.756047	0.754195	0.799957
<b>2</b>	<b>Bloque 1: Primeros 99 kWh/mes</b>		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
	Cargo de Energía	US\$/kWh	0.183679	0.178227	0.182361	0.183895	0.181902	0.191045	0.173273	0.189102
	Cargo de Distribución	US\$/kWh	0.023168	0.044442	0.043942	0.055315	0.059613	0.049321	0.02238	0.035486
<b>3</b>	<b>Bloque 2: Consumos entre 100 kWh/mes y 199 kWh/mes</b>		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
	Cargo de Energía	US\$/kWh	0.182791	0.177599	0.181461	0.182245	0.181168	0.191225	0.175644	0.187513
	Cargo de Distribución	US\$/kWh	0.040409	0.053178	0.059401	0.061387	0.064555	0.05071	0.024009	0.038841
<b>4</b>	<b>Bloque 3: Consumos mayores o iguales a 200 kWh/mes</b>		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
	Cargo de Energía	US\$/kWh	0.182141	0.177426	0.18077	0.180696	0.180283	0.191407	0.178761	0.186885
	Cargo de Distribución	US\$/kWh	0.046854	0.059186	0.064141	0.065951	0.066662	0.052101	0.025928	0.040434

(Fuente: SIGET)

### **2.1.3 Índice de Electrificación**

El índice de electrificación de El Salvador es del 96,9% en las zonas urbanas, el 81,5% en el área rural y el 91,6% en total. El Salvador es el segundo país en Centro América con mayor índice de electrificación después de Costa Rica. El Gobierno apunta a aumentar la proporción, y se encuentra ejecutando el programa de electrificación con la instalación de energía solar fotovoltaica en el área no electrificada.

## **2.2 Situación Actual de las Instituciones Gubernamentales del Sector Eléctrico**

Debido a la reforma del aparato estatal en el sector eléctrico iniciada en 1996, el sistema eléctrico de El Salvador pasó de ser responsabilidad del gobierno en su totalidad, al ser diversificada en diferentes empresas las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización. El Mercado Mayorista de Electricidad empezó a operar en 1999. Acorde al boletín estadístico de SIGET, la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) es la única institución del sector eléctrico perteneciente al gobierno

### **2.2.1 Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL)**

CEL fue creada en 1945 y fue el primer proyecto energético desarrollado por gobierno. La primera central hidroeléctrica fue construida entre los años 1951 a 1954 y fue llamada “Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre” en conmemoración al primer grito de independencia.

En los primeros 20 años desde 1951 a 1970 se llevaron a cabo proyectos de desarrollo energético entre centrales hidroeléctricas, construcción de líneas de transmisión, sistemas de transmisión y sub-transmisión así como sistemas rurales de distribución.

CEL continuó con su ritmo constante de expansión y crecimiento, comenzó con estudios para la construcción de otra central y el desarrollo de la energía geotérmica, recurrió a la producción de energía proveniente de combustibles fósiles y ejecutó dos grandes proyectos para el desarrollo de fuentes propias de energía: Planta Geotérmica de Ahuachapán 95 MW y la Central Hidroeléctrica Cerrón Grande 172.8 MW en 1976.

Debido a la reestructuración a gran escala del sector eléctrico en 1996, las principales actividades de CEL se dividieron en generación, transmisión, distribución y comercialización. Posteriormente, tres empresas se constituyeron para realizar algunas de estas actividades: la compañía geotérmica LaGeo (creada en 1999), la compañía de transmisión ETESAL (creada en 1999) y la institución operadora del mercado mayorista UT.

A partir de este proceso de modernización, las funciones de CEL se reducen a: 1) La operación de cuatro Centrales Hidroeléctricas del país, 2) Administrar empresas subsidiarias y 3) A la realización de estudios y proyectos para ampliar la capacidad instalada de tan importante fuente energética. La CEL está actualmente expandiendo sus actividades considerando políticas de calidad y responsabilidad social dedicándose a la investigación de nuevos sitios y formas alternativas de generación eléctrica, tales como la energía solar fotovoltaica y eólica

### **2.3 Situación Actual de las Empresas Eléctricas Privadas**

Acorde a los datos estadísticos provenientes de SIGET (2010), las empresas eléctricas privadas pertenecientes al sector eléctrico de El Salvador y operadores en el Mercado Mayorista de energía eléctrica, están compuestas por subsectores divididos de la siguiente manera: doce (12) empresas generadoras, una (1) empresa de transmisión, ocho (8) empresas de distribución y trece (13) empresas de comercialización.

### **2.4 Situación de cooperación por parte de los Donantes**

Los proyectos relacionados con el desarrollo de las energías renovables en El Salvador son descritos en el Capítulo 4 (Proyectos Existentes y en Desarrollo con fuentes de Energía Renovable) de este informe. De estos el proyecto que más se relaciona con el plan maestro es el siguiente: Estudio y Propuesta del Marco Regulatorio para la promoción de Energías Renovables en El Salvador (AEA-CNE, 2011), y en adelante será denominado como “Estudio del Marco Regulatorio”.

### **2.5 El Papel de las Energías Renovables en el Sector Eléctrico**

En esta sección se evalúa el papel de las energías renovables en el Sector Eléctrico de El Salvador en términos de capacidad instalada y generación de energía eléctrica. La evaluación se hace tomando como base las informaciones estadísticas de SIGET y la UT.

#### **2.5.1 En función de la capacidad instalada**

De acuerdo con las estadísticas de la SIGET, en la Tabla 2.5.1 se muestran las Centrales Eléctricas existentes en El Salvador al 31 de Diciembre del 2010.

En términos de capacidad efectiva, la proporción de recursos de energía queda definida como: energía hidroeléctrica 34.0%; geotérmica 13.2%, térmica 47.3% y biomasa 5.5%. El porcentaje de energía renovable (incluyendo la energía hidroeléctrica con capacidad instalada mayor a 20 MW) es 52.7% respecto al total de capacidad efectiva

**Tabla 2.5.1 Tipo de Recursos, capacidad instalada y capacidad efectiva de centrales eléctricas en El Salvador**

No.	Nombre de la Central	Número de Unidades	Capacidad Instalada		Capacidad Efectiva	
			(MW)	%	(MW)	%
	<b>Hidroeléctrica</b>		<b>472.0</b>	<b>32.3%</b>	<b>472.0</b>	<b>34.0%</b>
1	Guajoyo	(1x19.8)	19.8	1.36	19.8	1.43
2	Cerrón Grande	(2x86.4)	172.8	11.83	172.8	12.44
3	5 de Noviembre	(3x20)+(1x18.0)+(1x21.40)	99.4	6.8	99.4	7.15
4	15 de Septiembre	(2x90)	180	12.32	180	12.96
	<b>Geotérmica</b>		<b>204.4</b>	<b>14.0%</b>	<b>183.8</b>	<b>13.2%</b>
1	Ahuachapán	(2x30.00)+(1x35.00)	95	6.5	80	5.76
2	Berlín	(2x 28.12)+(1x44)+(1x9.2)	109.4	7.49	103.8	7.47
	<b>Térmica</b>		<b>691.2</b>	<b>47.3%</b>	<b>657.5</b>	<b>47.3%</b>
1	Duke Energy		338.3	23.2	312.0	22.5
	(a) Acajutla	Vapor (1x30.0)+(1x33.0)	63	4.31	61	4.39
		Gas (1x82.1)	82.1	5.62	64	4.61
		Diesel (6x16.5)+(3x17.0)	150	10.27	145	10.44
		Diesel (1x27)	27	1.85	27	1.94
	(b) Soyapango	Diesel (3x5.4)	16.2	1.11	15	1.08
2	Nejapa Power	Diesel (27x5.33)	144	9.86	141	10.15
3	Cemento de El Salvador	Diesel (3x6.40)+(2x6.70)	32.6	2.23	32.6	2.35
4	Inversiones Energéticas	Diesel (3x16.5) + (6x8.45)	100.2	6.9	100.2	7.2
5	Textufil	Diesel (2x3.6)+(2x7.05)+(1x7.38)+(2x7.72)	44.1	3.0	40.5	2.9
6	GECSA	Diesel (3x3.8704)	11.6	0.8	11.0	0.8
7	Energía Borealis	Diesel (8x1.7)	13.6	0.9	13.4	1.0
8	HILCASA Energy	Diesel (4x1.7)	6.8	0.5	6.8	0.5
	<b>Biomasa</b>		<b>93.5</b>	<b>6.4%</b>	<b>76.0</b>	<b>5.5%</b>
1	CASSA	(1x25)+(1x20)+(2x7.5)	50.0	3.4	45.0	3.2
2	Ingenio El Angel	(1x10)+(1x12.5)	22.5	1.5	13.0	0.9
3	Ingenio La Cabaña	(1x1.5)+(1x2)+(1x7.5)+(1x10)	21.0	1.4	18.0	1.3
	<b>Total</b>		<b>1,461.1</b>	<b>100.0%</b>	<b>1,389.3</b>	<b>100.0%</b>

(Fuente: Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 12 (SIGET, 2010))

## 2.5.2 En función de la generación de energía eléctrica

### 2.5.2.1 En función de generación de energía eléctrica anual

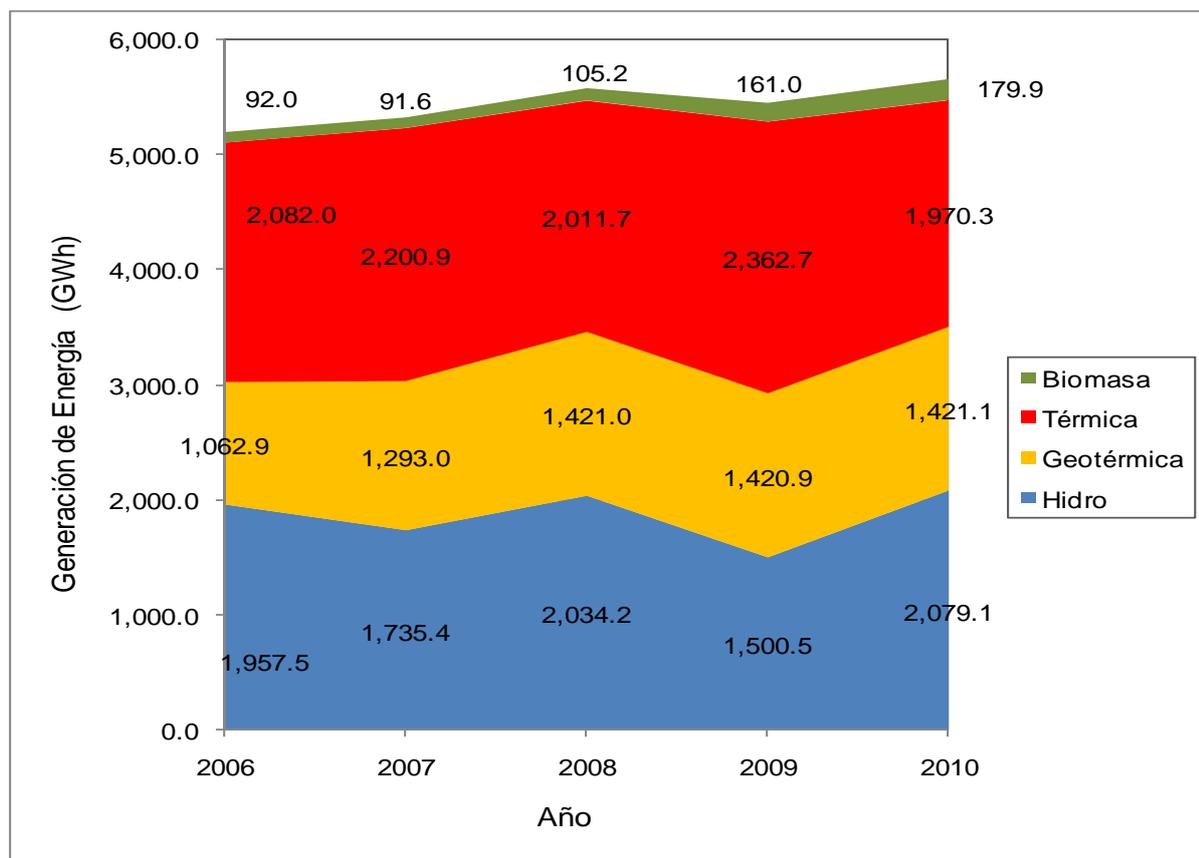
La Figura 2.5.1 y la Tabla 2.5.2 muestran el comportamiento de la generación de energía eléctrica anual por tipo de recurso de energía que fue inyectado al mercado mayorista durante el período de 2006 a 2010. La generación de energía eléctrica anual aumento alrededor de 1.7% por año en los últimos cinco años. Los recursos de energía comprenden: energía hidroeléctrica y térmica (30 a 40% cada una), geotérmica (cerca de 25%) y biomasa (el resto).

Se puede observar un aumento de generación geotérmica, como observado en la producción de la energía desde 2006 hasta 2008, y las razones de esto se deben a: la recuperación de potencia de salida de la

central de energía geotérmica de Ahuachapán, y las ampliaciones de la unidad número 3 (44 MW) y la unidad número 4 (9.4 MW) de la central geotérmica de Berlín. Desde 2008, la geotermia produce continuamente energía estable de 1,421 GWh por año.

Al analizar cada fuente de energía a nivel global podemos observar lo siguiente:

- La energía geotérmica y biomasa inyectan energía continua para atender la carga base.
- La energía hidroeléctrica fluctúa en cierta medida debido a las condiciones hidrológicas.
- La fluctuación de la energía hidroeléctrica es compensada por la energía térmica.



(Fuente: Reporte Anual de la UT 2006 a 2010)

**Figura 2.5.1 Generación de energía eléctrica anual por tipo de fuente de energía 2006 – 2010**

**Tabla 2.5.2 Generación de energía eléctrica anual por tipo de fuente de energía 2006 - 2010**

	2006	2007	2008	2009	2010
Hidroeléctrica	1,957.5	1,735.4	2,034.2	1,500.5	2,079.1
Geotérmica	1,062.9	1,293.0	1,421.0	1,420.9	1,421.1
Térmica	2,082.0	2,200.9	2,011.7	2,362.7	1,970.3
Biomasa	92.0	91.6	105.2	161.0	179.9
Total	5,194.4	5,320.9	5,572.1	5,445.1	5,650.4

(Fuente: Reporte Anual de la UT 2006 a 2010)

**2.5.2.2 En función de generación Mensual**

Las Tablas 2.5.3 y 2.5.4 muestran la situación actual de la generación de energía eléctrica mensual de los años 2009 y 2010, respectivamente. Las gráficas correspondientes son presentadas en las Figuras 2.5.2 y 2.5.3 respectivamente.

**Tabla 2.5.3 Generación de Energía Eléctrica Mensual en 2009 (GWh)**

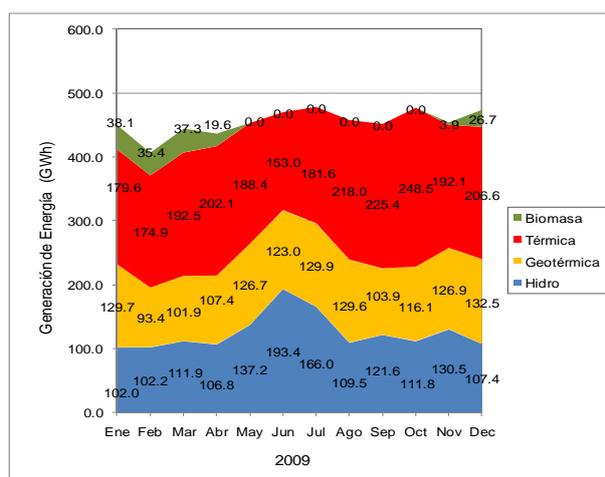
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Hidro	102.0	102.2	111.9	106.8	137.2	193.4	166.0	109.5	121.6	111.8	130.5	107.4	1,500.3
Geotérmica	129.7	93.4	101.9	107.4	126.7	123.0	129.9	129.6	103.9	116.1	126.9	132.5	1,421.0
Térmica	179.6	174.9	192.5	202.1	188.4	153.0	181.6	218.0	225.4	248.5	192.1	206.6	2,362.7
Biomasa	38.1	35.4	37.3	19.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	26.7	161.0
Total	449.4	405.9	443.6	435.9	452.3	469.4	477.5	457.1	450.9	476.4	453.4	473.2	5,445.0

(Fuente: Reporte Anual de la UT 2009)

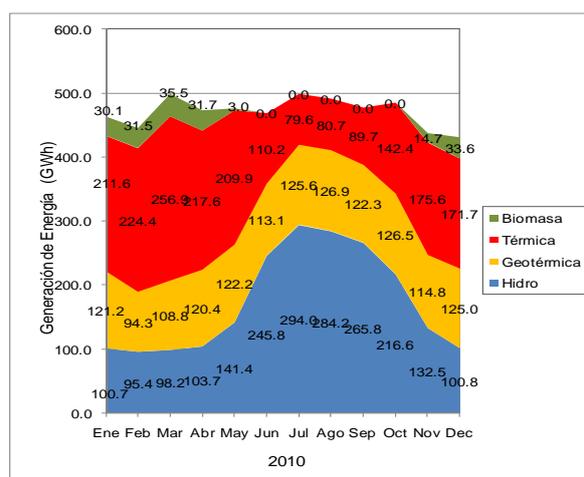
**Tabla 2.5.4 Generación de Energía Eléctrica Mensual en 2010 (GWh)**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Hidro	100.7	95.4	98.2	103.7	141.4	245.8	294.0	284.2	265.8	216.6	132.5	100.8	2,079.1
Geotérmica	121.2	94.3	108.8	120.4	122.2	113.1	125.6	126.9	122.3	126.5	114.8	125.0	1,421.1
Térmica	211.6	224.4	256.9	217.6	209.9	110.2	79.6	80.7	89.7	142.4	175.6	171.7	1,970.3
Biomasa	30.1	31.5	35.5	31.7	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	33.6	180.1
Total	463.6	445.6	499.4	473.4	476.5	469.1	499.2	491.8	477.8	485.5	437.6	431.1	5,650.6

(Fuente: Reporte Anual de la UT 2010)



(Fuente: Reporte Anual de la UT 2009)



(Fuente: Reporte Anual de la UT 2010)

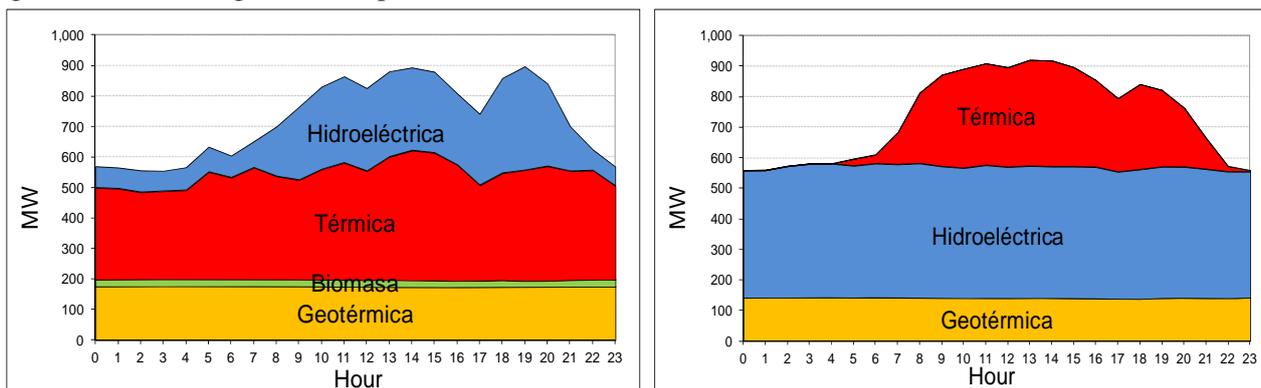
**Figura 2.5.2 Generación de Energía Eléctrica Mensual (2009)****Figure 2.5.3 Generación de Energía Eléctrica Mensual (2010)**

Debido que el costo unitario de generación por energía hidroeléctrica es más barato que la generación por

energía térmica, la energía hidroeléctrica se inyecta en el mercado mayorista primero. Al final, el balance de energía será cubierto por la energía térmica. Por otro lado, la generación por energía geotérmica mantiene una inyección constante durante del año. La generación por biomasa es inyectada solamente en el período comprendido desde Noviembre hasta Abril, el cual es el período de cosecha de la caña de azúcar.

### 2.5.2.3 Curva de carga diaria

La Figura 2.5.4 muestra la curva de carga diaria típica (durante los días de semana) para la época seca y lluviosa del 2011. Las formas de las curvas de carga diaria son similares. Hay dos picos en el día (10 a.m. a 3 p.m.) y por la tarde (7 p.m. a 8 p.m.). En la época lluviosa (Octubre), la energía geotérmica e hidroeléctrica suministran cargas base de aproximadamente 550 MW y la cantidad adicional de energía en las horas pico es suministrada por la energía térmica. En la época seca (Marzo), la energía geotérmica, térmica y biomasa proveen la carga base. Debido a la disminución de la descarga del río, la potencia de salida de la energía hidroeléctrica también disminuye, sin embargo las centrales hidroeléctricas de tipo reservorio son operadas para satisfacer los picos de la demanda. Como las centrales de biomasa usan bagazo, la generación está limitada al período que comprende desde Noviembre hasta Abril. No hay generación de energía en otros períodos.



(Fuente: Reporte de Inyecciones y Exportaciones, Unidad de Transacciones, 2011)

(a) Curva de Carga Diaria en época seca  
8 de Marzo (Martes), 2011

(b) Curva de Carga Diaria en época lluviosa  
4 de Octubre (Martes), 2011

Figura 2.5.4 Curvas de Carga Diaria por Tipo de Fuente

### 2.5.2.4 Recursos de Energía Renovables

En términos de capacidad instalada y generación de energía eléctrica, el papel de las energías renovables puede ser resumido de la siguiente manera:

#### A) Energía Hidroeléctrica

Durante el Período de lluvia, cuando el recurso de agua es abundante, la energía hidroeléctrica es inyectada al mercado mayorista antes que la energía proveniente de los otros recursos, ya que, tiene un costo de generación más barato. Sin embargo, durante el Período de escasez de agua, como en la época seca, el déficit es cubierto por la energía térmica y otros recursos.

**B) Energía Geotérmica**

Hay un suministro de energía geotérmica constante durante todo el año y cubre cerca de una cuarta parte del total de la energía inyectada. La Energía Geotérmica es considerada como uno de los recursos más importantes de energía.

**C) Energía por Biomasa**

En términos de proporción la capacidad instalada y la generación de energía eléctrica con recursos de biomasa es relativamente pequeña. Las plantas de energía existentes usan bagazo de caña de azúcar para la generación de energía, lo cual, solamente es posible durante los seis meses del período de zafra de la caña de azúcar (desde el mes de Noviembre hasta el mes de Abril). Durante ese período, la biomasa cubre el déficit dejado por la energía hidroeléctrica aunque la cantidad no es significativa.

## Capítulo 3 Leyes, Reglamentos y Normas relacionadas con el Sector Eléctrico

### 3.1 Leyes, Reglamentos y Normas Medioambientales

#### 3.1.1 Normativas y Legislaciones

Para el desarrollo de proyectos de energías renovables en El Salvador se deben tomar en cuenta las leyes y los reglamentos relacionados a la protección del medio ambiente. Bajo norma constitucional, la Ley de Medio Ambiente establece el marco legal, como: políticas, procedimientos e instituciones encargadas de su regulación. En la Tabla 3.1.1 se presentan la normativa y legislación relacionadas a la gestión ambiental.

**Tabla 3.1.1 Normativa y Legislación relacionada a la Gestión ambiental**

Legislación	Función
<b>&lt; Medio Ambiente en general &gt;</b>	
Constitución de la República de El Salvador	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regula todo lo relacionado al medio ambiente de manera general (Art. 36, 60, 65, 69, 101, 102, 113, 117)</li> <li>- Reconoce la propiedad como un derecho inviolable y establece los casos en que una persona puede ser privada de sus bienes por asunto de interés público legalmente comprobado y con indemnización justa.</li> </ul>
Ley del Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establece: Proteger, conservar y recuperar el medio ambiente.</li> <li>- Los Art. 16-27 y 29 se refieren a todo lo relacionado con el Estudio de Impacto Ambiental, el Art. 62-65 sobre aprovechamiento de recursos naturales, el Art. 86 contempla todas aquellas acciones consideradas como infracciones ambientales, etc.</li> </ul>
Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establece que el MARN es el responsable de elaborar los términos de referencias (TdR); de acuerdo a la envergadura de las actividades obras o proyectos, el titular deberá elaborar o no el estudio de impacto ambiental (EsIA). Art. 20. Arts. 12 y 32 sobre Consulta pública, Art. 22 Categorización ambiental Art. 19 proceso de evaluación ambiental, Art. 21 contenido del Formulario ambiental, Art. 23-28 Contenido del EsIA y sus componentes. Art. 34-39 permiso ambiental, fianza y auditorias.</li> </ul>
Categorización de Actividades, obras o proyectos conforme a la Ley del Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta los criterios para clasificar ambientalmente proyectos nuevos. Art. 21, 22, etc. Las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCHs) no están categorizadas por el MARN</li> <li>- (está en fase de aprobación)</li> </ul>
Ley de Riego y Avenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regula el uso de aguas, suelos, flora y fauna, recursos minerales y energéticos, saneamiento ambiental y recursos naturales.</li> </ul>
Código Municipal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regula el Ordenamiento territorial del municipio, cubriendo los bosques, aguas, suelos, flora y fauna, recursos minerales y energéticos y el saneamiento ambiental.</li> <li>- Todas las ordenanzas municipales que emita el municipio donde se desarrolle el proyecto, las cuales pueden involucrar: ordenanzas para la gestión ambiental, ordenanzas sobre impuestos específicos hacia la actividad a desarrollar, etc.</li> </ul>
Código Penal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establece las sanciones correspondientes por violar la legislación ambiental.</li> </ul>
<b>&lt; Contaminación y Residuos &gt;</b>	
Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establece los estándares de calidad ambiental, control de ruido, control de olores contaminantes, calidad del agua, calidad del suelo y disposiciones finales. Art. 6 límite de vertido y emisiones, Art. 19 calidad del agua del medio receptor. Art. 20 y 21 aguas</li> </ul>

<b>Legislación</b>	<b>Función</b>
Reglamento especial de aguas residuales	- Tiene por objeto velar porque las aguas residuales no alteren la calidad de los medios receptores, para contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenibles del recurso hídrico respecto de los efectos de la contaminación.
Reglamento sobre la calidad del agua el control de vertidos y las zonas de protección	- Art. 19 Establece que las descargas de residuos sólidos, líquidos o gaseosos a los diferentes medios acuáticos, alcantarillado sanitario y obras de tratamiento no podrán ser efectuados sin la previa autorización de la Autoridad Competente.
NSO 13.11.01:01 Norma Salvadoreña Obligatoria para Calidad del aire ambiental. Inmisiones atmosféricas	- Oficializada en el Diario Oficial 156 Tomo 360 el 26/08/2003. Esta norma tiene como objetivo establecer los límites de inmisión de los principales contaminantes del aire, que garantizan una calidad del aire ambiental aceptable para la salud y la vida humana en particular y para la vida silvestre en general.
NSO 13.49.01:09 Norma Salvadoreña Obligatoria para agua. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor	- Oficializada en el Diario Oficial 48 Tomo 382 el 11/03/2009. Esta norma tiene como objetivo establecer las características y valores físico-químicos, microbiológicos y radioactivos permisibles que debe presentar el agua residual para proteger y rescatar los cuerpos receptores.
Ley de ANDA	- Art. 70. ANDA. gozará de preferencia, para el uso o aprovechamiento de cualquier cuerpo de aguas u otros bienes de propiedad nacional o privada, que sean considerados necesarios para abastecimiento de aguas de descarga de alcantarillados sanitarios, sobre cualquier derecho que con las mismas finalidades tuvieren o alegaren personas naturales o jurídicas, organismos oficiales o semioficiales.
Código Civil	- Regula la descarga de aguas.
Reglamento especial en materia de sustancias, residuos y desechos peligrosos	- Tienen por objeto reglamentar la Ley del Ambiente, en lo que se refiere actividades relacionadas con sustancias, residuos y desechos peligrosos.
Reglamento especial sobre el manejo integral de los desechos sólidos	- Tiene por objeto regular el manejo de los desechos sólidos. El alcance del mismo será el manejo de desechos sólidos de origen domiciliario, comercial, de servicios o institucional; sean procedentes de la limpieza de áreas públicas, o industriales similares a domiciliarios, y de los sólidos sanitarios que no sean peligrosos.
Manual de Operaciones del Banco Mundial. Políticas operacionales del Banco Mundial.	OP 4.01, Evaluación Ambiental, de enero de 1999, que contiene el texto autorizado de esta directriz según fue aprobada por el Banco Mundial.
<b>&lt;Áreas Naturales Protegidas y Forestal &gt;</b>	
Ley de Áreas Naturales Protegidas	- Regula el establecimiento, administración, manejo e incremento de las Áreas Naturales Protegidas con el fin de conservar la biodiversidad.
Ley Forestal y su Reglamento	- Establece las disposiciones que permiten el incremento, manejo y aprovechamiento en forma sostenible de los recursos forestales. Art. 23 áreas de uso restringido. Art. 21 del Reglamento: transporte-almacenamiento de productos forestales: extracción de vegetación
Listado Oficial de Especies de Vida Silvestre Amenazadas o en Peligro de Extinción y Lista Roja Especies Amenazadas y en Peligro UICN 2010	- Protege el estatus de las especies, en peligro de extinción, amenazadas, etc. - Listado oficial del MARN 2009. Diario Oficial No. 103, Tomo 383, del 5 de junio de 2009.
Ley de Conservación de la Vida Silvestre	- Establece la protección de toda especie que sea parte de la diversidad biológica del país.
<b>&lt; Desarrollo Urbano y Uso de la Tierra &gt;</b>	
Ley de Urbanismo y Construcción y su Reglamento	- Regula y controla el desarrollo urbano, solicitando los permisos ambientales o el cumplimiento del trámite ambiental. - Establece la necesidad de implementación de reasentamientos humanos colectivos.

Legislación	Función
Ley de Expropiación y de Ocupación de Bienes por el Estado	- Dispone la expropiación y ocupación de bienes a fin de utilidad pública.
Ley Especial de Protección al Patrimonio Cultural de El Salvador y su Reglamento	Establece la necesidad de conservación del patrimonio cultura salvadoreño, así como el procedimiento para la obtención de una licencia del proyecto, en caso de hallazgos arqueológicos en el área del proyecto. Este procedimiento se tiene que canalizar a través de la Secretaria de Cultura.
Ley de Ordenamiento y Desarrollo territorial. Decreto No. 644, Tomo No. 392, publicado en el Diario Oficial No. 143, en fecha 29 de Julio de 2011.	El Objeto es desarrollar los principios Constitucionales relacionados con el ordenamiento y desarrollo territorial; establecer las disposiciones que regirán los procesos de ordenamiento y desarrollo territorial; enumerar los principios rectores de la administración pública y municipal; organizar la institucionalidad que implementara la ley y sus funciones; regular los instrumentos de planificación, programación, evaluación y gestión territorial; así como, el régimen sancionatorio aplicable a la violación de sus disposiciones.
Ley de Ordenamiento y Desarrollo territorial del Área Metropolitana de San Salvador y Municipios aledaños, AMSS. Decreto Legislativo 855, publicado en el Diario Oficial No. 88, Tomo No. 383, de fecha 15 de mayo de 2009.	La presente Ley tiene por objeto regular el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano y rural del Área Metropolitana de San Salvador y Municipios Aledaños, mediante el mejor aprovechamiento de los recursos de las distintas zonas y la plena utilización de los instrumentos de planeación.
Reglamento a la Ley de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del AMSS y municipios aledaños. Decreto No. 4 del 4 de diciembre de 2008, Tomo 382 del 21 de enero de 2009.	El presente Reglamento tiene por objeto establecer las disposiciones que regularán el funcionamiento de las Instituciones creadas por la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y Municipios aledaños; establecer los procedimientos para la formulación de los diferentes Instrumentos de Planificación del Desarrollo Urbano del AMSS.
Ley de la Reforma Agraria	Describe la ley de reforma agraria como la transformación de la estructura agraria en el país, mediante la incorporación de la población rural al desarrollo económico, social y político de la nación y con la equitativa distribución de la tierra con el sistema de propiedad, tenencia y explotación que permita una adecuada organización para créditos y asistencia a los productores. La reforma agraria es de aplicación nacional y afecta todos los inmuebles por naturaleza, adherencia y destinación de uso agrícola, ganadero y forestal. El ISTA (Instituto Salvadoreño de Transformación Agraria) es el encargado de administrar esta ley.
<b>&lt; Salud y Saneamiento &gt;</b>	
Código de Salud	Regula lo relativo al saneamiento ambiental, rige lo referente a la disposición adecuada de excretas y aguas servidas, la eliminación de basuras y otros desechos, la eliminación y control de insectos vectores, roedores, y otros animales dañinos, así como la higiene de los alimentos, el saneamiento y buena calidad de las construcciones en general, la higiene y seguridad en el trabajo, la eliminación y control de contaminantes del agua de consumo, del suelo y del aire, y la eliminación y control de riesgos ambientales.

Legislación	Función
<b>&lt; Energía y Electricidad &gt;</b>	
Ley General de Electricidad. SIGET	La Ley General de Electricidad es la ley fundamental en materia de electricidad. La Ley norma las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Sus disposiciones son aplicables a todas las entidades que desarrollen las actividades mencionadas, sean estas de naturaleza pública o privada, independientemente de su grado de autonomía y régimen de constitución. Art. 13, para obtener las concesiones se requiere el estudio de impacto ambiental, previamente aprobado por las autoridades competentes en la materia. Art. 106. Las infracciones graves serán sancionadas por la SIGET con multa de hasta cincuenta mil colones y las muy graves con multa de hasta quinientos mil colones. Para la determinación de las sanciones, se tendrán en cuenta lo siguiente: a) El peligro resultante de la infracción para la vida y salud de las personas, la seguridad de las cosas y el medio ambiente.
Ley de Creación del Consejo Nacional de Energía. CNE	Decreto Legislativo No. 404, de enero de 2007. Consejo Nacional de Energía, que tiene por objeto proponer, gestionar y coadyuvar con los organismos correspondientes, la aprobación de estrategias energéticas que contribuyan al desarrollo socio económico del país, en armonía con el medio ambiente. Con base en el art. 5 de La Ley de Creación del CNE y por su carácter estratégico es conducido por una Junta Directiva de carácter ministerial presidida por el Ministerio de Economía e integrada por los ministros de Hacienda; Medio Ambiente; Obras Publicas; Secretaria Técnica de la Presidencia y la Defensoría del Consumidor.

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

### 3.1.2 Instituciones relacionadas con el ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

#### 3.1.2.1 Estructura del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN

La estructura del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) se muestra en la Figura 3.1.1.



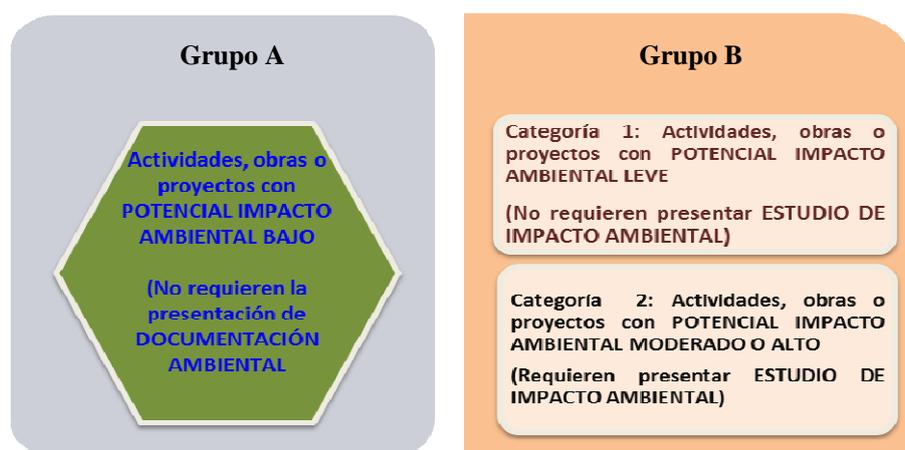
(Fuente: [www.marn.gob.sv](http://www.marn.gob.sv), 19 de julio de 2011)

**Figura 3.1.1 Estructura Organizativa del MARN**

## 3.2 Procedimientos para el Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

### 3.2.1 Categorización del Proyecto

Este apartado se basa en el instrumento de Categorización de Actividades, obras y proyectos elaborado por el MARN. El propósito primordial es dar cumplimiento al Art. 22 de la Ley del Medio Ambiente el cual está relacionado con los artículos 18,19, 20, 21 y 24 de dicha ley. El artículo 22 de la Ley del Medio Ambiente establece que el Ministerio de medio Ambiente y Recursos Naturales categorizará la actividad obra o proyecto de acuerdo a su envergadura y a la naturaleza del impacto potencial: con ello, técnica y jurídicamente podrá determinarse la clase de documentación ambiental que el titular debe presentar, facilitando así la evaluación de impacto ambiental, entendida como el proceso o conjunto de procedimientos, que permite al Estado, en base a un Estudio de Impacto Ambiental, evaluar los impactos ambientales que la ejecución de una determinada obra, actividad o proyecto puedan causar sobre el ambiente, así como asegurar la ejecución y seguimiento de las medidas ambientales que puedan prevenir, eliminar, corregir, atender, compensar o potenciar según sea el caso, dichos impactos ambientales. Este instrumento divide las actividades en Grupo A: *Impacto ambiental potencial bajo*, lo que significa que el titular del proyecto *no* deberá presentar documentación ambiental. Grupo B: Categoría 1: Potencial impacto ambiental leve, *no requiere presentar EsIA*, y Categoría 2: Potencial impacto ambiental moderado o alto, *requiere presentar EsIA*.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA, en base a la Regulación General de la Ley de Ambiental, documentos del MARN)

**Figura 3.2.1 Categorización de proyectos según el nivel con Potencial Impacto Ambiental**

### 3.2.2 EsIA y Permiso Ambiental

En El Salvador, el EsIA se realiza con base a la Ley del Medio Ambiente y sus Reglamentos. Como mencionado anteriormente, cuando el proyecto requiere de la elaboración de un EsIA, la agencia ejecutora podrá implementar actividades relativas para obtener el permiso ambiental del MARN. En la Tabla 3.2.1 se presentan los pasos a seguir para obtener Permiso Ambiental y los tiempos estimados experimentados por La Geo y CEL.

**Tabla 3.2.1 Pasos y tiempo estimados para Obtener Permiso Ambiental**

	<b>Pasos para Obtener Permiso Ambiental</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tiempos Promedios Caso real LAGEO (días)</b>	<b>Tiempos Promedios Caso real CEL (días)</b>
1	Presentación al MARN de Formulario Ambiental	Titular del proyecto	30	30
2	Tiempo de espera para la inspección en sitio (MARN)	MARN	50	45
3	Emisión de Términos de Referencia para EsIA	MARN	50	45
4	Elaboración del EsIA	Titular del proyecto	60	60
5	Entrega del EsIA al MARN	Titular del proyecto	2	2
6	Revisión del EsIA y notificación de observaciones	MARN	55	50
7	Superación de observaciones y remisión al MARN de observaciones superadas	Titular del proyecto	60	45
8	Notificación de formato de publicación de Consulta Pública	MARN	15	15
9	Solicitud de publicación de formato de Consulta Pública	Titular del proyecto	10	10
10	Preparación y Realización de la Consulta Pública	Titular del proyecto /MARN	12	12
11	Comentarios a los resultados de la Consulta Pública	MARN	51	51
12	Respuesta del Ministerio relacionado a observaciones de Consulta Pública y finalización del Informe de EsIA	Titular del proyecto	20	20
13	Notificación de fianza de cumplimiento ambiental	MARN	10	10
14	Proceso de licitación para compra de Fianza de Cumplimiento Ambiental	Titular del proyecto	30	30
15	Presentación de Fianza al MARN	Titular del proyecto	2	2
16	Emisión de Permiso Ambiental	MARN	14	15
Tiempo promedio del proceso			471	442

(Fuente: Equipo de Estudio JICA, La Geo y CEL)

### 3.3 Leyes, Reglamentos y Normas sobre el Uso del Suelo

#### 3.3.1 Decreto Legislativo No. 855 del Uso del Suelo

Los reglamentos del uso del suelo en El Salvador provienen de la Ley de “Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y Municipios Aledaños en El Salvador<sup>4</sup>” (de aquí en adelante llamado “Decreto Legislativo No. 855 del Uso del Suelo”). El Decreto legislativo No. 855 es controlado por la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) y se aplica al Área Metropolitana de San Salvador y sus 14 municipalidades aledañas.

Para otras áreas, los gobiernos locales de cada departamento tienen divisiones a cargo del control del uso del terreno. Las divisiones a cargo en el gobierno local usan el Decreto Legislativo No. 855 del Uso del Suelo aplicando las leyes municipales correspondientes en sus propias oficinas.

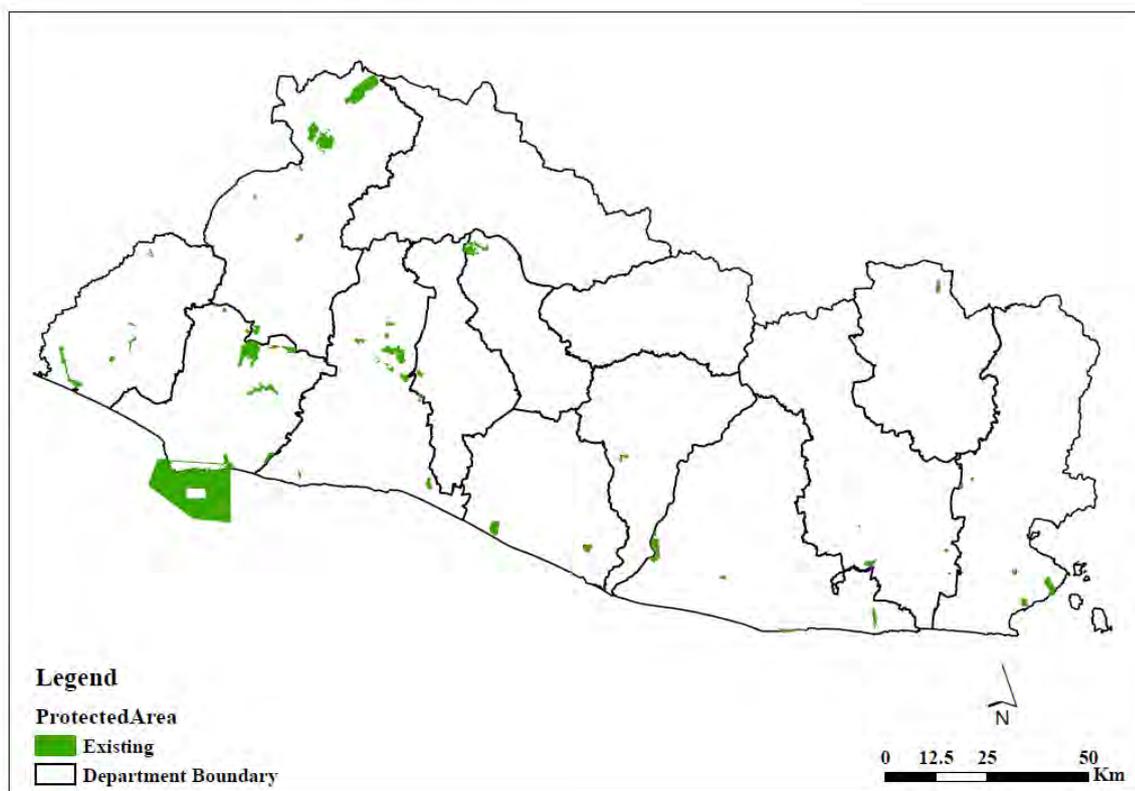
<sup>4</sup> Diario Oficial No. 18, Volumen 322, publicado el 26 de Enero de 1994, revisado en 2009 en el Decreto Legislativo 855.

### 3.3.2 Áreas Naturales Protegidas

La Ley de Medioambiente, la cual se estableció por el Decreto Legislativo No. 579 de fecha 15 de Febrero de 2006, en los artículos desde 78 a 81 y en los artículos desde 85 a 95 se refiere a las áreas naturales protegidas. Los siguientes tres puntos son enfatizados en particular.

- Establecer un sistema legal, un sistema de gestión y especificaciones del área en observación relacionadas con las áreas naturales protegidas para la conservación de la diversidad biológica
- Conservar el ecosistema en la áreas naturales protegidas, y
- Mejorar la sostenibilidad del ecosistema en las áreas naturales protegidas con un adecuado control.

Hasta enero de 2012 las 69 áreas naturales protegidas son especificadas por el MARN y se muestran en el siguiente mapa.



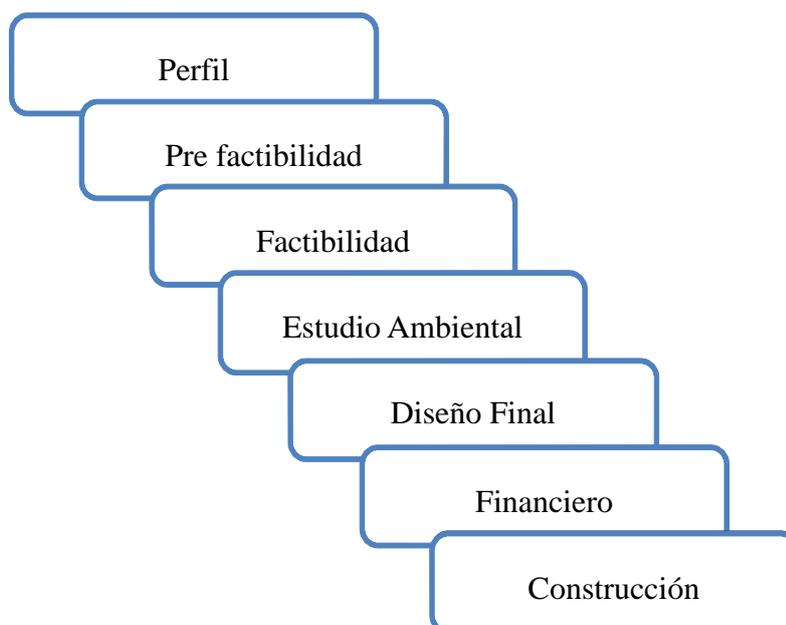
(Fuente: MARN)

**Figura 3.3.1 Ubicación de Áreas Protegidas**

## 3.4 Leyes, Reglamentos y Normas que regulan la participación de los Generadores Privados de Energía Eléctrica

### 3.4.1 Flujograma del Desarrollo de Energía Renovable

Si los desarrolladores privados de energía eléctrica desean participar en el Mercado eléctrico tendrán que seguir los procedimientos listados en la Figura 3.4.1. Los procedimientos cubren el perfil del proyecto y los estudios necesarios para la elaboración del proyecto.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA )

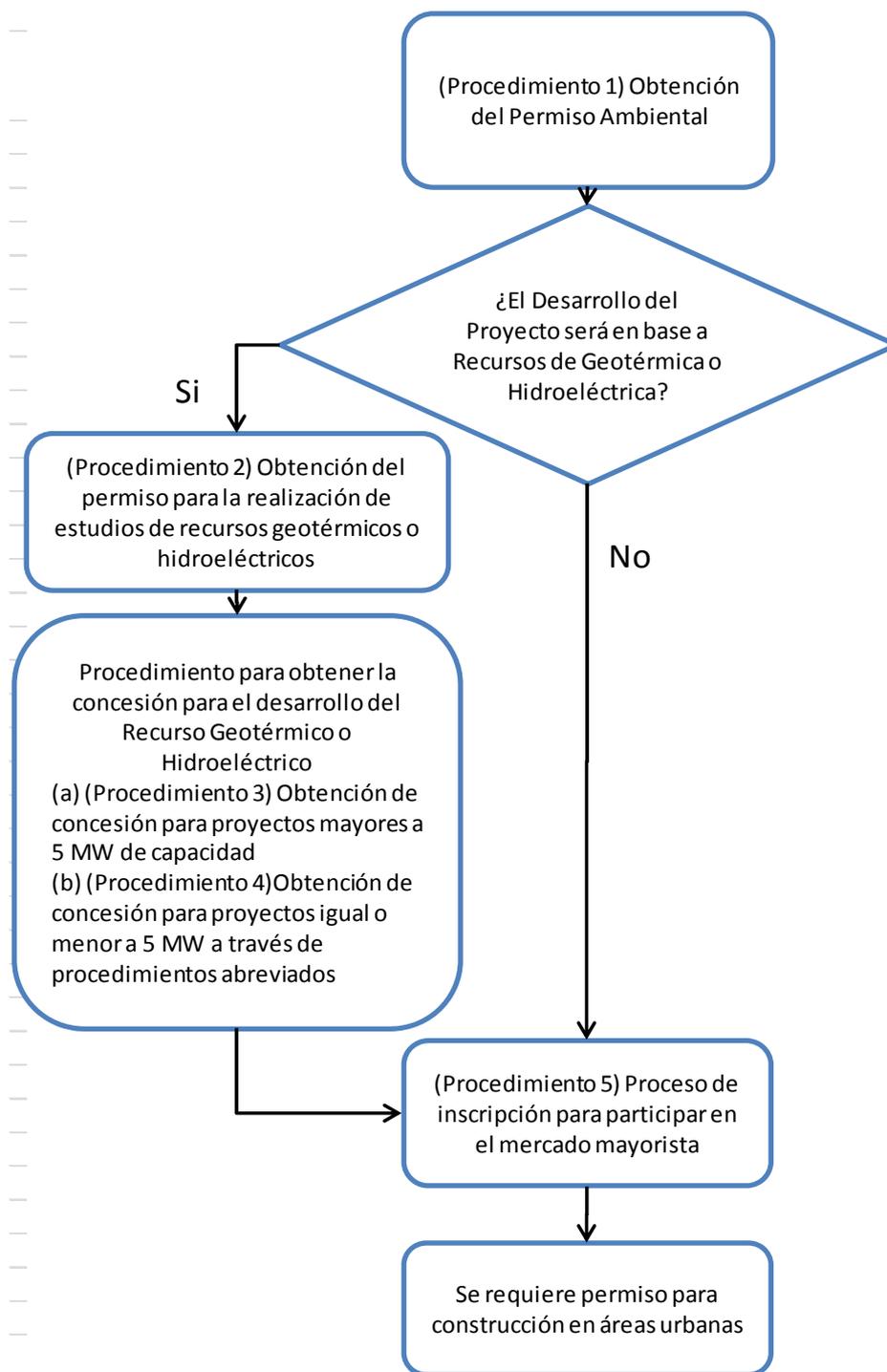
**Figura 3.4.1 Flujo grama para la implementación del proyecto**

### 3.4.2 Procedimientos Requeridos

Los procedimientos requeridos para realizar el mencionado desarrollo de energía eléctrica por medio de energía renovable, se pueden categorizar en cinco procedimientos principales:

- (Procedimiento 1) Obtención del Permiso Ambiental
- (Procedimiento 2) Obtención del permiso para la realización de estudios de recursos geotérmicos o hidroeléctricos
- (Procedimiento 3) Obtención de concesión para proyectos mayores a 5 MW de capacidad
- (Procedimiento 4) Obtención de concesión para proyectos igual o menor a 5 MW a través de procedimientos abreviados
- (Procedimiento 5) Proceso de inscripción para participar en el mercado mayorista para proyectos mayores o iguales a 5 MW

Los cinco procedimientos principales son ilustrados en la Figura 3.4.2 acorde al tipo y tamaño del desarrollo de fuentes renovables de energía.

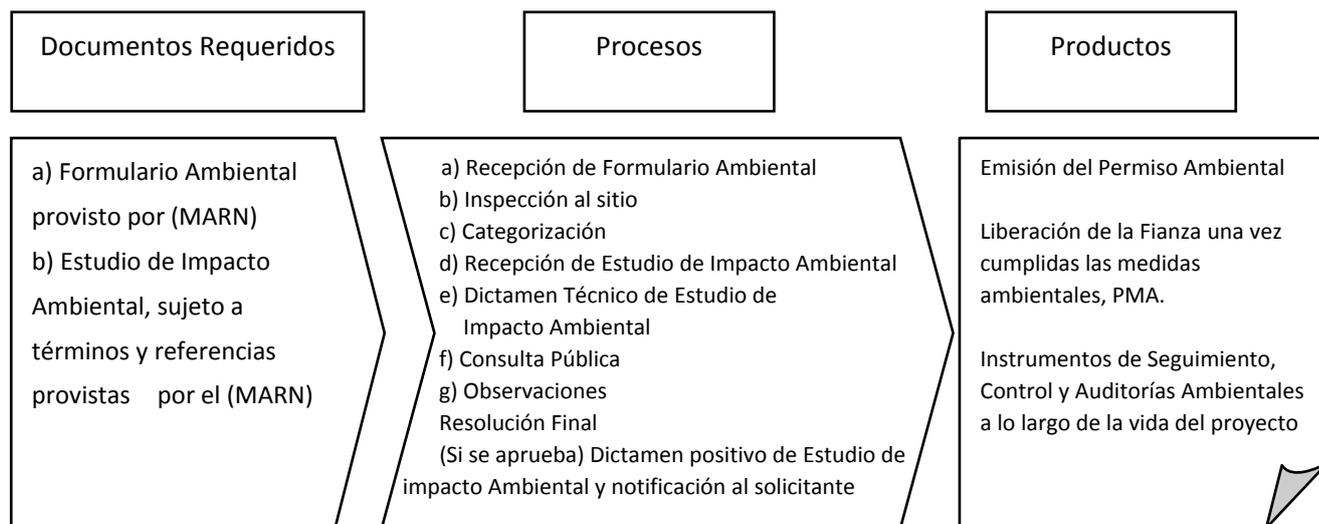


(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 3.4.2** Flujograma del registro de productores de energía en el Mercado eléctrico

Procedimientos requeridos tales como documentos, flujo de procedimientos y resultados en cada paso serán descritos a continuación:

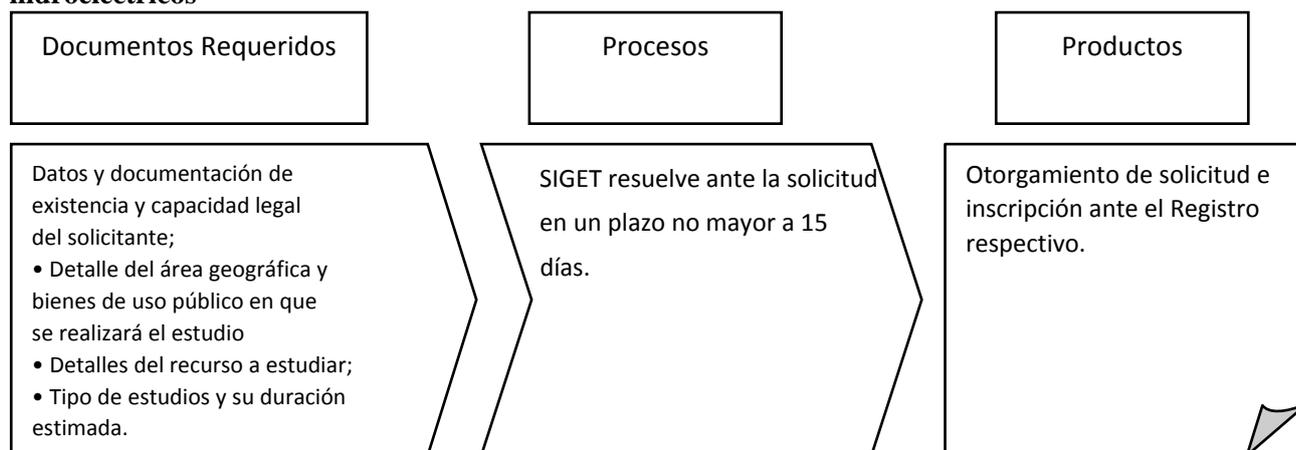
**(Procedimiento 1) Obtención del Permiso Ambiental**



(Fuente: Reporte de SIGET, ARECA)

**Figura 3.4.3 Procesos para obtener el permiso ambiental**

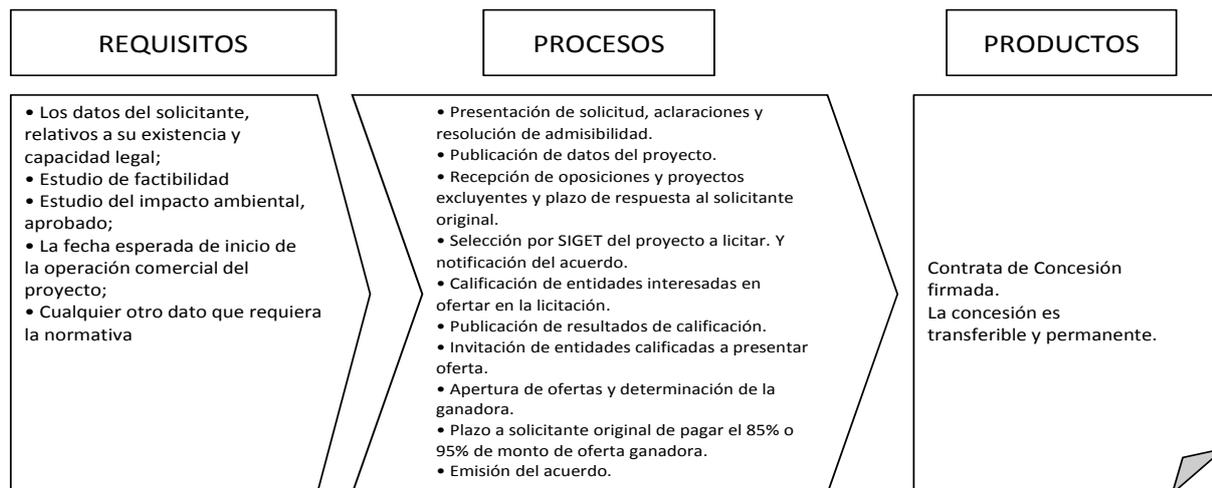
**(Procedimiento 2) Obtención del permiso para la realización de estudios de recursos geotérmicos o hidroeléctricos**



(Fuente: Reporte de SIGET, ARECA)

**Figura 3.4.4 Proceso para obtener permiso para la realización de estudios de recursos geotérmicos o hidroeléctricos**

**(Procedimiento 3) Obtención de concesión para proyectos mayores a 5 MW de capacidad**



(Fuente: Reporte de SIGET, ARECA)

**Figura 3.4.5 Procedimientos para obtener concesión para proyectos mayores de 5 MW**

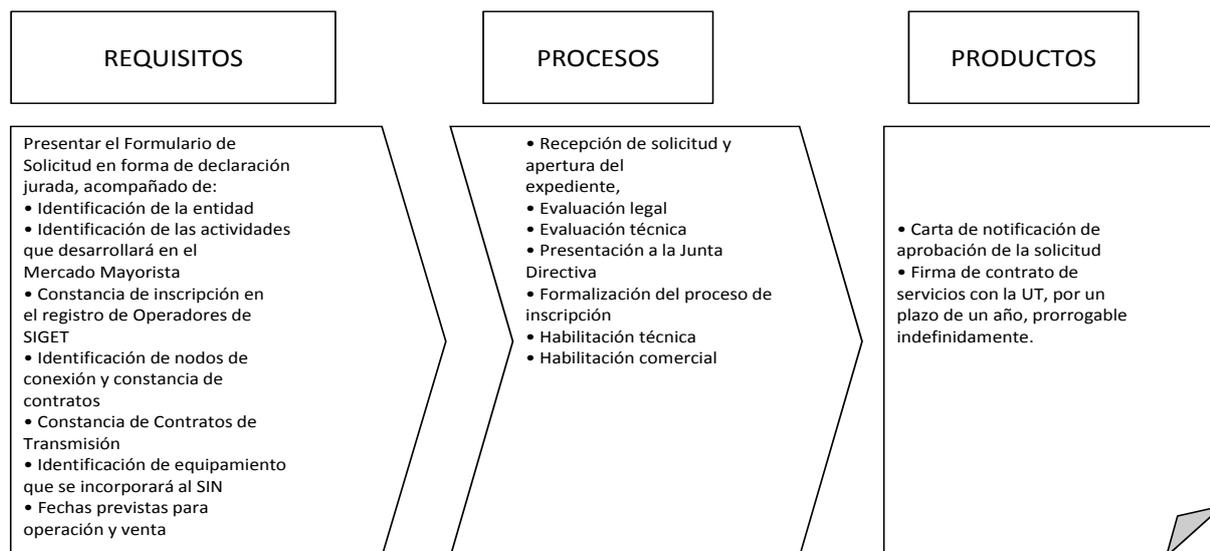
**(Procedimiento 4) Obtención de concesión para proyectos igual o menor a 5 MW a través de procedimientos abreviados**



(Fuente: Reporte de SIGET, ARECA)

**Figura 3.4.6 Procesos para la obtención de concesión para proyectos con capacidad igual o menor a 5 MW**

**(Procedimiento 5) Proceso de inscripción para participar en el mercado mayorista**



(Fuente: Reporte de SIGET, ARECA)

**Figura 3.4.7 Procedimientos para el registro en la participación del mercado mayorista**

**3.4.3 Incentivos Actuales**

Como incentivos para la introducción de energías renovables existe actualmente una medida llamada “LEY DE INCENTIVOS FISCALES PARA EL FOMENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD” (Decreto Legislativo No. 462) que fue emitido en diciembre de 2007.

La ley cubre las actividades referentes a las nuevas inversiones o construcciones de plantas de generación eléctrica. Los incentivos fiscales se aplican en forma de exención de impuestos de importación y de renta cuyos detalles se presentan abajo:

(Exención del impuesto de importación)

- (1) Durante los primeros 10 años, los desarrolladores gozarán de la exención del impuesto de importación de las maquinarias, equipos, materiales y almacenamientos que se usan exclusivamente en las inversiones previas o construcción de plantas de generación eléctrica incluyendo la instalación de cables de transmisión y distribución.
- (2) La exención del pago del impuesto de importación se aplica a los proyectos de hasta 20 megavatios (MW) y deberá solicitarse al Ministerio de Hacienda 15 días de antemano previa a la importación de maquinarias, equipos, materiales y almacenamientos necesarios de usos exclusivamente para el objetivo del proyecto en cuestión. Para este fin será obligatorio preparar documentos del proyecto del formato designado por el SIGET.

(Exención del impuesto sobre la renta)

- (1) Se permite tener exención del impuesto sobre la renta durante 5 años en el caso de proyectos en el margen de 10 MW a 20 MW de potencia y durante 10 años en el caso de proyectos menores que no

supera a 10 MW. La ley se aplica desde el primer año fiscal en el que empieza la operación y se obtenga el ingreso.

- (3) La exención total del pago del impuesto sobre la renta se aplica al ingreso a partir de la venta de “reducción de emisión certificada”(CERs) bajo el Clean Development Mechanism (CDM) o mercado similar de carbón, obtenido por los proyectos calificados y por los beneficiario

## Capítulo 4 Proyectos Existentes y en Desarrollo con Energías Renovables

En este capítulo se ha revisado la siguiente información en energías renovables: (i) situación actual, (ii) barreras en la implementación, (iii) estudios relacionados y proyectos existentes y en desarrollo, y (iv) planes de proyectos futuros. Se presentan descripciones sobre las energías renovables en general, así como de pequeñas centrales hidroeléctricas, energía eólica, energía solar fotovoltaica, energía solar térmica, energía geotérmica, energía de biomasa y energía de biogás. Considerando la información de los puntos (i) hasta el (iv) antes mencionados, se dará una descripción concerniente al enfoque básico dirigido a la formulación del Plan Maestro, es decir, cómo formular el Plan Maestro tomando en consideración la información disponible

### 4.1 Situación actual

En la Tabla 4.1.1 se listan las centrales eléctricas que utilizan fuentes de energía renovables para el año 2010.

**Tabla 4.1.1 Capacidad instalada en cada central eléctrica fuente de energía renovable**

Tipo de Central Eléctrica	Capacidad Instalada (MW)
Hidroeléctrica ( $\geq 20$ MW): 3 centrales	452
Pequeña Hidroeléctrica ( $< 20$ MW): 17 centrales ( $\geq 5$ MW: una central, $< 5$ MW: 16 centrales)	35
Central Eléctrica Geotérmica: 2 centrales	204
Central Eléctrica de Biomasa: 3 centrales(*)	104
Total	795

(Fuente: Boletín de SIGET 2010) \*: Una fábrica más llamada "Chaparrastique" comenzó generación en 2011.

Las centrales hidroeléctricas hasta 20 MW de capacidad (tres centrales), pequeñas centrales hidroeléctricas mayores o iguales a 5 MW (una central) y centrales geotérmicas (dos centrales), están conectadas a la red eléctrica de alto voltaje (línea de transmisión de 115 kV) para poder vender energía al mercado mayorista. Por otra parte, las pequeñas centrales hidroeléctricas con menos de 5 MW de capacidad (16 centrales) están conectadas a las redes eléctricas de medio voltaje (líneas de distribución de 46 kV, 23kV ÷ 13.2 kV) y venden energía directamente a las compañías distribuidoras.

Mayores detalles de cada fuente de energía renovable son mostrados en las posteriores secciones.

### 4.2 Pequeñas centrales hidroeléctricas

De acuerdo con la revisión de estudios previos, se identificaron proyectos con potenciales hidroeléctricos en 12 sitios para capacidades mayores de 20 MW y en 86 sitios para capacidades menores de 20 MW.

El potencial total de energía hidroeléctrica en El Salvador es de 2,235 MW y el potencial de las pequeñas centrales hidroeléctricas menores de 20 MW es de 158 MW. De acuerdo a los estudios previos, se estima una producción anual promedio de energía de los sitios potenciales de 7,624 GWh/año en total y 675 GWh/año para las pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidades menores de 20 MW. Estas energías anuales estimadas incluyen valores calculados asumiendo un factor de planta del 50%, el cual será

necesario examinar más adelante.

#### **4.2.1 Situación actual**

Las centrales hidroeléctricas existentes en El Salvador se muestran en la Tabla 4.2.1 y la Figura 4.2.1. En el año 2011 se contabilizaron un total de 20 centrales hidroeléctricas con una capacidad instalada de 487 MW en total. Existen 17 pequeñas centrales hidroeléctricas menores de 20 MW con una capacidad instalada de 35 MW en total.

Tabla 4.2.1 Centrales hidroeléctricas existentes (2011)

No.	Central de Generación	Localización por Departamento	Ccapacidad (MW)	Unidades	Inyección (MWh)	Estatal/Privada	Agente Receptor
1	Guajoyo	Metapán, Santa Ana	19.80	(1x19.8)	51,200	Estatal -CEL	ETESAL
2	Cerrón Grande	Chalat./Cuscatlán/Caba	172.80	(2x86.4)	401,000	Estatal -CEL	ETESAL
3	5 de Noviembre	Cabañas/Cuscatlán	99.40	(3x20)+(1x18)+(1x21.4)	474,100	Estatal -CEL	ETESAL
4	15 de Septiembre	San Vicente/Usulután	180.00	(2x90)	574,100	Estatal -CEL	ETESAL
5	Cucumacayán	Sonsonate	2.30	(1x1.4)+(1x0.9)	11,687	Estatal - CECSA	DELSUR
6	Río Sucio	Santa Ana	2.50	(1x2.5)	8,230	Estatal - CECSA	CAESS
7	Milingo	San Salvador	0.80	(2x0.4)	2,639	Estatal - CECSA	“ “
8	Bululú	Sonsonate	0.70	(1x0.7)	3,283	Estatal - CECSA	AES-CLESA
9	Atehuasías	Ahuachapán	0.60	(1x0.6)	0	Estatal - CECSA	“ “
10	Cutumay Camones	Santa Ana	0.40	(1x0.4)	672	Estatal - CECSA	“ “
11	Sonsonate	Sonsonate	0.20	(1x0.2)	899	Estatal - CECSA	“ “
12	San Luis I	Santa Ana	0.60	(1x0.6)	3,178	Estatal - CECSA	“ “
13	San Luis II	Santa Ana	0.74	(1x0.74)	0	Estatal - CECSA	“ “
14	Sensunapán Nahizalco)	Sonsonate	2.80	(3x1.0)	17,246	Private - Sensunapán	AES-CLESA
15	La Calera	La Union	1.50	(1x1.5.0)	5,310	Private - De Matheu	AES-CLESA
16	Papaloate	Sonsonate	2.00	(1x2.0)	7,306	Private - Papaloate	AES-CLESA
17	La Chacra	Morazán	0.017	(1x0.017)	N.D.	Private - SABES	Autoconsumo
18	Carolina	San Miguel	0.05	(1x0.050)	N.D.	Private - SABES	“ “
19	El Junquillo	Morazán	0.014	(1x014)	N.D.	Private - SABES	“ “
20	Miracapa	San Miguel	0.034	(1x034)	N.D.	Private - SABES	“ “
		Total	487.255		1,560,849		

N.D.: No data

(Fuente: Consultoría para recopilar estudios realizados sobre energías renovables para su validación, marzo 2011, GIZ-CNE)

#### 4.2.2 Barreras en la Implementación

A continuación se detallan las barreras que existen en la introducción del desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas en El Salvador.

1. Falta de subsidios o fondos por parte del Gobierno Central a fin de que los desarrolladores puedan llevar a cabo los estudios y/o desarrollar pequeñas centrales hidroeléctricas.
2. Falta de datos hidrológicos (el número de estaciones hidrológicas es limitado y los períodos de observación son cortos en algunas estaciones).
3. El alto costo de los datos hidrológicos proporcionados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).
4. Es necesario actualizar los potenciales de energía hidroeléctrica, los costos y valores económicos en cada uno de los sitios potenciales ya que la última encuesta del potencial hidroeléctrico data de 1989 (hace más de 30 años), la cual fue realizada a nivel nacional por parte de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) y la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA).
5. El número de consultores e ingenieros expertos en energía hidroeléctrica en El Salvador es limitado.
6. La complejidad de los diversos procedimientos y el tiempo que conlleva obtener los permisos: del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) y de conexión a la red de distribución, etc.
7. Actualmente existe una categorización ambiental de los proyectos para la energía hidroeléctrica y geotérmica. Las otras 5 energías objeto de este informe, y que fueron detalladas en el capítulo anterior se incluirán en una propuesta de categorización ambiental sobre energías renovables, la cual están trabajando las entidades gubernamentales del sector energético y ambiental
8. Falta de mecanismos para incentivar el desarrollo de energías renovables, tales como "Renovable Portfolio Standard" (RPS).
9. Los aspectos socio-culturales de las zonas donde se realiza el desarrollo de los proyectos tiene tendencias muy marcadas a no permitir el desarrollo de estos proyectos, tal es el caso del proyecto hidroeléctrico Sumpul ubicado en el norte de Chalatenango, es una zona muy delicada socialmente ya que ellos son excombatientes de la guerrilla y se oponen rotundamente al desarrollo de este proyecto y ellos alegan que es porque el río es el recuerdo de sus mártires y que no permitirán la construcción por el simple hecho de no tocar el río.

#### 4.2.3 Estudios relacionados, proyectos existentes y en desarrollo

A la fecha se han realizado diversos estudios del potencial de energía hidroeléctrica los cuales se detallan a continuación:

- a) "Primer Plan Nacional de Desarrollo Energético Integrado 1988-2000", Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), enero de 1988.
- b) "Pequeñas centrales hidroeléctricas en El Salvador", estudio conjunto entre CEL y UCA (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas), Ing. Axel Soderberg / Ing. Hermes

Landaverde, abril 1989.

- c) “Inventario de ríos con potencial hidroeléctrico”, Ing. Córdova, UCA, mayo de 1998.
- d) “Electrificación con base en recursos de energía renovable”, Transenergie, F. Lozano / J. Cottin, MARN, el PNUD-FMAM, octubre de 2002.
- e) “Consultoría para recopilar estudios realizados sobre energías renovables para su validación estimando el potencial real de recursos renovables para ser utilizados en proyectos de generación de electricidad menores de 20 MW en El Salvador”, Lozano F., GIZ, CNE, marzo 2011.

#### 4.2.4 Plan de Desarrollo a Futuro

De acuerdo con los estudios previos, los proyectos y sitios con potencial hidroeléctrico en El Salvador se describen en las Tablas 4.2.3. Las plantas hidroeléctricas existentes y sitios potenciales se muestran en la Figura 4.2.1. La capacidad total del potencial hidroeléctrico se resume en la Tabla 4.2.2.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA. (Preparado utilizando estudios previos disponibles))

**Figura 4.2.1 Centrales hidroeléctricas existentes y sitios con potencial hidroeléctrico**

**Tabla 4.2.2 Resumen del potencial hidroeléctrico en El Salvador**

Categoría	Número de proyectos	Capacidad total (MW)	Energía anual (GWh/año)	Institución implementadora
≥ 20 MW	18	2,077	6,949	CEL/ Gobierno / Corporativo, privado
< 20 MW	86	158	675	Inversión privada
<b>TOTAL</b>	<b>104</b>	<b>2,235</b>	<b>7,624</b>	

Nota: La energía anual incluye valores estimados suponiendo un factor de planta promedio de 0.5  
 (Fuente: Equipo de Estudio JICA. (Preparado utilizando estudios previos disponibles))

**Tabla 4.2.3 Lista de proyectos pequeños con potencial hidroeléctrico menor de 20 MW (1/2)**

No	Proyecto de Energía	Río	Departamento	Potencial (MW)	Energía (kWh/año)	Estado	Fuente	Latitud	Longitud
<b>AEA PROJECTS</b>									
1	El Calambre	El Calambre	Morazán	0.058	311	En construcción	http://appext.sica.int/	13.9833	88.0833
2	Guanijiquil - Poza Honda	Sapo	Morazán	0.131	510	Factibilidad	http://appext.sica.int/	13.8167	88.1167
3	La Loma	Oscala	Morazán	0.055	398	Factibilidad	http://appext.sica.int/	13.5333	88.2333
4	Gualpuca	Gualpuca	Morazán	1.000	6,155	Factibilidad	http://appext.sica.int/	13.4600	88.2000
5	Santa Rosa	Riachuelo	San Miguel	0.038	260	Factibilidad	http://appext.sica.int/	13.7667	88.2167
6	La Cabaña	Grande de San Miguel	Usulután	0.980	4,300	Factibilidad	http://appext.sica.int/	13.1700	88.1700
7	El Progreso	Aruate	Morazán	0.033	280	Factibilidad	http://appext.sica.int/	13.8500	88.1333
8	Potrerrillos	Las Lajas y El Arco	Morazán	0.320	2,600	Factibilidad	http://appext.sica.int/	13.7833	88.2167
9	La Colmena	El Volcán	San Miguel	0.097	450	Factibilidad	http://appext.sica.int/	13.7333	88.2167
10	El Naranjito	El Naranjito	Ahuachapán	0.031	146	Factibilidad	http://appext.sica.int/	13.7833	89.8833
11	La Joya	San Jose Curuña		N.D.	N.D.		http://appext.sica.int/		
12	Venecia Prusia			N.D.	N.D.	Prefactibilidad	http://appext.sica.int/		
13	Milingo (Reconversion)	Acelhuate	San Salvador	0.800	3,500	Operando	http://appext.sica.int/	13.7443	89.1619
14	Santa Emilia I			N.D.	N.D.	Prefactibilidad	http://appext.sica.int/		
15	Santa Emilia II			N.D.	N.D.	Prefactibilidad	http://appext.sica.int/		
<b>With Pre-F/S Studies</b>									
16	El Sapo	Sapo	Morazán	2.400	8,961	Factibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	13.8463	88.0980
17	Santo Domingo (Presa 1)	Tepechapa	Sonsonate	1.500	7,884	Prefactibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	13.7497	89.7838
18	Santo Domingo (Presa 2)	Cacahuata	Sonsonate	1.500	7,884	Prefactibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	13.7497	89.7877
19	Santo Domingo (Presa 3)	Quebrada El Camote	Sonsonate	1.500	7,884	Prefactibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	13.7483	89.7926
20	Río Rosario - Metapan	Rosario	Santa Ana	1.000	3,110	Prefactibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	14.3434	89.3865
21	Río Rosario	Rosario	Ahuachapán	0.200	0	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.7362	89.8815
22	Copinula	Copinula	Ahuachapán	0.464	2,030	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.7862	89.8445
23	Malancola	Jiboa	La Paz	5.400	23,650	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.6082	88.9662
24	San José Loma	Jiboa	La Paz	2.500	10,950	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.6082	88.9662
25	Santa Rita	Jiboa	La Paz	9.600	42,050	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.6082	88.9662
26	Ocuila	Ocuila	Sonsonate	2.000	8,760	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.8350	89.7148
27	Cauta	Cauta	Ahuachapán	0.511	2,697	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.6999	89.8852
28	Ahuachapio	Ahuachapio	Ahuachapán	0.500	2,190	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.8213	89.9447
29	Sumpul	Sumpul	Chalatenango	16.700	64,043	Prefactibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	13.8300	89.7300
30	El Naranjo	El Naranjo	Ahuachapán	0.790	4,187	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.7579	89.9319
31	Las Pilonas	Huiza	San Salvador	1.000	5,256	Prefactibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	13.6128	89.1800
32	Sonzacate (Nahuizalco II)	Grande de Sonsonate	Sonsonate	2.300	10,070	Factibilidad	2011 GIZ	13.7342	89.7147
33	Hacienda Vieja	Jiboa	San Salvador	14.500	63,510	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C.V.		
34	Mirazalco	Grande de Sonsonate	Sonsonate	4.000	17,520	Financiamiento	INGENDEHSA S.A DE C	13.8340	89.7272
35	La Calzadora I	Quebrada La Calzadora	Usulután	0.940	4,117	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.5537	88.5287
36	La Calzadora II	Quebrada La Calzadora	Usulután	0.910	3,986	Inventario	INGENDEHSA S.A DE C	13.5613	88.5345
37	Huiza	Huiza	San Salvador	1.500	4,468	Prefactibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	13.6128	89.1800
38	El Jabio	Grande de Sonsonate	Sonsonate	1.500	6,570	Inventario	CECSA	13.7532	88.2887
39	San Esteban	San Esteban	San Miguel	0.310	1,360	Rehabilitación	CECSA	13.5196	88.1829
40	Acahuapa	Acahuapa	San Vicente	0.120	530	Rehabilitación	CECSA	13.6583	88.8157
41	Sapuyo	Sapuyo	La Paz	0.060	260	Rehabilitación	CECSA	13.4941	88.8667
42	San Luis III	Suquiapa	La Libertad	0.425	1,860	Factibilidad	CECSA	13.9942	89.4828
43	Chacala Los Apantes (Presa 1)	Chacala	Ahuachapán	1.500	8,126	Prefactibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	13.8037	89.8484
44	Chacala Los Apantes (Presa 2)	Los Apantes	Ahuachapán	1.500	8,126	Prefactibilidad	INGENDEHSA S.A DE C	13.7997	89.8379
45	Ilopango Aguacayo	Aguacayo	San Salvador	16.600	60,000	Financiamiento	INGENDEHSA S.A DE C	13.6311	89.0334

Nota: El número en cursiva de la columna de energía se estimó suponiendo un factor de planta promedio de 0.5  
(Fuente: Equipo de Estudio JICA (Preparado utilizando estudios previos disponibles))

**Tabla 4.2.3 Lista de proyectos pequeños con potencial hidroeléctrico menor de 20 MW (2/2)**

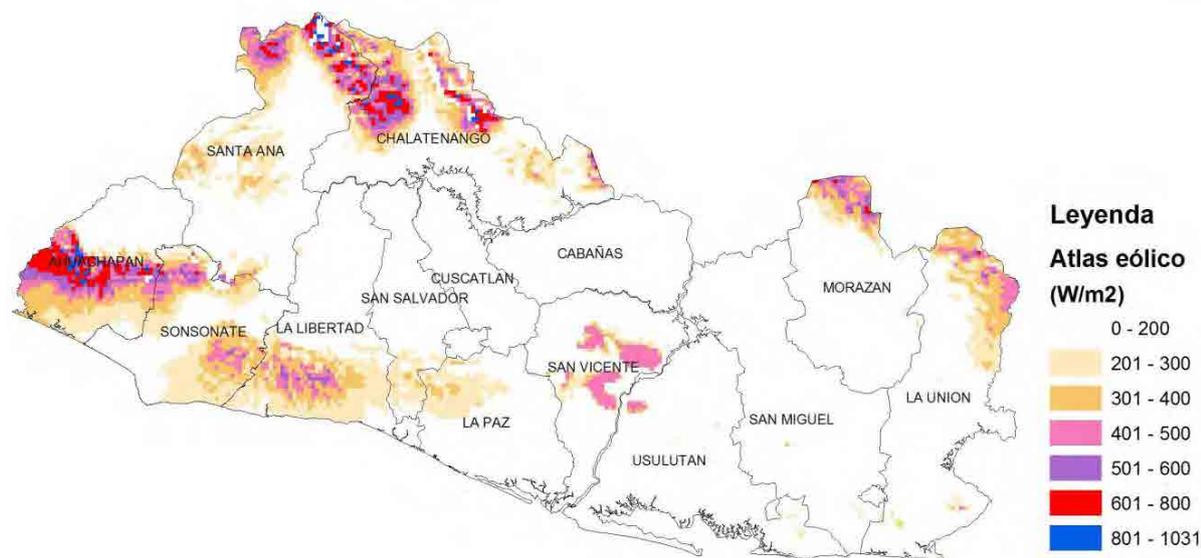
No	Proyecto de Energía	Río	Departamento	Potencial (MW)	Energía (kWh/año)	Estado	Fuente	Latitud	Longitud
	<i>Without study</i>								
46	Chilama	Río Chilama	La Libertad	0.932	4,080	Inventario	CEL-UCA 1989	13.5839	89.3265
47	Comalapa	Río Comalapa	La Paz	0.401	1,760	Inventario	CEL-UCA 1989	13.5697	89.1172
48	Grande de Chalatenango	Grande de Chalatenango	Chalatenango	1.795	7,754	Inventario	2011 GIZ	14.2233	89.0710
49	Nejapa	Río Nejapa	Ahuachapán	0.553	2,488	Inventario	2011 GIZ	13.8703	89.8486
50	Polorós	Río Polorós	La Unión	3.162	13,660	Inventario	2011 GIZ	13.7955	87.8109
51	Quezalapa	Río Quezalapa	Cabañas	2.037	8,800	Inventario	2011 GIZ	13.8833	88.9667
52	Quezalapa	Río Quezalapa	Cabañas	0.809	3,540	Inventario	CEL-UCA 1989	13.8833	88.9667
53	Quezalapa	Río Quezalapa	Cabañas	0.782	3,430	Inventario	CEL-UCA 1989		
54	San Antonio	Río San Antonio	Sonsonate	0.805	3,530	Inventario	CEL-UCA 1989	13.7164	89.7383
55	San Antonio	Río San Antonio	Sonsonate	0.696	3,050	Inventario	CEL-UCA 1989	13.7164	89.7383
56	San Francisco	Río San Francisco	Morazán	0.227	990	Inventario	CEL-UCA 1989	13.6521	88.0971
57	San Simón	Río San Simón	Usulután	2.976	12,856	Inventario	2011 GIZ	13.5619	88.5176
58	San Simón	Río San Simón	Usulután	2.173	9,387	Inventario	2011 GIZ	13.5699	88.5362
59	Sunzacuapa	Río Sunzacuapa	Ahuachapán	0.313	1,370	Inventario	CEL-UCA 1989	13.7089	89.8206
60	Sunzacuapa y Sucio	Río Sunzacuapa y Sucio	Sonsonate	0.527	2,277	Inventario	2011 GIZ	13.6528	89.8342
61	Sunzal- Tamanique	Río Sunzal- Tamanique	La Libertad	0.436	2,277	Inventario	2011 GIZ	13.5795	89.4204
62	Sunzal-Tamanique	Río Sunzal- Tamanique	La Libertad	0.527	2,310	Inventario	CEL-UCA 1989		
63	Tacuba	Río Tacuba	Ahuachapán	0.388	1,700	Inventario	CEL-UCA 1989	13.9297	89.9564
64	Tihuapa	Río Tihuapa	La Paz	1.315	5,760	Inventario	CEL-UCA 1989	13.5610	89.1351
65	Tihuapa	Río Tihuapa	La Paz	1.041	4,560	Inventario	CEL-UCA 1989	13.5677	89.1358
66	Titihuapa	Río Titihuapa	Cabañas	1.434	6,280	Inventario	CEL-UCA 1989	13.7814	88.6235
67	Titihuapa	Río Titihuapa	Cabañas	1.175	5,150	Inventario	CEL-UCA 1989	13.7687	88.6019
68	Titihuapa	Río Titihuapa	Cabañas	0.882	3,860	Inventario	CEL-UCA 1989	13.7687	88.6019
69	Titihuapa	Río Titihuapa	Cabañas/Sn Vicente	0.156	680	Inventario	CEL-UCA 1989	13.7687	88.6019
70	Toronjo	Río Toronjo	Morazán	1.160	5,080	Inventario	CEL-UCA 1989	13.7047	88.0206
71	Zonte	Río Zonte	La Libertad	0.468	2,190	Inventario	CEL-UCA 1989	13.5160	89.4389
72	Zonte	Río Zonte	La Libertad	0.466	2,040	Inventario	CEL-UCA 1989	13.5160	89.4389
73	Zonte	Río Zonte	La Libertad	0.478	2,090	Inventario	CEL-UCA 1989	13.5160	89.4389
74	Zonte	Río Zonte	La Libertad	0.507	2,220	Inventario	CEL-UCA 1989	13.5160	89.4389
75	Araute	Río Araute	Morazán	0.050	284	Inventario	2011 GIZ	13.8819	88.2299
76	Gnde de San Miguel, San José	Gnde de San Miguel, San José	Usulután	3.200	14,020	Inventario	CEL-UCA 1989	13.2947	88.3068
77	Grande de San Miguel, Sn Juan	Grande de San Miguel, Sn Juan	Usulután	4.500	19,710	Inventario	CEL-UCA 1989	13.2947	88.3068
78	Qbda El Singual, al Cuyapo	Qbda El Singual, al Cuyapo	Morazan	0.058	250	Inventario	CEL-UCA 1989		
79	Qbda El Volcán/Río Sn Juan	Qbda El Volcán/Río Sn Juan	San Miguel	0.097	420	Inventario	CEL-UCA 1989	13.7875	88.2171
80	La Montañita	Río La Montañita	Morazan	0.900	3,942	Inventario	CEL-UCA 1989	13.8167	88.2167
81	El Riachuelo	El Riachuelo	San Miguel	0.038	256	Inventario	2011 GIZ	13.8520	88.2708
82	Cumaro	Río Cumaro	Morazán	0.039	168	Inventario	2011 GIZ	13.9167	88.1333
83	La Joya, Río Acahuapa	La Joya, Acahuapa	San Vicente	3.000	13,140	Inventario	CEL-UCA 1989	13.6256	88.7600
84	Grande de Chalatenango	Grande de Chalatenango	Chalatenango	0.690	3,020	Inventario	CEL-UCA 1989	14.2132	89.0728
85	Goascorán	Goascorán	La Unión	12.500	54,750	Inventario	2011 GIZ	13.6446	87.7524
86	Sucio, Los Tetuntes	Sucio, Los Tetuntes	La Libertad	6.600	28,910	Inventario	CEL-UCA 1989	13.8822	89.2594
			TOTAL	157.566	675,000				

Nota: El número en cursiva de la columna de energía se estimó suponiendo un factor de planta promedio de 0.5 (Fuente: Equipo de Estudio JICA. (Preparado utilizando estudios previos disponibles))

### 4.3 Energía eólica

#### 4.3.1 Situación actual

En El Salvador, no se ha desarrollado todavía la energía eólica para la generación de electricidad. De acuerdo con el mapa del potencial eólico que se elaboró con SWERA, se han identificado pocas áreas como zonas aptas para el desarrollo de energía eólica.



(Fuente: SWERA)

**Figura 4.3.1 Mapa del potencial de energía eólica (SWERA)**

#### 4.3.2 Barreras en la implementación

Se hace necesario considerar los siguientes puntos con respecto a la introducción de los sistemas de generación eólica.

##### 4.3.2.1 Reglamento/Directriz técnica

Es necesario preparar el reglamento o directriz técnica antes de la implementación del proyecto de energía eólica. Los siguientes temas deben ser considerados como elementos del reglamento o directriz técnica para El Salvador.

- A. Factor de potencia
- B. Flicker de voltaje
- C. Armónicos e inter-armónicos
- D. Seguridad

##### 4.3.2.2 Ingenieros

El desarrollo de los recursos humanos es uno de los temas más importantes para el desarrollo futuro de la energía eólica en El Salvador. La tecnología eólica debe ser transferida a los ingenieros a través de proyectos reales. En especial, deben ser transferidos las habilidades para la operación y el mantenimiento.

También, es importante mejorar los planes de estudios existentes o los cursos de formación sobre energías renovables en las universidades y en las escuelas de formación profesional.

### 4.3.3 Estudios relacionados, proyectos existentes y en desarrollo

#### 4.3.3.1 Mapa eólico nacional

SWERA es un proyecto patrocinado por el PNUMA-GEF. SWERA produjo una amplia gama de datos de energía solar y eólica, así como mapas en mejores escalas y resolución espacial que las disponibles antes del año 2005.

#### 4.3.3.2 Estudio de factibilidad

El proyecto llamado "Medición de la velocidad del viento en El Salvador 2006-2007 para la evaluación de la energía eólica" fue desarrollado por el Instituto Meteorológico de Finlandia. En este estudio se realizó el monitoreo del viento y las producciones de energía calculadas mediante el uso de WasP (software de simulación de la energía eólica).

#### 4.3.4 Plan de desarrollo a futuro

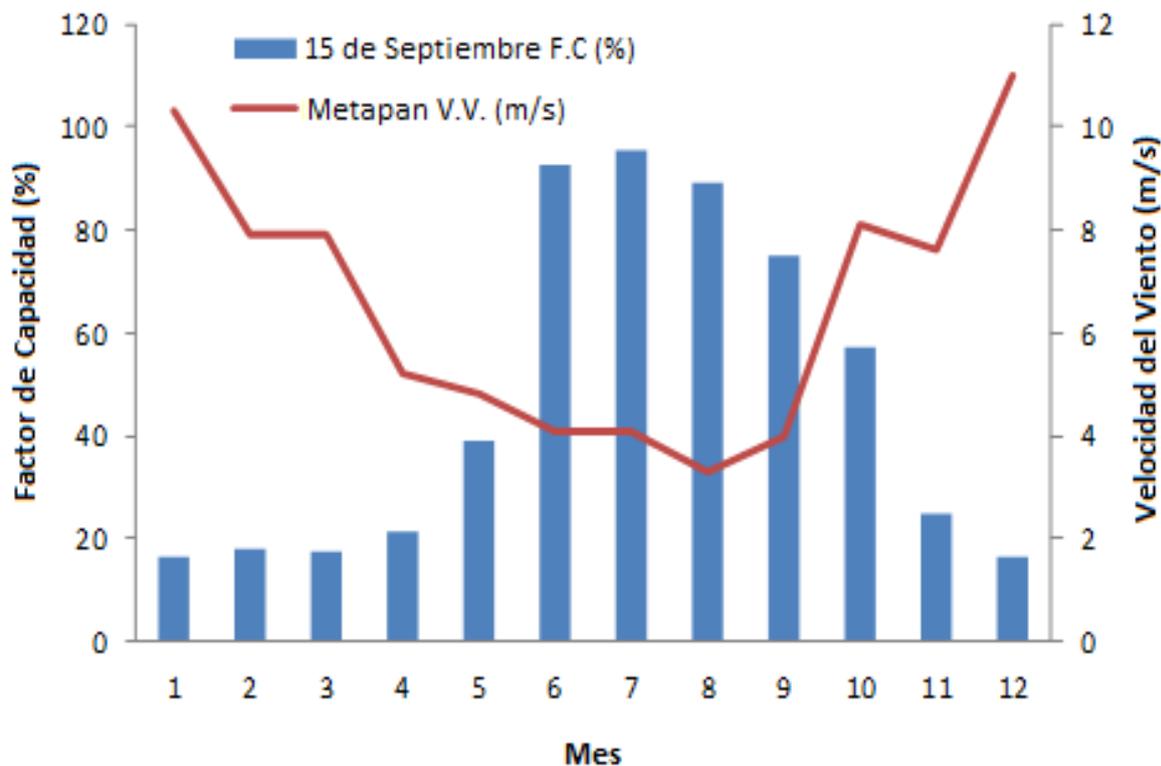
Existe un plan de desarrollo de parques eólicos a futuro elaborado por CEL. La Tabla 4.3.1 muestra la velocidad promedio anual del viento a 60 metros sobre el nivel del suelo y la capacidad instalada en los sitios candidatos en el marco del plan de parques eólicos de CEL.

**Tabla 4.3.1 Parques eólicos candidatos de CEL**

	Velocidad promedio anual del viento a 60 m sobre el nivel del suelo (m/s)	Capacidad planificada (MW)
Metapán	6.43	42
San Julián	5.38	30

(Fuente: CEL)

La Figura 4.3.2 muestra una relación complementaria en los períodos estacionales entre el factor de capacidad mensual de la Central Hidroeléctrica 15 de Septiembre y la velocidad del viento mensual en Metapán. En Metapán, los potenciales eólicos son más altos entre octubre y abril, cuando el factor de capacidad de la central 15 de Septiembre es bajo.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 4.3.2 Velocidad del viento (en Metapán) y factor de capacidad (15 de Septiembre, energía hidroeléctrica)**

#### 4.4 Energía solar Fotovoltaica

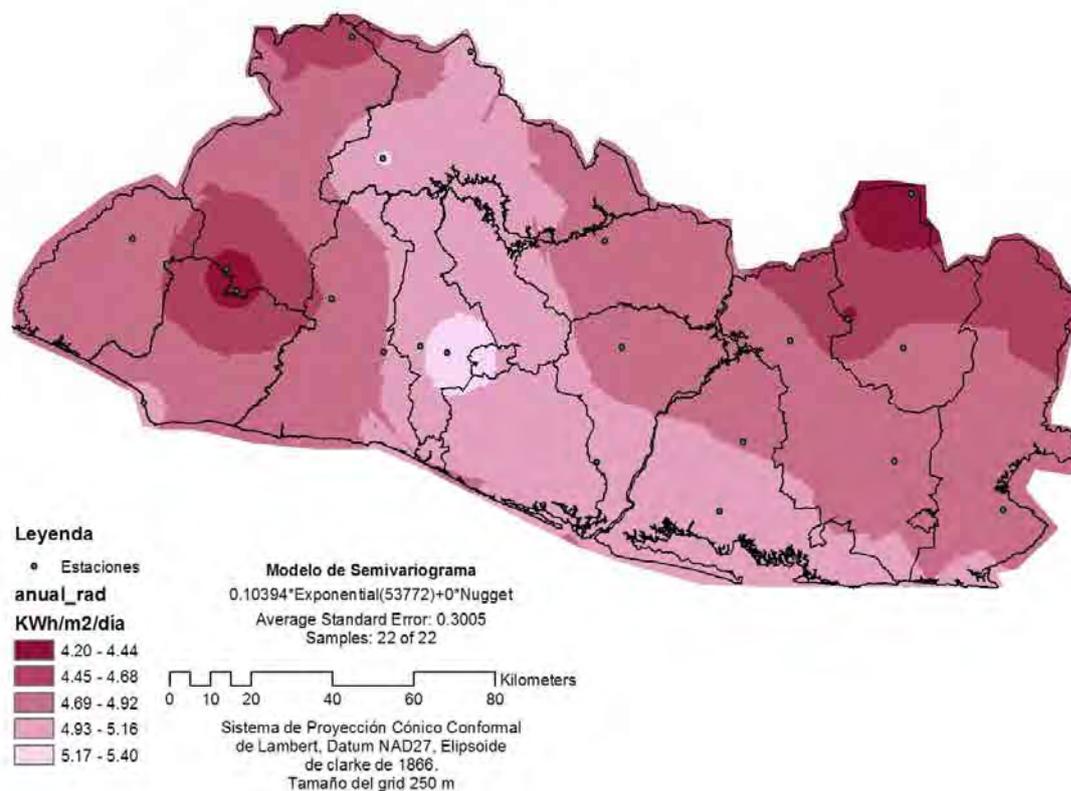
Existen muchos sistemas aislados de energía solar fotovoltaica, principalmente en regiones rurales y montañosas. El costo del sistema de electricidad fotovoltaica sigue siendo alto, lo cual no permite la difusión del sistema fotovoltaico. Existe un plan futuro que comprende la instalación de 17.8 MW de energía fotovoltaica solar en el país.

##### 4.4.1 Situación actual

En El Salvador, la radiación solar es alta (5.3 kWh/m<sup>2</sup>/día) en comparación con la de Tokio (3.3 kWh/m<sup>2</sup>/día). El mapa de irradiación solar en El Salvador fue creado bajo el proyecto SWERA. Este mapa, el cual muestra el potencial de irradiación solar en promedio anual, se muestra en la Figura 4.4.1. La irradiación solar es alta en la región central de El Salvador, especialmente en torno al área metropolitana de San Salvador.

La Tabla 4.4.1 muestra la lista de sistemas solar FV en el país. La mayoría de ellos son sistemas aislados con banco de baterías, los cuales son usados como sistemas solares domésticos (SHS). Existen pocos sistemas de energía solar fotovoltaica conectados a la red eléctrica y el número de sistemas es limitado.

La Figura 4.4.2 muestra la distribución de energía fotovoltaica solar en El Salvador. Los SHS se encuentran en la región montañosa y en la zona rural. Por otro lado, la mayoría de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica se encuentran en el área metropolitana de San Salvador.

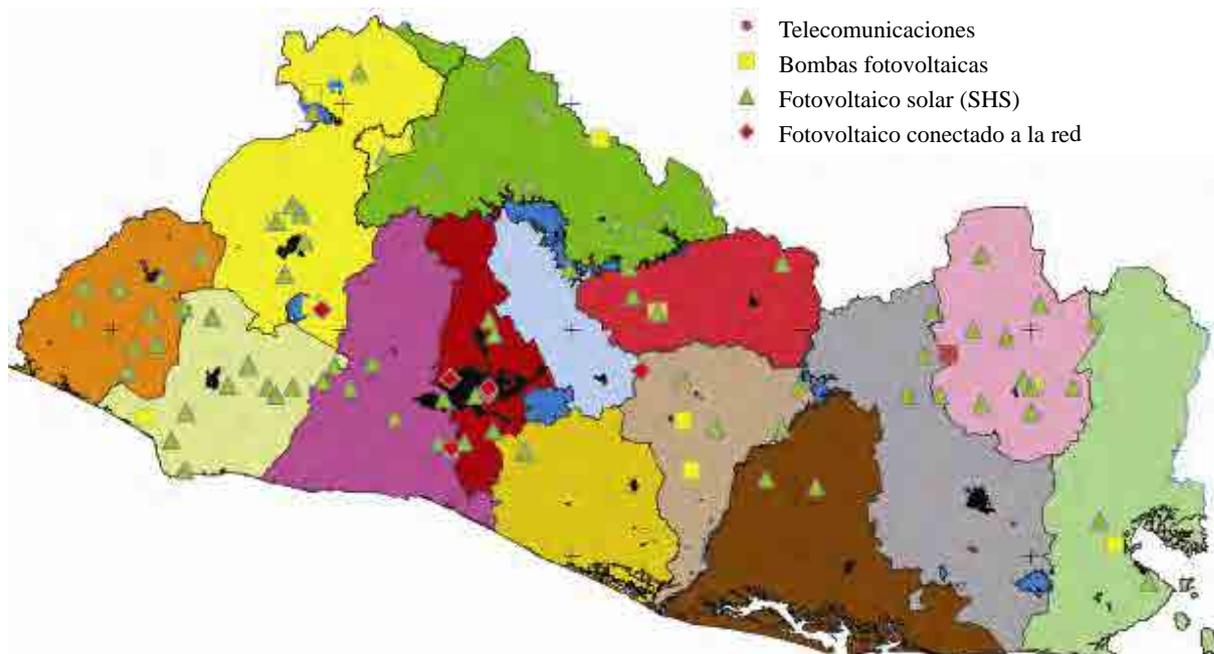


(Fuente: SWERA)

**Figura 4.4.1 Mapa de irradiación solar en El Salvador****Tabla 4.4.1 Sistemas fotovoltaicos en El Salvador**

Aplicación	Número de sistemas	Capacidad instalada (Wp)
Bombas fotovoltaicas	21	9,695
Sistema Solar Doméstico (SHS)	2,950	287,956
Sistema Fotovoltaico conectado a la red eléctrica	12	163,940
Alumbrado público	246	15,090
Agua potable	2	280
Comunicación por radiofrecuencia	15	n. a.
Telecomunicaciones	6	n. a.
<b>TOTAL</b>	<b>3,252</b>	<b>476,961</b>

(Fuente: CNE)



(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 4.4.2** Sistemas solares fotovoltaicos instalados en El Salvador

## 4.4.2 Barreras en la implementación

### 4.4.2.1 Costo del sistema fotovoltaico

Los sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica no se han introducido en forma extensa en El Salvador. La mayor parte de la instalación fotovoltaica se ha llevado a cabo en las instalaciones públicas, como edificios del Gobierno y escuelas. El principal problema para la difusión de sistemas con techos solares fotovoltaicos es el alto costo de la inversión inicial.

Los precios más caros encontrados en sistemas conectados a la red eléctrica están relacionados con la modificación o la integración del techo, mientras que las cifras también se pueden referir a un solo proyecto. El precio incluye las subvenciones de cada país. El precio de la energía solar fotovoltaica ha ido disminuyendo en los años recientes; sin embargo, el precio todavía es alto para un usuario particular, sobre todo si no existen subsidios gubernamentales.

### 4.4.2.2 Directriz técnica

En El Salvador, se ha aplicado el Código Eléctrico Nacional (NEC) de EE. UU. como reglamento nacional de electricidad. Sin embargo, la directriz práctica para la interconexión de los sistemas solares fotovoltaicos montados en techos específicamente para su utilización por los técnicos electricistas no ha sido preparada en El Salvador.

### 4.4.2.3 Ingenieros

El desarrollo de la capacidad de los recursos humanos es uno de los temas más importantes para el desarrollo de la energía solar a futuro. Una de las opciones para el desarrollo de estas capacidades en el sector solar fotovoltaico es la mejora del pensum de estudios o el establecimiento de cursos de formación

sobre energías renovables en las universidades.

### 4.4.3 Estudios relacionados y proyectos existentes y en desarrollo

#### 4.4.3.1 CEL

CEL ha instalado un sistema de energía fotovoltaica solar de 24. 57 kW de capacidad total en el techo de su edificio administrativo en San Salvador. Además, CEL ha estado monitoreando la energía producida por cada tipo de sistema de energía fotovoltaica producida por irradiación solar, así como otros datos meteorológicos.

#### 4.4.3.2 SWERA

SWERA ha producido una serie de datos relacionados con la energía solar y eólica, así como mapas con mejores escalas de resolución espacial que las disponibles antes del año 2005.

#### 4.4.3.3 Electrificación rural

Se han introducido los sistemas FV domésticos (SHS) para la electrificación rural a través de las ONG y otras organizaciones. Suministros Eléctricos y Electrónicos, S. A. de C. V. (SEESA) es una empresa de ingeniería y servicios eléctricos con sede en San Salvador que ha suministrado más de 400 sistemas de energía eléctrica fotovoltaica solar desde comienzos de 2004, sobre todo para hogares rurales mediante una inversión realizada por E+Co de EE. UU. E+Co es una organización sin fines de lucro que invierte en empresas de energía limpia en países en desarrollo con la misión de mejorar la capacidad a las pequeñas y medianas empresas.

#### 4.4.3.4 USTDA

Existe actualmente un proyecto solar fotovoltaico "Estudio de viabilidad del proyecto piloto de energía solar fotovoltaica de CEL", el cual es financiado por la Agencia de Comercio y Desarrollo de EE. UU. (USTDA, por sus siglas en inglés).

### 4.4.4 Planes de Proyectos Futuros

Existen planes de CEL para la instalación de un sistema solar fotovoltaico centralizado conectado a la red eléctrica. Los siguientes datos fueron proporcionados por CEL y resumida por el equipo de estudio de JICA.

**Tabla 4.4.2 Planes de Desarrollo futuro de CEL en sistemas solares FV**

Ubicación	Capacidad (MW)
Energía fotovoltaica a ser instalada en la Central "El Guajoyo"	3.6
Energía fotovoltaica a ser instalada en la Central "15 de Septiembre".	14.2
Energía total	17.8

(Fuente: CEL)

## 4.5 Energía Solar térmica

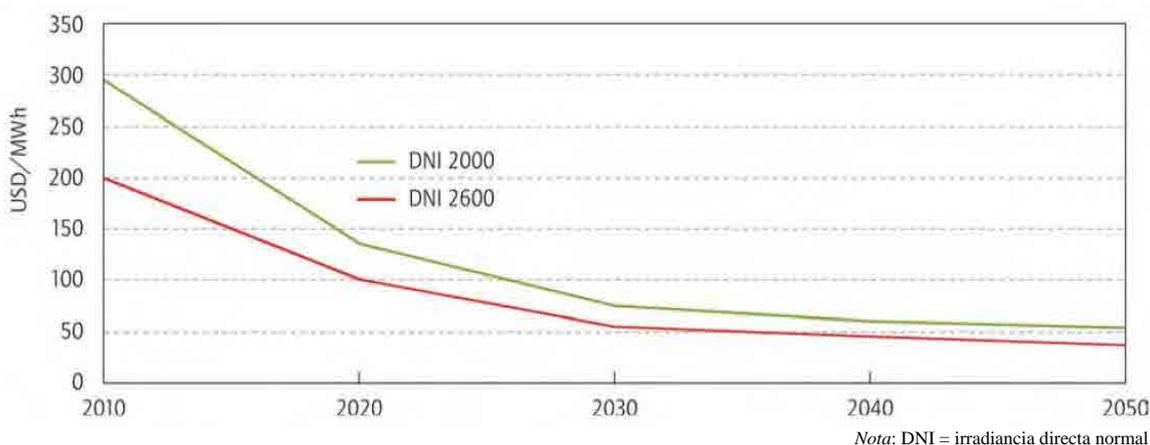
Varios estudios y pruebas piloto de energía solar térmica se están llevando a cabo para su futura implementación. El potencial de este tipo de energía es alto en El Salvador, sin embargo, el costo de inversión inicial sigue siendo alto actualmente. LaGeo tiene planes de desarrollo a futuro respecto a la energía solar térmica y estima una capacidad total de 35 MW para el año 2020.

### 4.5.1 Situación actual

En El Salvador ya se están instalando plantas de energía solar térmica de colectores tipo cilindros parabólicos como plantas piloto de sistemas híbridos de energía geotérmica y de energía solar térmica en el campo geotérmico de Ahuachapán. La prueba del piloto se ha llevado a cabo desde marzo del 2007, con el objetivo de generar vapor mediante el intercambio de calor entre el agua geotérmica y el aceite sintético calentado por calentadores solares. El campo solar se compone de cuatro concentradores solares de colectores parabólicos de cuatro metros de ancho y diez metros de longitud.

### 4.5.2 Barreras en la Implementación

El alto costo de inversión inicial es uno de los obstáculos más importantes para la difusión de los sistemas CSP en El Salvador. El Departamento de Energía de EE. UU. (US DOE, por sus siglas en inglés) ha establecido una meta en su programa de CSP, la cual consiste en alcanzar el nivel de competencia con respecto a los combustibles fósiles, es decir, costos de producción de energía alrededor de US\$100/MWh para el 2015 y de US\$50/MWh para el 2020. De acuerdo con la hoja de ruta del Departamento de Energía de EE. UU, lo más probable es que se logre la competitividad en el 2020 para las cargas intermedias y desde 2025 hasta 2030 para cargas base. En la Figura 4.5.1 muestra el costo proyectado de electricidad para los sistemas CSP elaborado por el Departamento de Energía de EE. UU.



(Fuente: Technology Roadmap Concentrating Solar Power / IEA)

**Figura 4.5.1 Costo proyectado de electricidad para los sistemas CSP**

### **4.5.3 Estudios relacionados y proyectos existentes y en desarrollo**

Una filial española para el desarrollo perteneciente a la empresa Solar Millennium AG firmó un contrato para realizar un estudio de factibilidad de sistemas de colectores de cilíndricos parabólicos para centrales eléctricas con INE (Inversiones Energéticas S. A. de C. V.).

LaGeo ha llevado a cabo actividades de investigación y desarrollo en energía solar térmica. En la actualidad, esta realiza el monitoreo del calor solar e irradiación en algunas zonas del país.

### **4.5.4 Plan de Proyectos Futuros**

LaGeo tiene planes futuros para el desarrollo de plantas de energía solar térmica en El Salvador. La capacidad prevista es de 35 MW para el año 2020. Los sitios candidatos para las instalaciones están en San Miguel, Usulután, Jiquilisco, Comalapa y Ahuachapán.

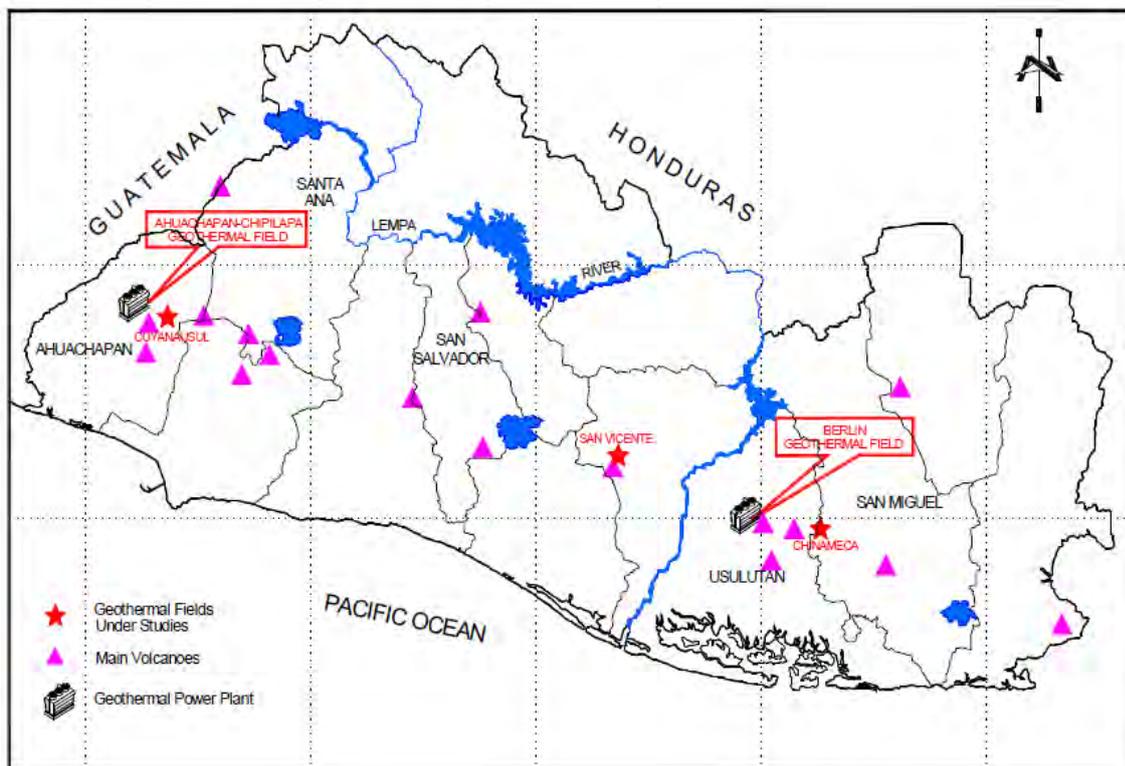
## **4.6 Energía Geotérmica**

La generación eléctrica por energía geotérmica en El Salvador se inició en 1975 y ha aumentado de manera constante desde entonces. Este tipo de generación participa en el mercado mayorista, el cual es competitivo, y la producción total actual (2011) es de 204 MW. No existe ningún problema grave relacionado con el desarrollo y la utilización de la energía geotérmica en El Salvador. LaGeo, es la única empresa privada encargada del desarrollo de energía geotérmica, tiene un plan de expansión entre 60 MW a 89 MW adicionales para el año 2017. LaGeo también está considerando la posibilidad de desarrollar otros 10 MW, pero aún no se ha establecido su programación. En El Salvador, la capacidad esperada de generación eléctrica total por energía geotérmica en el futuro va desde 300 hasta 400 MW, esto basado en la información actual.

### **4.6.1 Situación actual**

#### **4.6.1.1 Antecedentes y situación actual de la generación eléctrica por energía geotérmica en El Salvador**

La primera central eléctrica geotérmica en Centroamérica inició su generación comercial de electricidad en Ahuachapán, en 1975. La segunda central eléctrica geotérmica en El Salvador comenzó su producción comercial de electricidad en 1992, en Berlín. Las ubicaciones de Ahuachapán y Berlín se muestran en la Figura 4.6.1.



(Fuente: Congreso Mundial de Geotérmica 2005, El Salvador. Actualización (2005))

**Figura 4.6.1 Mapa de Ubicación de las Centrales Geotérmicas en El Salvador**

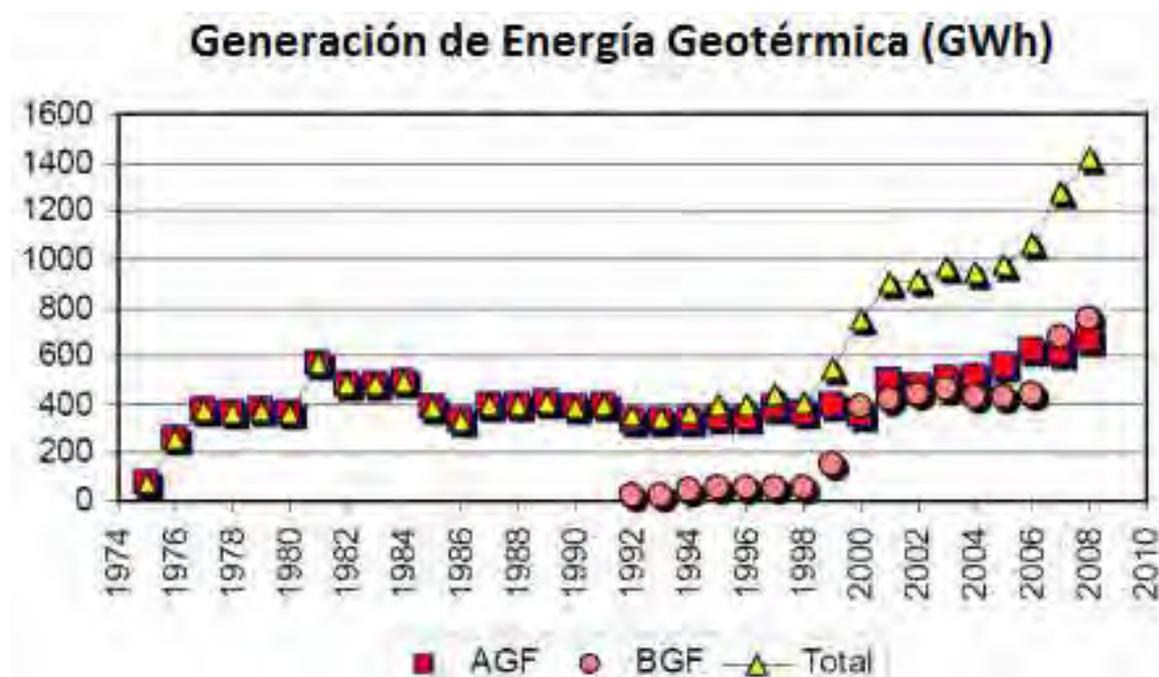
El desarrollo de la energía geotérmica en El Salvador fue llevado a cabo por Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, CEL. Sin embargo, en noviembre de 1999 se produjo la separación de las actividades de CEL a causa de la reforma en el sector eléctrico y la privatización, y LaGeo se convirtió en la entidad encargada de la energía geotérmica. En una primera instancia, CEL tenía 100% de participación de LaGeo, pero en junio de 2002 ENEL (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica), un conglomerado energético italiano, se unió a LaGeo como socio estratégico. La participación accionaria actual de CEL es del 64% y de Enel Green Power, filial de ENEL, es del 36%.

El desarrollo de la energía geotérmica en El Salvador se ha mantenido constante. Hoy en día existen varias unidades de generación geotérmicas en Ahuachapán y Berlín, ambas mantenidas y operadas por LaGeo. La capacidad total instalada en Ahuachapán (3 unidades) es de 95 MW y según reportes su capacidad de operación a finales de 2009 era de 84 MW, el 88% de su valor nominal. La capacidad total instalada en Berlín (4 unidades) es de 109.4 MW y según reportes su capacidad de funcionamiento a finales de 2009 era de 108 MW, el 98% de su valor nominal

LaGeo mostró sus estadísticas de desarrollo y producción de energía geotérmica en el WGC2010 (Congreso Mundial de Geotermia 2010). Basándose en ese reporte, los factores de capacidad de Ahuachapán y Berlín en 2009 fueron de 80%, y 79%, respectivamente. Estos valores son buenos y muestran un alto rendimiento entre las centrales eléctricas geotérmicas a nivel mundial.

En la Figura 4.6.2 se muestra la evolución de la generación eléctrica de las centrales geotérmicas en El Salvador. En 1982, la generación de energía en Ahuachapán se redujo. Con base en el informe presentado

en el WGC2010, este problema se produjo por primera vez debido a la disminución de la presión del yacimiento y posteriormente por la reinyección. Entonces, se estableció una nueva área de reinyección en Chipilapa, próxima a la zona de Ahuachapán. Como resultado, los problemas se resolvieron y la producción comenzó a recuperarse a partir de 1999. Por otro lado, la generación de energía en Berlín ha sido muy exitosa.



AGF: Central Geotérmica de Ahuachapán

BGF: Central Geotérmica de Berlín

(Fuente: Congreso Mundial de Geotermia 2010, El Salvador, actualización (2010))

**Figura 4.6.2 Evolución de la Generación Eléctrica de las Centrales Geotérmicas en El Salvador**

#### 4.6.1.2 Recursos geotérmicos de El Salvador

Ya que El Salvador está localizado sobre el Anillo de Fuego del Pacífico (cinturón volcánico del Pacífico), existe mucha actividad volcánica en el país. En El Salvador hay dos cinturones geotérmicos asociados a la alineación de sus volcanes; uno al norte y otro al sur (Figura 4.6.3).

Existe la posibilidad de generar energía eléctrica a partir del vapor geotérmico y/o el agua caliente encontrados en los campos geotérmicos de alta entalpía mostrados en la Figura 4.6.3. En esta figura se muestra la ubicación de los campos geotérmicos, además se observa que todas están situadas en el cinturón geotérmico del sur.

Por otro lado, existe la posibilidad de generar energía eléctrica a partir de un sistema de ciclo binario a pequeña escala, utilizando el agua caliente de los campos geotérmicos de baja entalpía que se muestran en la Tabla 4.6.1. Basado en información de LaGeo, existen otros campos geotérmicos que tienen la posibilidad de generar energía eléctrica por medio de ciclos binarios.



(Fuente: Fuente: Recursos Geotérmicos de El Salvador por Campos (1988))

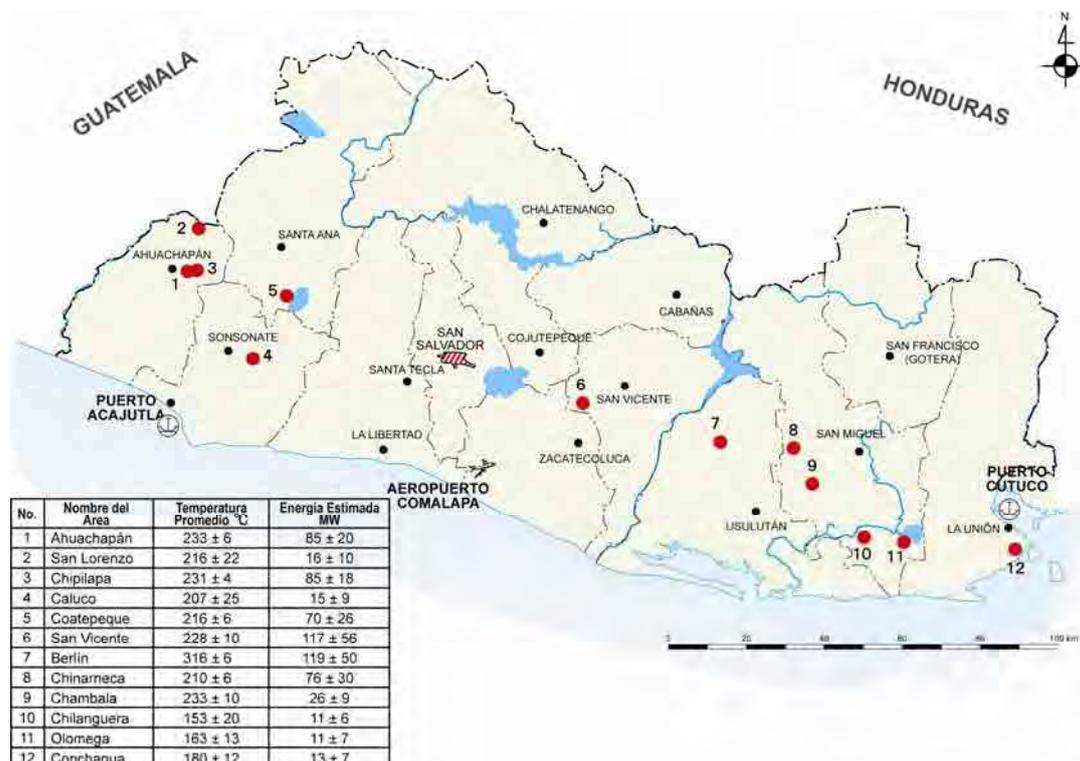
**Figura 4.6.3 Ubicación de 28 áreas de aguas termales y 7 áreas de fumarolas de El Salvador**

Los potenciales geotérmicos mostrados en la Tabla 4.6.1 y en la Tabla 4.6.2 son de 644 MW y 147 MW, respectivamente, resultando 791 MW en total. Como la capacidad instalada de generación eléctrica geotérmica en El Salvador es actualmente de 204.4 MW, la proporción de la capacidad instalada con respecto al potencial geotérmico es de 25.8%.

**Tabla 4.6.1 Inventario de recursos geotérmicos de alta entalpía en El Salvador (Campos, 1988)**

N°	Área	Ubicación Geográfica	Temperatura promedio Reservoirio (°C)	Volumen Promedio Reservoirio (km <sup>3</sup> )	Energía Eléctrica Estimada (Potencial Geotérmico) (MWe 25 años)
1	Ahuachapán	Ahuachapán	233±6	10±2	85±20
2	San Lorenzo	Ahuachapán	216±22	2±1	16±10
3	Chipilapa	Ahuachapán	231±4	10±2	85±18
4	Caluco	Sonsonate	207±25	2±1	15±9
5	Coatepeque	Santa Ana	216±6	9±3	70±26
6	San Vicente	San Vicente	228±10	14±6	117±56
7	Berlín	Usulután	316±6	10±4	119±50
8	Chinameca	San Miguel	210±6	10±4	76±30
9	Chambala	San Miguel	233±10	3±1	26±9
10	Chilanguera	San Miguel	153±20	2±1	11±6
11	Olomega	San Miguel	163±13	2±1	11±7
12	Conchagua	La Unión	180±12	2±1	13±7
TOTALES					644±248
RANGO					396 - 892

(Fuente: Campos, T. (1988) Geothermal resources of El Salvador, Preliminary assessment. Geothermics, Vol.17, p.319-332.)



(Fuente: Situación Actual y Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en Centroamérica (2009))

**Figura. 4.6.4 Ubicación de 12 áreas con recursos geotérmicos de alta entalpía en El Salvador**

**Tabla 4.6.2 Inventario de recursos geotérmicos de moderada-baja entalpía en El Salvador (Campos, 1988)**

N°	Área	Ubicación Geográfica	Temperatura promedio Reservoirio (°C)	Volumen Promedio Reservoirio (km³)	Energía Eléctrica Estimada (Potencial Geotérmico) (MWe 25 años)
1	Toles	Ahuachapán	126±6	3±1	13
2	Güija	Santa Ana	119±9	2±1	8
3	Los apoyos	Santa Ana	133±7	2±1	9
4	Agua Caliente	Chalatenango	123±7	2±1	9
5	El Paraiso	Chalatenango	133±7	2±1	9
6	Nombre de Jesús	Chalatenango	151±8	3±1	16
7	Tihuapa	La Libertad	128±11	2±1	9
8	El Salitral	La Paz	123±10	2±1	8
9	Obrajuelo	San Vicente	133±14	2±1	9
10	Carolina	San Miguel	141±11	3±1	15
11	Santa Rosa	La Unión	126±12	8±1	34
12	El Sauce	La Unión	118±12	2±1	8
<b>TOTALES</b>					<b>147</b>

(Fuente: Campos, T. (1988) Geothermal resources of El Salvador, Preliminary assesment. Geothermics, Vol.17, p.319-332.)

### 4.6.2 Barreras en la Implementación

Basándose en la información de LaGeo, la generación eléctrica geotérmica participa en el mercado mayorista, por lo que puede concluirse que este tipo de generación opera en forma competitiva. LaGeo señaló las siguientes barreras como los obstáculos principales para avanzar en la utilización de la energía

geotérmica:

- 1) Una gran cantidad de procedimientos jurídicos y administrativos, y el período de tiempo que conlleva completarlas.
- 2) La compra de terrenos a veces no es fácil y toma mucho tiempo.
- 3) A veces existe una gran cantidad de habitantes en un área de exploración debido a la alta densidad de población. Por esta razón, a veces toma mucho tiempo llegar a un acuerdo con ellos respecto a la exploración y el desarrollo geotérmico.
- 4) A veces no existe disponibilidad de agua para la perforación de pozos.
- 5) La tasa de operaciones exitosas de pozos exploratorios en nuevos campos geotérmicos es de alrededor del 25%.

#### 4.6.3 Estudios Relacionados y Proyectos Existentes y en Desarrollo

Actualmente, LaGeo es la única entidad dedicada al desarrollo de energía geotérmica en El Salvador. En la Tabla 4.6.3 se muestra el plan existente para aumentar la generación eléctrica geotérmica, la cual se basa en una entrevista realizada a LaGeo el 10 de octubre de 2011.

**Tabla 4.6.3 Plan de proyectos nuevos, expansión y modificación de LaGeo**

Ubicación	Plan	Adición (MW)	Factibilidad	Programación (año)
Ahuachapán	Modificación de la unidad-2	5-9	A	2015
Berlín	Expansión de la unidad-5	25-30	A	2017
Chinameca	Nuevo desarrollo	30-50	B	2017
San Vicente	Nuevo desarrollo	10	C	N/A
-	Total (todos)	70-99	-	-
-	Total (para el 2017)	60-89	-	-

(Factibilidad) A: Probada (Definitiva), B: Probable, C: Posible

(Fuente: LaGeo)

Como se muestra en la Tabla 4.6.4, LaGeo tiene la intención de aumentar su capacidad de generación eléctrica de 60 a 89 MW para el año 2017. También está previsto el aumento de 10 MW en San Vicente, pero por el momento no se ha llevado a cabo su programación debido a la incertidumbre existente en el recurso geotérmico.



El Salvador.

## 4.7 Biomasa

En cuanto a los recursos de biomasa, se ha evaluado el potencial de la caña de azúcar, la cáscara de café y la cáscara de arroz. El potencial de la cáscara de café y la cáscara de arroz es demasiado pequeño como para generar electricidad en una planta de procesamiento. La caña de azúcar tiene mayor potencial y mayor capacidad para generar energía eléctrica a partir del bagazo, el cual puede crecer y evolucionar un poco más a través del enfoque orientado al mercado.

### 4.7.1 Situación actual

Los cultivos principales que conforman el sector agrícola de El Salvador son: café, azúcar, maíz, arroz y el sorgo. Se recomienda la instalación de plantas de generación eléctrica en las fábricas que procesan productos orgánicos, tales como los ingenios de caña de azúcar.

#### 4.7.1.1 Caña de azúcar

Los sistemas de generación eléctrica en base a biomasa se introdujeron en algunas fábricas de caña de azúcar en El Salvador. La potencia generada se consume en las fábricas y la potencia en exceso se inyecta a la red eléctrica. La Tabla 4.7.1 muestra la capacidad instalada de la generación eléctrica por biomasa proveniente del bagazo de caña de la azúcar en El Salvador.

**Tabla 4.7.1 Capacidad instalada generada por la biomasa proveniente del bagazo de caña de azúcar en El Salvador**

Año	CASSA (MW)	El Ángel (MW)	La Cabaña (MW)	TOTAL (MW)
2003	20.0	n. d.	n. d.	20.0
2004	20.0	n. d.	n. d.	20.0
2005	25.0	n. d.	n. d.	25.0
2006	29.0	n. d.	n. d.	29.0
2007	60.0	n. d.	n. d.	60.0
2008	60.0	22.5	21.0	103.5
2009	60.0	22.5	21.0	103.5
2010	50.0	22.5	21.0	93.5
2011	50.0 Central Izalco 16.0 Chaparrastique	22.5	21.0	109.5

(Fuente: SIGET)

#### 4.7.1.2 Café

La Tabla 4.7.2 muestra el posible potencial para la producción de energía eléctrica a partir de cáscara de café, en base a la producción del período 2010/2011 por cada departamento. El potencial de generación eléctrica de la cáscara del café es mayor en la región Occidental comparado con las otras tres regiones. El

potencial estimado considerando 24 horas de operación por día durante 280 días en esta región es de aproximadamente 290 kW. El potencial en la región Central es aproximadamente 250 kW y en la región Oriental es pequeño, cerca de 60kW.

Se considera que no existen instalaciones de producción de café que produzcan suficiente cáscara de café para operar un generador de turbina a vapor de 0.5 MW. Por otro lado, existe la posibilidad de instalar un sistema de gasificación de biomasa para la generación eléctrica de 100 kW.

**Tabla 4.7.2 Producción de café y Potencial de Generación Eléctrica en cada departamento**

Departamento	Beneficios de Café	Área del Cafetal (ha)	Café uva (ton)	Cáscara de café (ton)	Energía Resultante Estimada (MWh/Año)	Potencia* (MW)
Ahuachapán	128	8,344	26,350	1,133	340	0.09
Santa Ana	141	8,455	32,813	1,411	423	0.12
Sonsonate	86	8,247	22,494	967	290	0.08
<b>Total R.Occidental</b>	<b>355</b>	<b>25,047</b>	<b>81,657</b>	<b>3,511</b>	<b>1,053</b>	<b>0.29</b>
Chalatenango	20	250	977	42	13	0.00
La Libertad	154	16,175	48,449	2,083	625	0.17
San Salvador	34	3,834	16,525	711	213	0.06
Cuscatlán	10	174	258	11	3	0.00
La Paz	17	509	871	37	11	0.00
San Vicente	23	804	3,545	152	46	0.01
<b>Total R.Central</b>	<b>258</b>	<b>21,746</b>	<b>70,625</b>	<b>3,037</b>	<b>911</b>	<b>0.25</b>
Usulután	80	3,392	8,527	367	110	0.03
San Miguel	43	2,052	6,415	276	83	0.02
Morazán	16	311	1,026	44	13	0.00
<b>Total R.Oriental</b>	<b>139</b>	<b>5,755</b>	<b>15,968</b>	<b>687</b>	<b>206</b>	<b>0.06</b>
<b>TOTAL</b>	<b>752</b>	<b>52,547</b>	<b>168,250</b>	<b>7,235</b>	<b>2,170</b>	<b>0.60</b>

(Fuente: Equipo de Estudio JICA, basado en "PROCAFE: PRONÓSTICO FINAL DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ, AÑO COSECHA 2010/2011") \* Potencia de Generación Eléctrica

### 4.7.1.3 Arroz

La Tabla 4.7.3 muestra el potencial posible de la producción de energía a partir de la cáscara de arroz sobre la base de la producción de arroz (años 2009/2010) en cada departamento. La cantidad total de cáscara de arroz en el país es de 7,871 toneladas y esta puede generar 6,375 MWh/year.

**Tabla 4.7.3 Producción de arroz y potencial de Generación Eléctrica por departamento (2009/2010)**

Departamento	Área (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)	Cáscara de arroz (ton)	Producción de energía (kWh/año)	Potencial* (kW)
Ahuachapán	403.2	2,388.3	5.9	597.1	48,542.3	13.5
Santa Ana	119.7	670.9	5.6	167.7	13,636.2	3.8
Sonsonate	186.2	1,221.5	6.6	305.4	24,827.5	6.9
<b>Total R. Occidental</b>	<b>709.1</b>	<b>4,280.7</b>	<b>18.1</b>	<b>1,070.2</b>	<b>87,006.1</b>	<b>24.2</b>
Chalatenango	900.2	6,498.3	7.2	1,624.6	132,077.7	36.7
La Libertad	1,623.3	13,379.8	8.2	3,345.0	271,944.9	75.5
San Salvador	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cuscatlán	115.5	846.0	7.3	211.5	17,194.8	4.8
La Paz	677.6	3,409.5	5.0	852.4	69,297.5	19.2
Cabañas	21.0	93.6	4.5	23.4	1,903.0	0.5
San Vicente	156.8	749.0	4.8	187.3	15,223.8	4.2
<b>Total R. Central</b>	<b>3,494.4</b>	<b>24,976.2</b>	<b>37.1</b>	<b>6,244.1</b>	<b>507,641.7</b>	<b>141.0</b>
Usulután	177.8	702.1	3.9	175.5	14,270.5	4.0
San Miguel	304.5	1,524.8	5.0	381.2	30,991.4	8.6
Morazán	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
La Unión	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total R. Oriental</b>	<b>482.3</b>	<b>2,226.9</b>	<b>9.0</b>	<b>556.7</b>	<b>45,261.9</b>	<b>12.6</b>
<b>TOTAL</b>	<b>4,685.8</b>	<b>31,483.9</b>	<b>64.1</b>	<b>7,871.0</b>	<b>639,909.7</b>	<b>177.8</b>
1a. plantación invierno (seco)	3,364.2	21,588.3	6.4	5,397.1	438,782.9	121.9
2a. plantación verano (irrigación)	1,321.6	9,895.5	7.5	2,473.9	201,126.9	55.9

(Fuente: Preparado por el Equipo de Estudio JICA basado en información de "Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2009- 2010; MAG").  
\*12 horas x 300 días

## 4.7.2 Barreras en la Implementación

### 4.7.2.1 Biomasa forestal

En general, la biomasa forestal es una fuente renovable de energía y, en contraste, El Salvador es el segundo país más deforestado en América Latina. De acuerdo con la información de PRISMA (*Memoria Diálogo Nacional Hacia Una Agenda Forestal en El Salvador*), la superficie es de aproximadamente 20.000 km<sup>2</sup> y el 50% es de vocación forestal y el 41% se encuentra con altos niveles de erosión. De acuerdo con el período 2003-2005, la cobertura forestal alcanza el 19,1% del país.

Debido a lo anterior y a conversaciones con el CNE, la biomasa forestal no se considera como recurso para la generación de energía en este estudio

### 4.7.2.2 Residuos agrícolas

Si los residuos agrícolas están disponibles de forma gratuita, entonces este viene a ser uno de los recursos

más adecuados para la generación eléctrica por biomasa. Además, es necesario considerar el costo de preparación, así como el transporte, secado y corte para el pre procesamiento. Es difícil utilizar recursos valiosos de la biomasa para la generación eléctrica de acuerdo con el punto de vista de sostenibilidad económica.

#### 4.7.2.3 Tecnología

Los sistemas de generación eléctrica a gran escala que usan la biomasa con turbinas a vapor y calderas ya operan en El Salvador. Por otro lado, la generación eléctrica a pequeña escala a partir de biomasa, tal como el sistema de gasificación, no está operando todavía.

#### 4.7.3 Estudios relacionados y proyectos existentes y en desarrollo

Los sistemas de generación eléctrica a partir de biomasa han sido introducidos por el sector privado, principalmente en los ingenios azucareros. Por lo tanto, las empresas han estado estudiando y elaborando el plan de desarrollo por cuenta propia.

#### 4.7.4 Planes de proyectos futuros

Las centrales eléctricas de biomasa han sido instaladas por empresas privadas. De acuerdo con los resultados de la inspección de campo en los ingenios azucareros de La Cabaña y El Ángel, ambos tienen un plan de desarrollo futuro en las plantas de generación eléctrica de biomasa del bagazo. Hay un plan de CASSA para introducir un sistema adicional de generación de energía eléctrica entre 30 MW y 20 MW en el Ingenio Chaparrastique antes de la temporada de cosecha 2013 - 2014.

**Tabla 4.7.4 Planes de proyectos futuros**

Descripción	La Cabaña	El Ángel	CASSA*
Capacidad instalada adicional (MW)	15	25	De 20 a 30
Año de construcción	2015	Dic. 2011	2013

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

\*El plan de expansión corresponde al Ingenio Chaparrastique

### 4.8 Biogás

En el departamento de San Salvador, en la ciudad de Nejapa, se encuentra ubicado un relleno sanitario en donde existe producción de biogás. La capacidad instalada de la planta de biogás mencionada es de 6.3 MW. Existen además, otros rellenos sanitarios en el interior del país. La capacidad instalada de la producción de biogás en el relleno sanitario podrá ser incrementada hasta en un máximo de 25 MW.

#### 4.8.1 Situación Actual

##### 4.8.1.1 Biogás de rellenos sanitarios

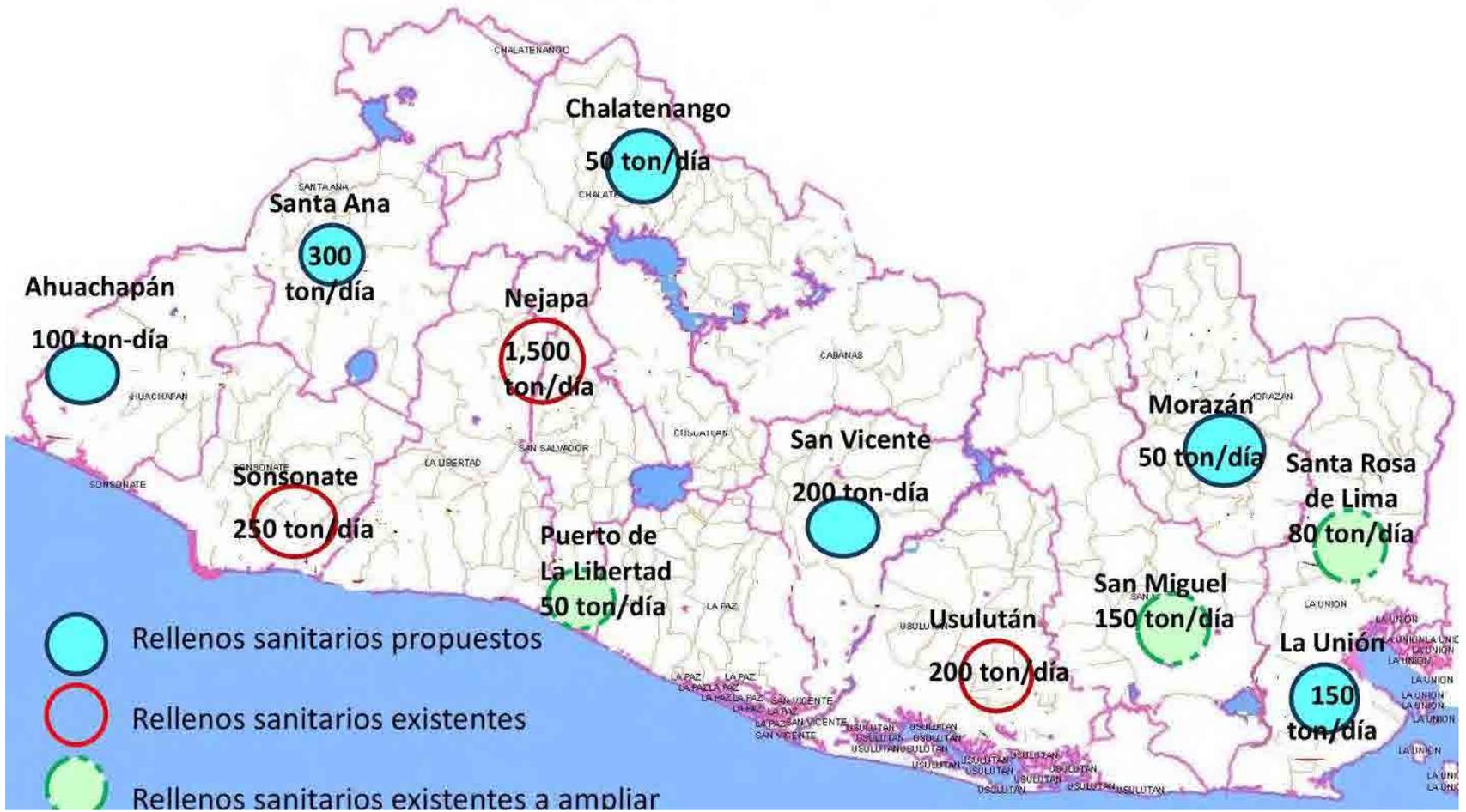
Alrededor del 55% de los residuos sólidos del país y alrededor de 80% de los residuos sólidos en rellenos sanitarios se encuentran en San Salvador. El Salvador tiene una población total de 6.2 millones. De esta,

2.1 millones pertenecen a la altamente urbanizada Área Metropolitana de San Salvador. El relleno sanitario de Nejapa recibe el desecho sólido municipal del Área Metropolitana de San Salvador.

El relleno sanitario de Nejapa recibe desechos sólidos municipales del Área Metropolitana de San Salvador en un área en consignación por 20 años a de la empresa MIDES S.E.M. de CV (MIDES). El relleno ha estado recibiendo 408,000 ton de desecho por año del Área Metropolitana de San Salvador y tiene una capacidad de 12.5 millones de ton divididas en 15 celdas independientes. El periodo de vida útil del relleno (sistema de recolección y eliminación) será de 21 años hasta el año 2026 o mientras el proyecto sea económicamente rentable.

Actualmente, existe una capacidad total instalada de 6.3 MW, aunque existe potencial para incrementar dicha capacidad hasta 10 MW. La planta genera electricidad en un aproximado de 40,000 MWh por año, y el consumo de energía en la planta es alrededor de 3,000 MWh por año. La cantidad de trabajadores permanentes en la central eléctrica es de 30 personas.

Para desarrollar centrales eléctricas de biogás en rellenos sanitarios en otros lugares, será necesario un estudio detallado. La siguiente figura muestra el plan de desarrollo y la expansión de rellenos sanitarios.



(Fuente : "PROGRAMA NACIONAL PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS; MARN")

**Figura 4.8.4 Plan de desarrollo y expansión de rellenos sanitarios**

La siguiente tabla muestra las estimaciones del potencial de las centrales eléctricas de biogás en los rellenos sanitarios, basado en el “Programa nacional de manejo integral de desechos sólidos en El Salvador”. En base a la información proporcionada en la central eléctrica del relleno sanitario de Nejapa, el monto disponible de energía de los desechos sólidos es de 10MW. Por lo tanto, la producción de energía eléctrica puede ser estimada de la siguiente forma:

$$10 \text{ (MW)} \div 2000 \text{ (ton/día)} = 5.0 \text{ (kW/ton)}$$

Basado en la tasa de producción de energía, los potenciales de capacidad han sido estimados como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4.8.1 Potenciales de Generación Eléctrica en Rellenos Sanitarios (Excluyendo Nejapa)**

	Ubicación de Rellenos sanitarios	ton/día	MW
Relleno sanitario propuesto	Ahuachapán	100	0.5
	Santa Ana	300	1.5
	Chalatenango	50	0.3
	San Vicente	200	1.0
	Morazán	50	0.3
	La Unión	150	0.8
Rellenos sanitarios existentes	Sonsonate	250	1.3
	Usulután	200	1.0
Expansión de rellenos sanitarios existentes	Puerto de La Libertad	50	0.3
	San Miguel	150	0.8
	Santa Rosa de Lima	80	0.4
TOTAL		1580	7.9

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

#### 4.8.1.2 Desechos de animales

##### A. Posible Capacidad de Introducción

El biogás es producido durante la digestión anaeróbica de sustratos orgánicos, tales como estiércol, residuos de plantas depuradoras, desechos orgánicos de viviendas y desechos industriales. El biogás está conformado principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y este se utiliza como fuente de energía renovable en combinación del calor y plantas de generación de energía eléctrica.

##### a. Biogás a partir de ganado vacuno

El potencial de generación eléctrica es de alrededor de 84 MW en el país. También, el departamento que tiene el más alto potencial de producción de biogás por ganado es La Unión con alrededor de 11.6 MW.

##### b. Biogás a partir del ganado porcino

El potencial de generación es alrededor de 2.4 MW en el país. También, el departamento con el potencial

de generación más alto del cerdo es Cabañas con alrededor de 570 kW.

### **c. Biogás a partir de las aves de corral**

El número más grande de aves de corral se encuentra en la Región Central. En muchos casos, el estiércol de aves es mezclado con vegetales y estiércoles de cerdo, o con desechos de comida de casas. El potencial de generación eléctrica es alrededor de 96 MW en el país. También, el departamento con el potencial más alto de producción de biogás por aves es la Libertad con alrededor de 72MW.

#### **4.8.1.3 Desechos Industriales**

##### **Beneficio de Café**

Existe un beneficio de café que usa biogás a partir de los desechos industriales. Este beneficio de café se encuentra localizado en la ciudad de Quezaltepeque, en el Departamento de La Libertad. Está localizada a 15 kilómetros de la capital. El beneficio procesa alrededor de 3,450 toneladas de granos de café por año. El reactor UASB produce biogás en una cantidad aproximada de 600-700 m<sup>3</sup>/día. El biogás producido (metano) es quemado en la torre de incineración, y no es usado como una fuente de energía para el ciclo de funcionamiento del ingenio.

#### **4.8.1.4 Aguas Residuales**

De acuerdo al MARN, los reservorios naturales han sido contaminados por el agua industrial y esto ha ocasionado el deterioro de la calidad del agua en el país.

De acuerdo al MARN, la calidad del agua fue monitoreada en 124 sitios. 31% de los sitios monitoreados fueron categorizados como de mala calidad del agua y el resto 9% fueron categorizados de poseer pésima calidad del agua. En el caso de pésima calidad, podría ser posible la producción de metano y de otros gases debido a la falta de oxígeno.

#### **4.8.2 Barreras para la Introducción**

Para la planta de biogás del relleno sanitario de Nejapa se ha conducido un estudio de factibilidad por una empresa canadiense, bajo el auspicio del Programa de Cooperación Industrial (CIDA, por sus siglas en inglés). Es necesario conducir estudios de factibilidad en otros rellenos sanitarios para futuras implementaciones. Actualmente, no hay leyes que prohíban el desarrollo de nuevos rellenos sanitarios en El Salvador. Sin embargo, todos los rellenos sanitarios tienen que cumplir con la Ley del Medio Ambiente, en el Artículo N.º 52, y al “Programa Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos”.

#### **4.8.3 Estudios relacionados y proyectos existentes y en funcionamiento**

Es necesario profundizar y ampliar los estudios para desarrollar proyectos, relacionados con la obtención de biogás en los rellenos sanitarios de El Salvador

#### 4.8.4 Planes de desarrollo futuros

En la planta de generación de biogás del relleno de Nejapa, hay un plan para incrementar la capacidad de 6 hasta 10 MW dependiendo de los recursos financieros. La máxima capacidad instalada en el relleno sanitario de Nejapa alcanzará los 25 MW en un futuro cercano.

**Tabla 4.8.2 Plan a Futuro de la Estación Generadora de Biogás de Nejapa**

Plan a Corto plazo	10	MW
Plan a Largo plazo	25	MW

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

## Capítulo 5 Revisión del Pronóstico de la Oferta y Demanda de Energía Eléctrica

### 5.1 Revisión del Pronóstico de la Oferta y Demanda de Energía Eléctrica del Gobierno

La dirección de Mercado Eléctrico del CNE elaboró un reporte donde proyectó la oferta y demanda de la energía eléctrica en representación del gobierno de El Salvador en agosto de 2011. El pronóstico de la demanda se realizó para los próximos 15 años, desde 2012 al 2026, con el propósito de estimar la demanda por año en base a la generación de energía anual. El CNE también preparó escenarios de desarrollo que teóricamente permiten satisfacer la demanda pronosticada. En total se toman siete escenarios distintos para estimar los costos marginales de la operación para los 15 años.

#### 5.1.1 Pronóstico de la Demanda de Energía

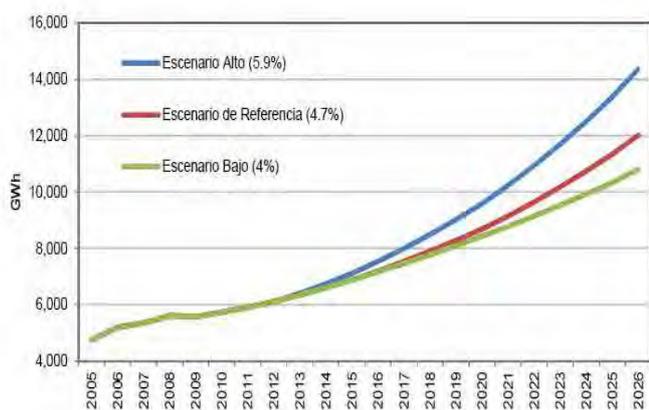
En este estudio se ha optado por el de Regresión Lineal Múltiple, dicho método aplica variables tales como el Producto Interno Bruto (PIB), precios de combustibles y energía eléctrica, demanda de energía eléctrica, número de consumidores finales, etc.

El pronóstico de la demanda se considera como de referencia para tres escenarios: Alto, de Referencia (base) y Bajo.

Las condiciones de demanda específicas para el mercado eléctrico mayorista consideradas en las suposiciones de la demanda, proyectadas para un período de 15 años desde el 2012 al 2026, son:

- Período del Estudio: desde el 2012 al 2026 (15 años)
- Referencia de Precio Constante: año 2010
- Tasa de Descuento: 12%

Al aplicar las condiciones anteriores, se pueden obtener los siguientes resultados.



Año	Pronóstico de Demanda Escenario de Referencia (GWh)	Demanda Pico de la Demanda Escenario de Referencia (MW)
2005	4,744.80	829
2006	5,197.00	881
2007	5,352.60	906
2008	5,614.10	943
2009	5,574.80	906
2010	5,734.10	948
2011	5,906.10	976.2
2012	6,108.10	1,009.50
2013	6,346.30	1,048.90
2014	6,604.60	1,091.60
2015	6,877.10	1,136.60
2016	7,193.60	1,188.90
2017	7,536.60	1,245.60
2018	7,900.20	1,305.70
2019	8,283.10	1,369.00
2020	8,685.20	1,435.50
2021	9,146.30	1,511.70
2022	9,646.60	1,594.40
2023	10,179.70	1,682.50
2024	10,744.20	1,775.80
2025	11,340.80	1,874.40
2026	12,016.10	1,986.00

(Fuente: CNE)

**Figura 5.1.1 Pronóstico de demanda para tres escenarios y valores para escenario de Referencia**

## 5.1.2 Plan de Expansión de la Generación

### 5.1.2.1 Escenario de Referencia

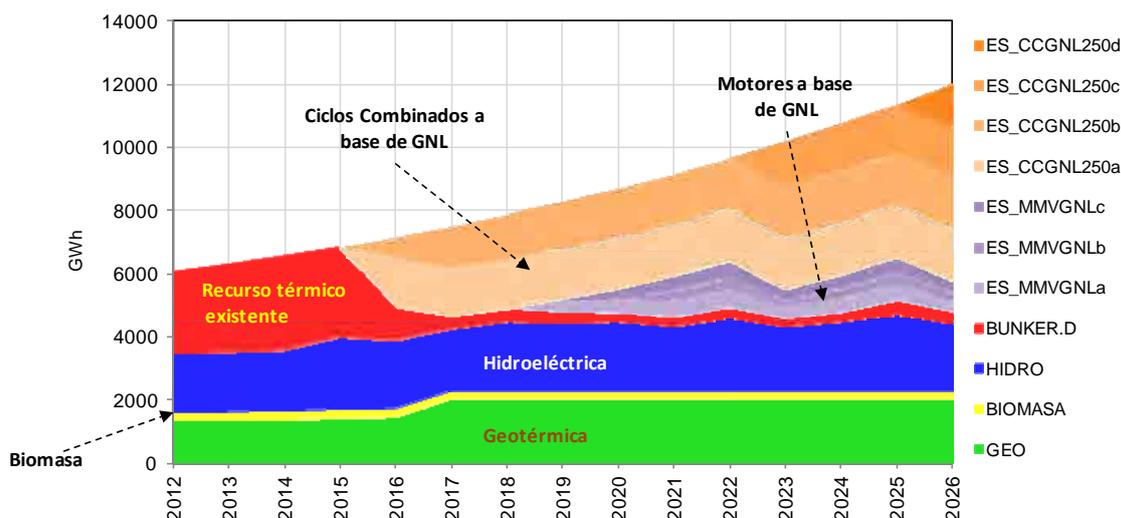
El CNE llevó a cabo la simulación de escenarios utilizando las condiciones mostradas en la sección anterior y formuló, en base a estas, un plan de expansión de la generación para el escenario de referencia. Los resultados se muestran en la Tabla 5.1.1. La capacidad total de energía renovable (incluyendo medianas y grandes centrales hidroeléctricas de más de 20MW) es de 289 MW, como se muestra en las filas de la tabla sombreadas de gris, y esto representa el 18% de la inyección total (1,589 MW).

**Tabla 5.1.1 Plan Indicativo de Desarrollo de Energía (Escenario de Referencia)**

Año de Instalación	Nombre del Proyecto	Potencia Generada (MW)
2011	Expansión Ingenio El Ángel (Biomasa)	15
2012	Contrato Xacbal (Hidroeléctrica)	30
2013	Expansión Ingenio La Cabaña (Biomasa)	15
2015	Hidroeléctrica Chaparral (Hidroeléctrica)	66
	Optimización Geotérmica Ahuachapán. (Geotérmica)	5
2016	Expansión hidroeléctrica 5 de Noviembre (Hidroeléctrica)	80
	Geotérmica Berlín, Unidad 6 (Geotérmica)	5
	Ciclo Combinado Gas Natural –a	250
	Ciclo combinado Gas Natural –b	107
2017	Central Geotérmica Chinameca (Geotérmica)	47
	Geotérmica Berlín, Unidad 5 (Geotérmica)	26
	Ciclo Combinado Gas Natural – b	143
2019	Motores de media velocidad, gas natural	100
2020	Motores de media velocidad, gas natural	100
2021	Motores de media velocidad, gas natural	100
2023	Ciclo combinado Gas Natural – c	250
2026	Ciclo combinado Gas Natural – d	250
Subtotal por Energía Térmica		1,300
Subtotal por Fuentes de Energía Renovables		289
Total		1,589

(Fuente: CNE)

Como visto en la tabla anterior, el gobierno de El Salvador tendría que introducir intensivamente recursos de energía renovables desde el 2011 hasta el 2016 para renovar drásticamente la matriz energética del país (Figura 5.1.2.)



(Fuente CNE)

**Figura 5.1.2 Cambio de cantidad de generación eléctrica por tipo de fuente de energía**

Además, el gobierno tendría que intentar reducir los costos en la generación de energía a largo plazo a través de cambios drásticos en las fuentes de generación de energía antes mencionadas. La Figura 5.1.2 presenta el resultado de una simulación del costo marginal para la operación anual. Del resultado de la simulación, se puede ver como el gobierno de El Salvador podría disminuir el nivel del costo actual de generación de 140 a 160 US \$/MWh (14 a 16 centavos de US \$/kWh) a un nivel de 70 a 100 US\$/MWh (7 a 10 centavos de US\$ /kWh) al cambiar la matriz energética en los próximos cinco años.



(Fuente: CNE)

**Figura 5.1.3 Resultados de Simulación de los costos marginales para la operación anual**

**5.1.2.2 Otros escenarios para el Plan de Expansión de la Generación**

El CNE calculó el costo marginal de la operación para otros seis escenarios basados en el Escenario de Referencia de expansión (Tabla 5.1.2).

**Tabla 5.1.2 Lista de Escenarios del Plan de Expansión de Generación y los Costos Marginales de la Operación**

Escenario	Inversión (Mill. USD)	Costo de Operación (Mill. USD)	Total (Mill. USD)	Costo Marginal de la Operación (USD /MWh)
De Referencia	977.91	2,280.2	3,258.11	111
Demanda Alta	1,062.02	2,672.9	3,734.92	120
Desfase Proyectos	973.33	2,302.8	3,276.13	108
Energía Hidroeléctrica Cimarrón	1,028.65	2,225.4	3,254.05	116
Inversión Alta CCGNL	1,005.29	2,298.5	3,303.79	115
Combustibles Altos	1,002.17	2,920.5	3,922.67	148
Energías Renovables	1,290.04	2,138.4	3,428.44	110

(Fuente: CNE)

En la Tabla 5.1.3 se presenta un Plan de Desarrollo para el Escenario de Energías Renovables. El aporte de los recursos de energías renovables se encuentra mostrado en las filas sombreadas de gris, incluyendo medianas y grandes centrales hidroeléctricas (mayores de 20 MW de capacidad), las cuales representan el 44% (680 MW) del desarrollo total de 1,530 MW. Este monto es más del doble comparado con los 289 MW obtenidos en el Escenario de Referencia.

**Tabla 5.1.3 Plan de Desarrollo para el Escenario de Energías Renovables**

Año de Instalación	Nombre del Proyecto	Potencia Generada (MW)
2011	Expansión Ingenio El Ángel (Biomasa)	15
2012	Contrato Xacbal (Hidro)	30
2013	Expansión Ingenio La Cabaña(Biomasa)	15
2015	Hidroeléctrica Chaparral(Hidro)	66
	Optimización Geotérmica Ahuachapán. (Geotérmica)	5
	Fotovoltaico – a	5
2016	Expansión hidroeléctrica 5 de Noviembre (Hidro)	80
	Geotérmica Berlín, Unidad 6 (Geotérmica)	5
	Ciclo Combinado Gas Natural –a	250
	Ciclo combinado Gas Natural –b	250
	Pequeña Central Hidroeléctrica – a	10
2017	Central Geotérmica Chinameca(Geotérmica)	47
	Geotérmica Berlín, Unidad 5(Geotérmica)	26
	Pequeña Central Hidroeléctrica - b	10
	Fotovoltaico - b	3
	Parque Eólico	42
	Térmico Solar Concentrado	50
2018	Fotovoltaico - c	10
2021	Motores de media velocidad, gas natural	100
2022	Ciclo combinado Gas Natural – c	250
	Cimarrón	261
Subtotal por Energía Térmica		850
Subtotal por Fuentes de energía renovables		680
Total		1,530

(Fuente: CNE)

**5.1.2.3 Plan de Adquisición de Energía a 350 MW**

Los 350 MW de potencia del Plan de Adquisiciones, estaba preparado para lograr el "contrato a largo plazo a través de licitaciones" que fue anunciado en agosto de 2011. Importe previsto la contratación total es de 350 MW, que consiste en ciclo combinado a gas natural y fuentes renovables de energía, etc. contratos a largo plazo utilizado para llegar a la conclusión entre generadores y distribuidores a través de negociaciones bilaterales individuales. Su objetivo es reducir el los costos de adquisición de energía mediante la aplicación de los procedimientos de licitación en el contrato a largo plazo. Proceso de licitación para "350 MW de potencia Plan de Adquisiciones", coordinada por una empresa de distribución de DELSUR como una ventana. Oferta se cerró en diciembre de 2011 y el resultado se dará a conocer en el primer trimestre de 2012. el poder suministro a través del "Plan de 350 MW de adquisición de electricidad" se iniciará a partir del año 2016.

## **5.2 Consistencia entre los Planes de Proyectos de Desarrollo de Electricidad y la Introducción de las Energías Renovables**

“Escenario de Referencia” consiste de gas natural para termo energía de mas del 80%. Se llevaron a cabo estudios tomando en consideración el factor de planta de gas natural de termo energía a 70%, se confirmo que la generación de energía era satisfactoria para la demanda por los siguientes 15 años.

“Escenario de Energía Renovable” consiste de un 44% de fuentes de energía renovable (incluyendo medianas y grandes hidroeléctricas) y 56% de termo energía proveniente del gas natural. Por el momento parece ser que el escenario a sido preparado tomando en cuanta las fuentes de energía renovable como máximo y compensando el balance por medio de la termo energía proveniente del gas natural. Por lo tanto el escenario puede ser considerado como consistente con el plan de desarrollo de energía.

## Capítulo 6 Revisión de las Leyes, Reglamentos y Normas de las Redes de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica relacionadas con las Energías Renovables

### 6.1 Líneas Generales de las Leyes, Reglamentos y Normas de las Redes de Transmisión y Distribución

La normativa en redes de distribución y transmisión se puede clasificar en cuatro categorías: leyes y reglamentos del sector eléctrico, normas técnicas para la interconexión eléctrica, normas técnicas para la operación y especificaciones técnicas de equipos eléctricos.

En resumen, en la Tabla 6.1.1 se mencionan en forma resumida las leyes, reglamentos y normas relacionadas a las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica.

**Tabla 6.1.1 Leyes, reglamentos y normas relacionadas a las redes eléctricas de transmisión y distribución**

No.	Categoría	Documentos	Objetivos
1	Leyes y reglamentos del sector eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Ley General de Electricidad (Decreto Legislativo No. 843, 1996)</li> <li>◆ Reglamento de la LGE (Decreto Ejecutivo No. 70, 1997)</li> </ul>	Regular las actividades privadas o públicas relacionadas a la generación, transmisión distribución y comercialización de la energía eléctrica en El Salvador.
2	Normas Técnicas para la Interconexión a las Redes de Transmisión y Distribución	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Norma Técnica de Interconexión Eléctrica y Acceso de Usuarios Finales a la Red de Transmisión (Acuerdo SIGET 30-E-2011, Enero 2011)</li> </ul>	Determinar los procedimientos, requisitos y responsabilidades aplicables a las interconexiones eléctricas entre operadores con el fin de garantizar el principio de libre acceso a las instalaciones de transmisión y distribución, así como la calidad y seguridad del sistema.
3	Normas Técnicas para la Operación de las Redes de Transmisión y Distribución	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reglamento de Operación del Sistema de Transmisión y del Mercado Mayorista basado en Costos de Producción (Acuerdo SIGET No. 335-E-2011, Julio 2011)</li> <li>◆ Anexo 10 – Operación en Tiempo Real.</li> <li>◆ Anexo 12 – Normas de Calidad y Seguridad Operativas</li> <li>◆ Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución (Acuerdo SIGET No. 192-E-2004, Diciembre 2004)</li> <li>◆ Calidad del suministro o servicio técnico (interrupciones).</li> <li>◆ Calidad del producto técnico suministrado (niveles de tensión, perturbaciones en la onda de voltaje).</li> <li>◆ Calidad del servicio comercial (atención al usuario, medios de atención al usuario, precisión de los elementos de medición)</li> </ul>	<p>Definición de normas técnicas, métodos y/o procedimientos desarrollados por la UT para la operación del sistema de transmisión, considerando aspectos de calidad y seguridad.</p> <p>Regular los índices e indicadores de referencia para calificar la calidad con que las empresas distribuidoras de energía eléctrica suministran los servicios de energía eléctrica a los usuarios de la Red de Distribución.</p>

No.	Categoría	Documentos	Objetivos
4	Especificaciones Técnicas de Equipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos de América (NEC, en inglés), edición en español del 2008 (NFPA, 2008).</li> <li>◆ Normativa de Construcción para Redes de 46 kV, 23 kV, 13.2 kV, 4.16 kV y 120/240 V (Acuerdo SIGET No. 66-E-2001, Marzo 2001)</li> </ul>	Contiene las exigencias de seguridad y calidad, para todas las personas naturales o jurídicas que tengan relación con trabajos de diseño, construcción, supervisión, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas.

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

## 6.2 Problemas en las Leyes, Reglamentos y Normas Actuales al conectar proyectos de Energía Renovable en las Redes de Transmisión y Distribución

De acuerdo con los resultados de la revisión de las leyes, reglamentos y normas de las redes de transmisión y distribución, los problemas de conexión de los proyectos de generación eléctrica que se ejecutan en las energías renovables se explican en las siguientes tres categorías:

- 1) Problemas al conectar de pequeñas centrales hidroeléctricas.
- 2) Problemas al conectar de fuentes de energía inestables (tales como solar FV y eólica), y
- 3) Problemas al conectar de otras fuentes de energía (geotérmica, biomasa, etc.).

### 6.2.1 Problemas al conectar pequeñas centrales hidroeléctricas

Las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) representan una fuente de energía estable debido al flujo continuo de energía en las turbinas hidráulicas. Los principales problemas de las PCHs hasta 20 MW se mencionan en la Tabla 6.2.1.

**Tabla 6.2.1 Problemas al conectar Pequeñas Centrales Hidroeléctricas**

No.	Category		Description	Issues in current regulations
1	Permisos para la conexión a las redes eléctricas		En El Salvador los proyectos de PCHs hasta 20 MW son usualmente conectados a la redes de transmisión y distribución en MT, en los niveles de 13,2 kV, 23 kV y 46 kV. En el caso de los pequeños generadores (hasta 20 MW) conectados a las redes de distribución, el distribuidor debe modificar y adaptar sus instalaciones para la conexión.	Ninguno.
2	Operación Normal	Regulación de Voltaje	Los generadores síncronos tienen las ventajas de un control adecuado de voltaje a través de sus sistemas de excitación por inyección y absorción de la energía reactiva. En los generadores síncronos utilizados en caso de generación distribuida, el control de voltaje no se realiza, pero se mantiene un control constante del factor de potencia (control de tensión pobre). Por otro lado, los generadores de inducción necesitan de banco de capacitores para iniciar la operación, consumen energía reactiva, y no ejecutan la regulación de voltaje.	Para cumplir con la normativa de la SIGET, es necesario que los pequeños generadores de energía hidroeléctrica regulen activamente el voltaje en el punto de conexión (punto de acoplamiento común, PAC).

No.	Category		Description	Issues in current regulations
3	Operación Normal	Pérdidas Eléctricas	En general, las PCHs pueden reducir las pérdidas eléctricas en las redes de transmisión y redes de distribución vecinas. Una PCH utilizada como generación distribuida puede aumentar las pérdidas eléctricas en función de su ubicación y el tamaño (potencia) de la generación	Por lo tanto, es necesario definir normas sobre el tamaño de las PCH's a ser conectadas a las redes de distribución para evitar un aumento de pérdidas eléctricas.
4	Operación anormal	Operación en Isla	Los sistemas de generación pueden ser operados en modo de isla, en caso de sistemas aislados en las zonas rurales (fuera de la red). En el caso de la operación de generación distribuida, se prohíbe la adopción de funcionamiento en isla (por ejemplo, tras un fallo) con o sin intención.	No existe un reglamento sobre el funcionamiento en isla de los generadores conectados a las redes de distribución.
5		Esquemas de Protección	Las PCHs poseen esquemas básicos de protección relacionadas con el voltaje mínimo y máximo, frecuencia mínima y máxima y sobrecorriente, entre otros. La norma técnica de la interconexión de la SIGET establece que los estudios de coordinación de la protección deben realizarse para conectar los generadores a redes de distribución y transmisión.	Existen normas técnicas para los sistemas de protección en la normativa vigente, pero es necesario definir los esquemas de protección en isla no intencional para la generación distribuida
6	Calidad de energía	Fluctuaciones de Voltaje	No existen problemas reportados en la fluctuación de la voltaje causados por PCHs.	Ninguno.
7		Flicker de Voltaje	No existen problemas reportados por flicker de voltaje causados por PCHs.	Ninguno
8		Distorsión por Armónicas	No existen problemas reportados distorsión armónica causados por PCHs.	Ninguno
9	Otros problemas	Mantenimiento	Los generadores síncronos requieren un control más complejo que los generadores de inducción, tanto para la sincronización con los sistemas de transmisión y distribución, como para el sistema de control de excitación.	La normativa para la interconexión de la SIGET establece que es necesario cumplir con las normas técnicas y de seguridad para realizar las actividades de mantenimiento.

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

### 6.2.2 Problemas al conectar fuentes de energía inestables como solar FV y eólica

Las energías solar FV y eólica se desarrollan según la disponibilidad de los recursos naturales, como el sol y el viento, los cuales dependen de factores climáticos. Esas energías son clasificadas como fuentes de energía inestables, debido a que su generación es intermitente. Los principales problemas de las fuentes de energía inestables, tales como la energía solar FV o la eólica, son mencionados a continuación.

**Tabla 6.2.2 Problemas al conectar fuentes de energía inestables como solar FV y eólica**

No.	Category	Description	Issues in current regulations
1	Permisos para la conexión a las redes eléctricas	<p>Los pequeños proyectos de energía solar FV son comúnmente conectados a las redes de distribución en BT en los niveles de menos de 600 V (NEC 2008). La mayoría de los proyectos fotovoltaicos solares FV están conectados a las redes de distribución en los niveles de MT de 13.2 kV y 23 kV.</p> <p>Actualmente no hay proyectos de energía eólica conectados a la red eléctrica, pero se espera que los futuros sean conectados a las redes en MT (13,2 kV, 23 kV, 46 kV).</p> <p>La norma técnica de la interconexión de la SIGET permite la conexión a cualquiera de las redes (de transmisión y distribución) y cuando la energía solar FV o los generadores eólicos (hasta 20 MW) se conectan a las redes de distribución, el distribuidor puede modificar y adaptar sus instalaciones para la conexión.</p>	Ninguno.
2	Operación Normal	<p>Las tecnologías utilizadas en unidades de energía solar fotovoltaica de energía se basan en convertidores estáticos. Estas tecnologías están programadas para producir energía activa generando con un factor de potencia unitario. La tecnología del inversor IGBT se ha desarrollado para sistemas de conmutación que son capaces de controlar el factor de potencia y limitar los armónicos.</p> <p>Las tecnologías de las unidades generadoras que participan con la energía eólica se clasifican como convertidores estáticos, síncronos y asíncronos (de inducción).</p> <p>La Norma técnica de calidad de la SIGET define las desviaciones de voltaje máximas            MT: zona urbana: <math>\pm 6\%</math>, zona rural: <math>\pm 7\%</math> y sistema aislado: <math>\pm 8,5\%</math>            BT: zona urbana: <math>\pm 7\%</math>, zona rural: <math>\pm 8\%</math> y sistema aislado: <math>\pm 8,5\%</math></p>	Para cumplir con la normativa de la SIGET, es necesario que los generadores de energía solar FV y los generadores eólicos regulen activamente el voltaje en el punto de conexión (punto de acoplamiento común, PAC).
3		Pérdidas Eléctricas	<p>En general, la energía solar fotovoltaica y generadores de energía eólica pueden reducir las pérdidas eléctricas en las redes vecinas de distribución.</p> <p>Los generadores de energía solar FV y eólica utilizados como generación distribuida pueden aumentar las pérdidas eléctricas en función de su ubicación y el tamaño de la generación.</p>
4	Operación anormal	Operación en Isla	No existe un reglamento sobre el funcionamiento en isla de los generadores conectados a las redes de distribución.
5		Esquemas de Protección	Existen normas técnicas para los sistemas de protección en la normativa vigente, pero es necesario definir los esquemas de protección en isla no intencional, para la energía solar FV y generadores eólicos que están conectados a las redes de distribución.

No.	Category		Description	Issues in current regulations
6	Calidad de energía	Fluctuaciones de Voltaje	En las redes de distribución, el efecto de la conmutación de una carga grande provoca fluctuaciones de voltaje, efecto similar a la variación que provoca la salida de línea de la generador. Las variaciones de potencia de salida de la energía FV y la de los aerogeneradores están sujetas a las variaciones diarias y estacionales. Por otro lado, el restaurador dinámico de voltaje utilizado en dispositivos de almacenamiento de energía, proporciona una solución de tecnología avanzada para compensar caída de voltaje en sistemas de distribución.	No existen regulaciones con respecto a la fluctuación de voltaje de los generadores conectados a las redes de distribución.
7		Flicker de Voltaje	En las redes de distribución la causa más común de Flicker de voltaje es una variación rápida de la corriente de carga de energía solar FV y los generadores eólicos. En particular, los generadores eólicos han sido considerados como posible causa de flicker de voltaje debido las variaciones de salida de potencia de esas turbinas. Sin embargo, el diseño de los modernos aerogeneradores se ha modificado de tal manera que las grandes variaciones de la potencia de salida en un lapso corto se pueden evitar con eficacia (velocidad variable). La Norma técnica de calidad de la SIGET define el “máximo tiempo corto de perceptibilidad de parpadeo (Pst)” como “1”, para las barras o nodos de MT y BT.	Existen normas técnicas vigentes para el flicker de voltaje, pero es necesario definir las responsabilidades de las emisiones de flicker en las conexiones de baja tensión.
8		Distorsión por Armónicas	El principal problema de los clásicos inversores estáticos es la generación de armónicos impares de orden inferior (tercera, quinta, séptima, etc.) Hoy en día, los inversores de conmutación IGBT generan armónicos de alto orden, por ejemplo, 25, 35, y mayores La Norma técnica de calidad de la SIGET define el máximo de distorsión armónica total de tensión y corriente en las barras o nodos como el 8% y 20%, respectivamente.	Existen normas técnicas para la distorsión armónica en la normativa vigente, pero es necesario revisar los límites actuales para la conexión para evitar daños en los equipos de los usuarios finales.
9	Otros problemas	Mantenimiento	El mantenimiento en los paneles solares FV y las máquinas asíncronas (inducción) de generadores eólicos es bajo.	La normativa para la interconexión de la SIGET establece que es necesario cumplir con las normas técnicas y de seguridad para realizar las actividades de mantenimiento.

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

### 6.2.3 Problemas al conectar otras fuentes de energía (geotérmica, biomasa, etc.)

La generación geotérmica en El Salvador es clasificada como convencional y tiene una participación importante en el despacho de generación del mercado mayorista. Otras fuentes de energía renovables como la biomasa y el biogás se están desarrollando en El Salvador, y éstas son caracterizadas por no tener un suministro estable de combustible, por ejemplo, el bagazo para la energía de biomasa depende de los periodos de cosecha.

Los principales problemas de otras fuentes de energía (geotérmica, biomasa y biogás) para su conexión a las redes de transmisión y distribución se mencionan a continuación:

**Tabla 6.2.3 Problemas al conectar otras fuentes de energía (eotérmica, biomasa, etc.)**

No.	Category	Description	Issues in current regulations	
1	Permisos para la conexión a las redes eléctricas	La generación de energía geotérmica, se conecta principalmente a la red de transmisión. La generación de biomasa se desarrolla desde unos pocos MW hasta una capacidad elevada (superior a 20 MW). La generación de biogás se desarrolla hasta 25 MW. La generación de biomasa y biogás puede conectarse a las redes de distribución en los niveles de MT de 13.2 kV, 23 kV y 46 kV. La norma técnica de la interconexión de la SIGET permite la conexión a cualquiera de las redes (de transmisión y distribución) y en el caso de los generadores pequeños (hasta 20 MW) conectados a las redes de distribución, el distribuidor puede modificar y adaptar sus instalaciones para la conexión.	Ninguno.	
2	Operación Normal	Regulación de Voltaje	La generación de energía geotérmica utiliza generadores síncronos que presentan un control de la voltaje adecuado. En cuanto a los sistemas de biomasa o biogás se puede utilizar generadores síncronos y asíncronos, dependiendo de la capacidad. La Norma técnica de calidad de la SIGET define las desviaciones de voltaje máximas en MT como: zona urbana: $\pm 6\%$ , zona rural: $\pm 7\%$ y sistema aislado: $\pm 8,5\%$ .	Para cumplir con la Normativa de SIGET, es necesario que los generadores de biomasa y biogás regulen activamente el voltaje en el punto de conexión (punto de acoplamiento común, PAC).
3		Pérdidas Eléctricas	En general, la generación de energía geotérmica puede reducir las pérdidas eléctricas en la redes vecinas de transmisión y distribución. La generación de biomasa y biogás conectados en redes de distribución podría aumentar las pérdidas eléctricas en función de su ubicación y el tamaño de la generación.	Por lo tanto, es necesario definir normas sobre el tamaño de las PCH's a ser conectadas a las redes de distribución para evitar un aumento de pérdidas eléctricas.
4	Operación anormal	Operación en Isla	Los sistemas de generación podrían operar en modo de isla, en caso de sistemas aislados en las zonas rurales (fuera de la red). Pero en el caso de la operación de generación distribuida en los proyectos de biomasa y el biogás, se prohíbe la adopción de funcionamiento en isla (por ejemplo, tras una falla) con o sin intención.	No existe un reglamento sobre el funcionamiento en isla de los generadores conectados a las redes de distribución.
5		Esquemas de Protección	La generación de energía geotérmica cuenta con dispositivos de protección muy complejos para los generadores y otros componentes. La generación de biomasa y biogás cuentan con sistemas de protección básicos. La norma técnica de la interconexión de la SIGET establece la realización estudios de coordinación de la protección cuando los generadores están conectados a redes de distribución y transmisión.	Existen normas técnicas para los sistemas de protección en la normativa vigente, pero es necesario definir los esquemas de protección en isla no intencional de las conexiones en las redes de distribución.

No.	Category		Description	Issues in current regulations
6	Calidad de energía	Fluctuaciones de Voltaje	No existen problemas reportados relacionados a las fluctuaciones de voltaje causados por generación geotérmica, biomasa y biogás.	Ninguno.
7		Flicker de Voltaje	No existen problemas reportados relacionados a Flicker de Voltaje causados por generación geotérmica, biomasa y biogás.	Ninguno
8		Distorsión por Armónicas	No existen problemas reportados relacionados a Distorsión Armónica causados por generación geotérmica, biomasa y biogás.	Ninguno
9	Otros problemas	Mantenimiento	En la generación de biomasa y biogás, los generadores síncronos requieren un control más complejo que los generadores de inducción, tanto para la sincronización con los sistemas de transmisión y distribución, como para el control de sistema de excitación.	La normativa para la interconexión de la SIGET establece que es necesario cumplir con las normas técnicas y de seguridad para realizar las actividades de mantenimiento.

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

## Capítulo 7 Examen del uso de Energías Renovables

### 7.1 Preparación del Mapa del Potencial Eólico de todo el país

Se preparará el Mapa del Potencial Eólico de todo el territorio de El Salvador para identificar las áreas potenciales para este estudio; dicho mapa indica la distribución del potencial eólico en grandes regiones a cierta altura sobre el nivel del suelo. El potencial se simula a partir de los datos del GIS (*Geographic Information System*, por sus siglas en inglés) y del modelo meteorológico global. Este corrige con los datos del viento superficial de las áreas de evaluación que se están supervisando.

#### 7.1.1 Preparación del Mapa de Potencial Eólico

##### 7.1.1.1 Procedimiento

El mapa de potencial eólico y la base de datos fueron preparados bajo el siguiente procedimiento:

- a) Como resultado del análisis de los datos meteorológicos y la influencia del fenómeno del Niño, se selecciono como los más adecuados, los datos anuales meteorológicos del año 2008.
- b) Los datos meteorológicos del modelo global, como la topografía, y los datos de uso del suelo, fueron colectados y arreglados de forma utilizable. Esos datos son necesarios para el siguiente cálculo.
- c) Las Características anuales del viento (500 malla) del año meta (2008), se calcularon mediante un modelo de simulación numérica evaluable.
- d) Basados en estos resultados, la conversión de las estadísticas entre nivel de velocidad del viento y la potencia energía eólica, se calcularon: la velocidad media anual del viento, el valor acumulado y la frecuencia relativa de la velocidad del viento.
- e) Se preparó el potencial promedio Anual de energía eólica del mapa (a 30m, 50m y 80m sobre el nivel del suelo).
- f) Basado en los mapas de potencial eólico, se seleccionaron las áreas de mayor potencial (10 sitios), considerando las condiciones naturales y sociales de la zona. En los sitios seleccionados, varios datos se mantuvieron como una base de datos de viento, y guardados en un DVD con un formato designado.
- g) Se elaboro el manual para el Mapa Eólico. Además, son explicados los procedimientos preparatorios, la operación, y el análisis de resultados.

##### 7.1.1.2 Modelo de Simulación del tiempo para evaluar el potencial eólico

###### A. Modelo de Investigación y Pronóstico del Tiempo (WRF, por sus siglas en ingles)

En este estudio, el potencial anual de energía eólica se ha simulado sobre la base del modelo WRF. Una simulación meteorológica conducida durante el año 2008, se llevó a cabo utilizando este modelo. La situación de los vientos en un año y durante 8,784 horas, se calculó en 5 kilómetros malla, todos los días por cada hora.

El Análisis Final Mundial (FNL, por sus siglas en inglés), dato objetivo de análisis por el NECP, fue utilizado para simular el valor inicial y el valor límite del clima por el WRF. Los datos de terreno y uso de la tierra se incluyen en el modelo WRF, que preparó el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

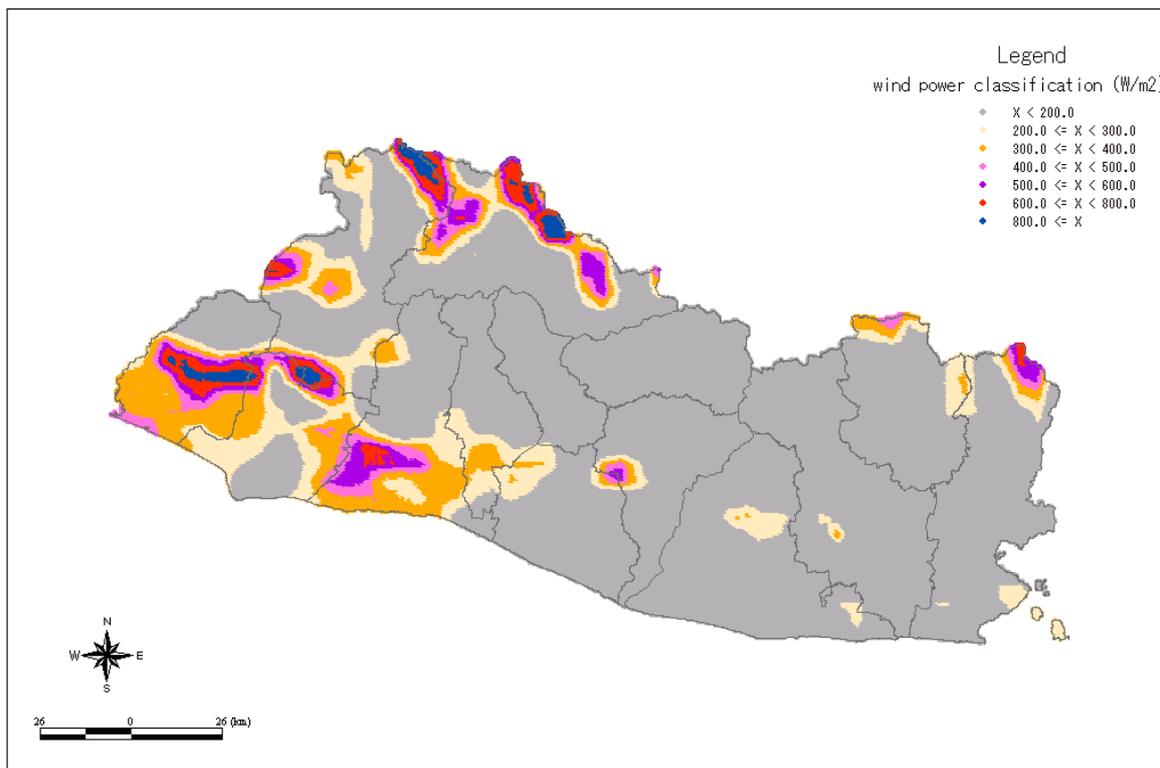
#### **B. Modelo MASCON (*Mass Concentration*, por sus siglas en inglés)**

Sobre la base de los resultados de este cálculo de velocidad del viento en una malla de cada 5 kilómetros horizontal del modelo WRF, se han calculado los datos de viento posibles que cubren toda la superficie del país con una malla horizontal 500. El modelo MASCON se usa para corregir la velocidad del viento y satisfacer la ley de conservación de la masa con los datos topográficos (un nivel de altitud). Este cálculo puede evaluar el efecto de la topografía detallada relativamente en poco tiempo. El valor inicial de entrada para el cálculo, fue elaborado con base al resultado de WRF por interpolación de los puntos de peso en distancia. El Modelo de Evaluación Digital (*DEM*, por sus siglas en inglés) usa una resolución de 500 metros, el cual es preparado por los datos digitales del Software para Trazar la Matriz (*SRTM*, por sus siglas en inglés) que se utilizó para el nivel de altitud de la topografía.

#### **7.1.2 Mapa del Potencial Eólico**

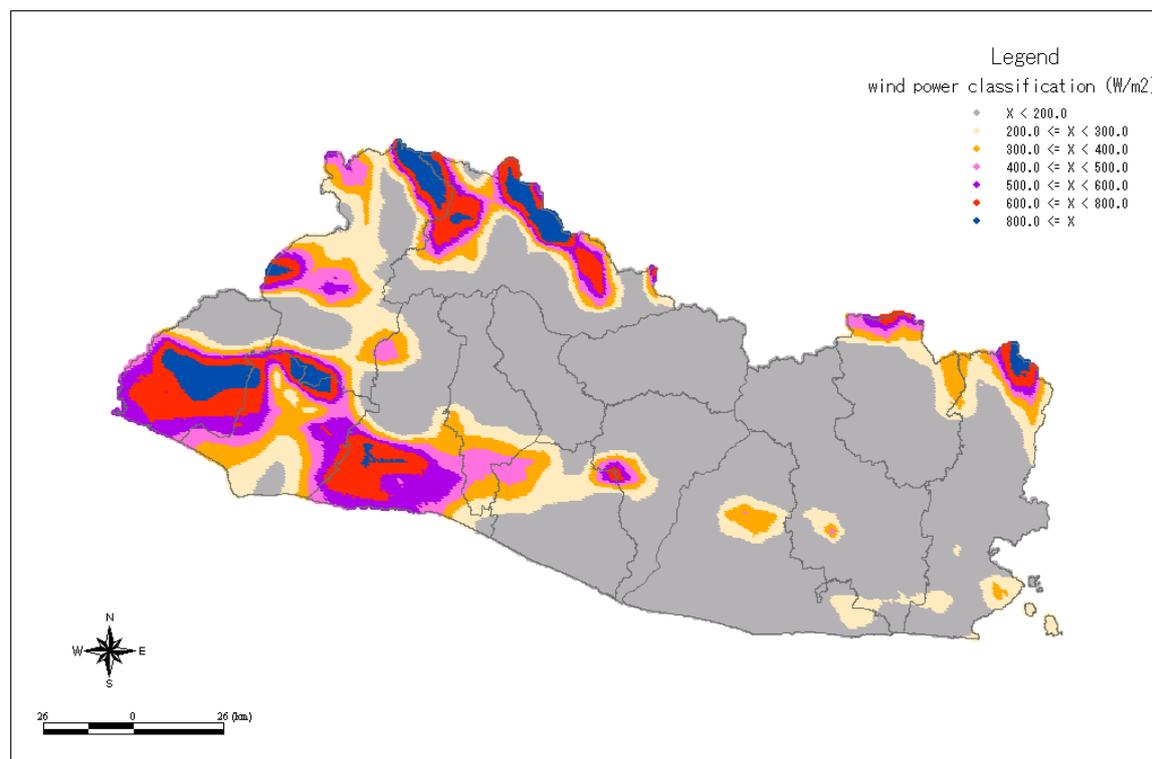
Los niveles de altura para calcular el potencial eólico de los mapas que se prepararon en la investigación, son de 30 m, 50 m y 80 m. De acuerdo con el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (*NREL*, por sus siglas en inglés) el área donde la densidad de energía eólica se convierte en más de 320 ( $W/m^2$ ) a 30 metros sobre el nivel del suelo, y más de 400 ( $W/m^2$ ) a 50 m sobre el nivel del suelo, es suficiente para el desarrollo de energía eólica. La siguiente tabla muestra una evaluación estándar del potencial de energía eólica y la velocidad del viento.

Los mapas nacionales del potencial eólico en El Salvador, se muestran a continuación



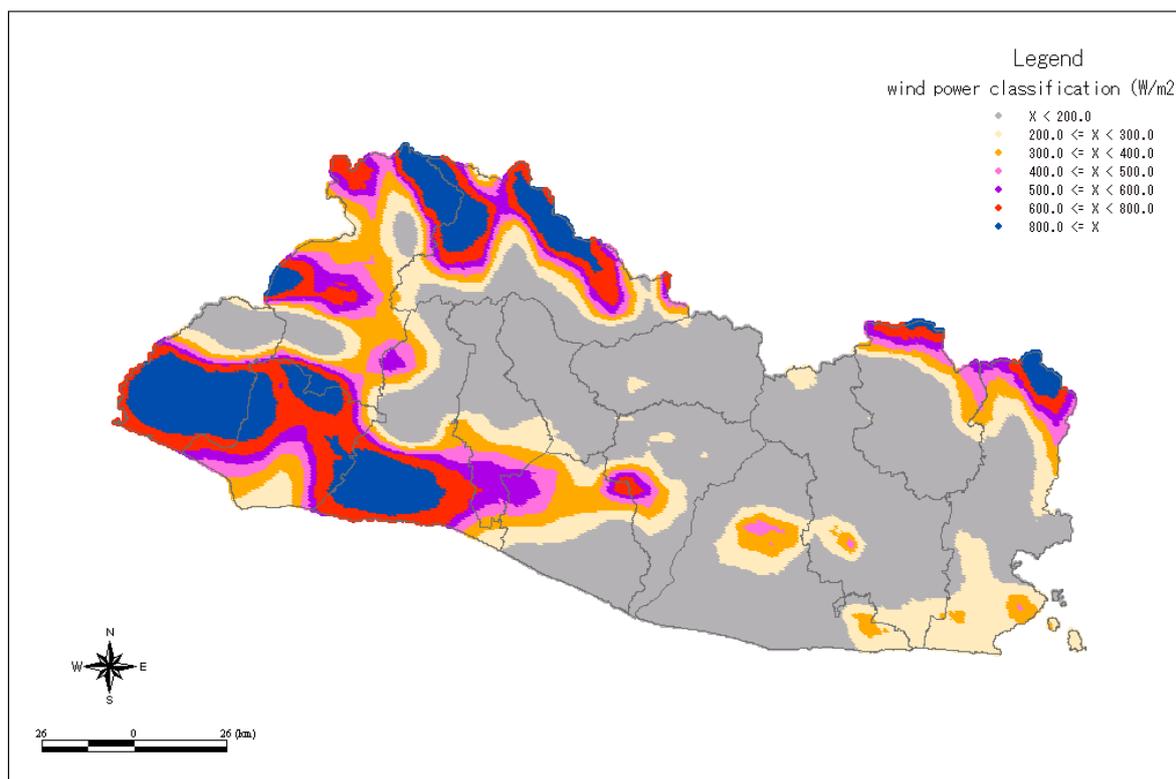
(Fuente: Asociación Japonesa del Clima)

**Figura 7.1.1 Mapa de Potencial eólico de El Salvador (30 m sobre nivel de suelo)**



(Fuente: Asociación Japonesa del Clima)

**Figura 7.1.2 Mapa de Potencial eólico de El Salvador (50 m sobre nivel de suelo)**



(Fuente: Asociación Japonesa del Clima)

**Figura 7.1.3 Mapa de Potencial eólico de El Salvador (80 m sobre nivel de suelo)**

### 7.1.3 Resultados del Análisis

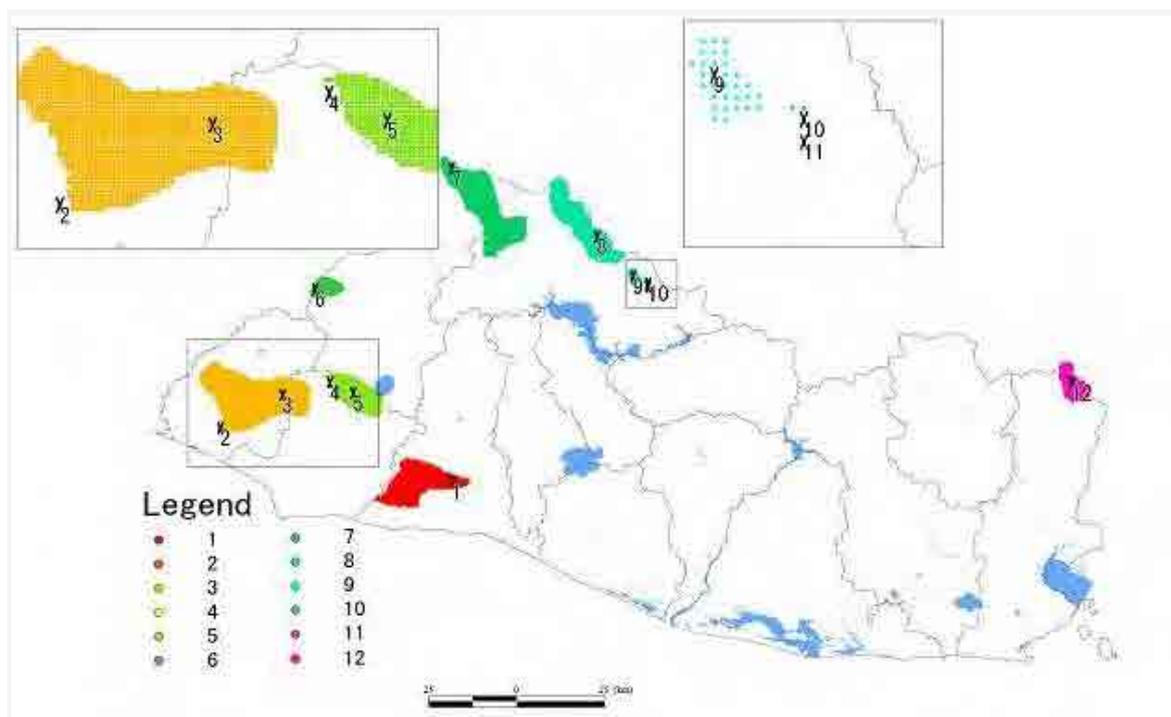
#### 7.1.3.1 Potencial Eólico

Como resultado del análisis del potencial eólico en El Salvador, se han reconocido las siguientes zonas de gran potencial:

- Área montañosa del suroeste (área al sur de la cordillera)
- Área montañosa al noroeste (cerca de la cordillera)
- Área montañosa al noreste (cerca de la cordillera hacia la frontera)

#### 7.1.3.2 Sitios Eólicos con Potencial.

Para la selección del área con potencial eólico, la zona donde el viento potencia los  $700 \text{ W/m}^2$  a 50 metros sobre el nivel del suelo se considera aceptable. Como resultado, se han seleccionado 12 áreas que se muestran en la siguiente figura. El área de Mayor potencial fue seleccionada como representativa de la zona.



(Fuente: Asociación Japonesa del Clima)

**Figura 7.1.4 Sitios con potencial eólico**

La velocidad del viento y su potencial a 30 m, 50 m, y 80 m sobre el nivel de suelo se muestra en la tabla 7.1.1.

**Tabla 7.1.1 Datos del potencial en los sitios (velocidad y potencial del viento)**

punto(área)	latitud	longitud	altitud	velocidad media anual del viento(m/s)			potencial anual del viento (W/m <sup>2</sup> )		
	grados	grados	metros	30 m	50 m	80 m	30 m	50 m	80 m
1	13.6181	-89.3773	956	6.50	7.32	7.66	574.0	843.8	1,010.2
2	13.7569	-89.9653	224	5.15	5.94	6.62	401.6	703.4	1,036.7
3	13.8403	-89.8079	1,796	8.20	8.52	8.69	1,072.2	1,231.2	1,348.9
4	13.8727	-89.6875	1,925	6.61	7.42	7.94	485.1	707.0	899.1
5	13.8449	-89.6273	2,096	8.19	8.48	8.55	1,100.8	1,237.1	1,281.8
6	14.1134	-89.7245	1,318	8.22	8.87	9.33	806.0	1,013.6	1,193.8
7	14.4236	-89.3773	2,214	8.61	8.95	9.08	1,183.2	1,363.3	1,460.1
8	14.2477	-89.0069	1,266	7.26	7.81	7.96	1,029.6	1,287.6	1,402.6
9	14.1458	-88.9144	1,447	5.82	6.26	6.44	589.5	749.0	849.5
10	14.1273	-88.8773	1,178	5.96	6.30	6.47	591.6	708.8	794.9
11	14.1181	-88.8773	1,101	5.94	6.30	6.46	576.9	700.9	782.6
12	13.8727	-87.7986	1,001	6.75	7.56	7.98	636.4	911.5	1,103.1

(Fuente: Asociación Japonesa del Clima)

### 7.1.3.3 Comparación a Datos Monitoreados

En el área de las estaciones meteorológicas existentes, el ejemplo que compara el valor real con el valor calculado se muestra a continuación. Se considera que los valores calculados casi corresponden con los valores reales del año 2008.

**Tabla 7.1.2 Datos Calculados y Monitoreados**

Código	Estación Meteorológica	Promedio Anual velocidad del viento (2008) (m/s)	Velocidad del viento calculada (m/s)	
		H = 10 m	H = 10m	H = 30m
4	Ilopango	4.6	3.5	4.6
31	La Union	2.9	3.4	4.5
32	San Miguel	2.0	2.4	2.7

(Fuente: Asociación Japonesa del Clima)

### 7.1.4 Consideraciones

- Instalación del sistema de monitoreo de viento: Es necesaria la instalación de torres eólicas de vigilancia para monitorear las características del viento en los sitios de potencial eólico.
- Análisis de datos y las características del viento: Es necesario analizar los datos monitoreados, y para seleccionar el área adecuada para la introducción del sistema de generación eólica.
- Establecer la observación y análisis del sistema: Es necesario establecer un sistema para la instalación de la torre de monitoreo, recopilación de datos, análisis y evaluación, para llevar a cabo el monitoreo del viento.

## 7.2 Preparación de la Guía para la Promoción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (menores a 20 MW)

La Guía para la promoción de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) menores a 20 MW se elaborarán solamente en español y separada del informe final.

### 7.2.1 Lineamientos Generales de la Guía

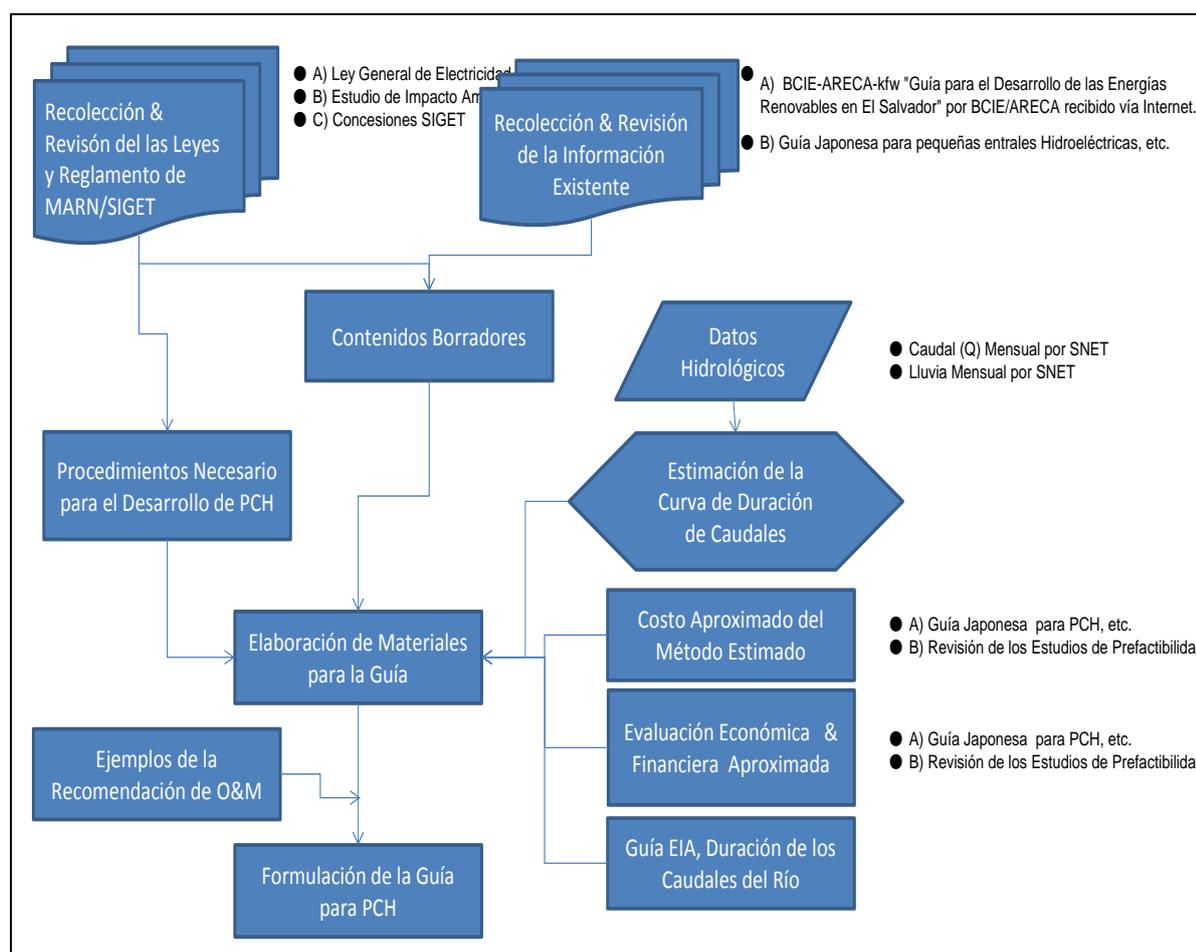
La Guía incluirá los siguientes elementos:

- a. Introducción
- b. Procedimiento necesario para el desarrollo de la PCH
- c. Formulación del plan y evaluación de proyectos de PCH
- d. Operación y mantenimiento (O&M) de proyectos de PCH
- e. Monitoreo del impacto ambiental
- f. Recomendaciones
- g. Anexos (formularios de concesión de la SIGET y formularios de permisos MARN)

### 7.2.2 Guía para la Promoción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

#### 7.2.2.1 Consideraciones básicas sobre los Aspectos Técnicos

En la Figura 7.2.1 se muestran las consideraciones básicas sobre los aspectos técnicos de la Guía para la promoción de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Para estimar los costos de inversión del proyecto de una pequeña central hidroeléctrica en las etapas iniciales, se utilizará el método de estimación de costos aproximados de La Guía Japonesa de Energía Hidroeléctrica. Además, para estimar el caudal de diseño de las PCHs en los lugares previstos, se aplicará la curva de duración de caudales (Flow Duration Curve) por cada departamento mediante el uso de datos hidrológicos disponibles, los cuales estarán anexados en la Guía.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 7.2.1 Flujograma de la formulación de Guía y aspectos técnicos relacionados**

#### 7.2.2.2 Procedimiento para los aspectos regulatorios

Para resolver las barreras en la introducción de las PCHs, serán fácilmente introducidos los procedimientos que presenten cierta complejidad, esto permitirá una rapidez en la actuación de los desarrolladores privados. Los procedimientos necesarios sobre los aspectos reglamentarios de la Guía para la Promoción de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, se enumeran a continuación:

- A. Resumen de la Ley General de Electricidad
- B. Resumen de la Ley del Medio Ambiente y la de Áreas Naturales Protegidas

- C. Procedimientos para el MARN/EIA (cómo obtener permisos del MARN y el estudio de impacto ambiental, descripción de los reglamentos y diagrama de flujo, derecho de agua)
- D. Procedimientos para la SIGET (cómo obtener concesiones de la SIGET, descripción de los reglamentos y diagrama de flujo)
- E. Resumen de la *Ley de Incentivos Fiscales para el Fomento de las Energías Renovables en la Generación de Electricidad*
- F. Procedimiento para obtener la compra o servidumbre de las tierras (del CNR, municipalidades, etc.)
- G. Procedimiento para conectarse a la red eléctrica de distribución o transmisión, según sea el caso: que esta normado por SIGET y por las distribuidoras y el costo de conexión a la red eléctrica.
- H. Procedimiento para obtener créditos de mecanismos de desarrollo limpio (MDL, Bonos de Carbono)
- I. Otros procedimientos necesarios (según sea el caso)

### 7.2.2.3 Contenidos de la Guía

Los contenidos de la guía son los siguientes:

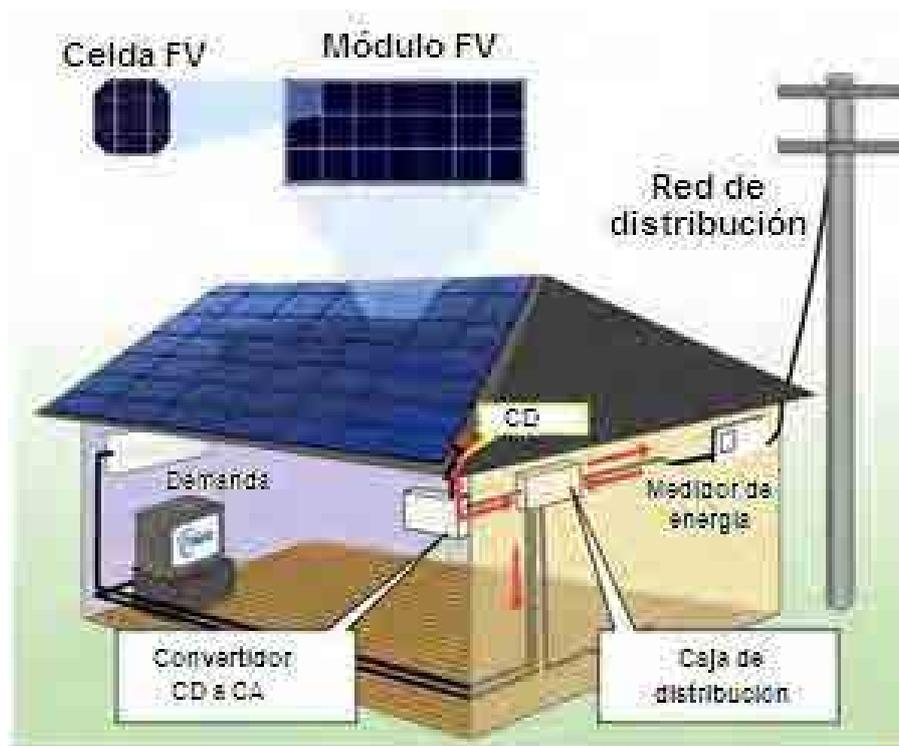
#### **Guía para el desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en El Salvador**

##### **Tabla de contenidos**

1. Introducción
  2. Procedimientos necesarios para el desarrollo de PCHs
    - 2.1 Resumen de la Ley General de Electricidad
    - 2.2 Resumen de la Ley de Medio Ambiente y de las Áreas Naturales Protegidas
    - 2.3 Procedimientos para el MARN/EIA
    - 2.4 Procedimientos para la SIGET
    - 2.5 Resumen de la Ley de Incentivos Fiscales para el Fomento de las Energías Renovables en la Generación de Electricidad
    - 2.6 Procedimiento para la compra y servidumbre de las tierras
    - 2.7 Procedimiento para conectarse a la red eléctrica
    - 2.8 Procedimiento para obtener créditos de mecanismos de desarrollo limpio (MDL, Bonos de Carbono)
  3. Puntos clave para la formulación del plan y la evaluación de proyecto de PCHs
    - 3.1 Flujo de trabajo del desarrollo del proyecto de PCHs
    - 3.2 Estudio de pre factibilidad
  4. Operación y mantenimiento (O&M) del proyecto de PCHs
  5. Recomendaciones
- Anexos
1. Formulario de procedimiento de concesión de la SIGET
  2. Formulario de procedimiento del MARN (EIA)
  3. Direcciones y teléfonos de contacto de las principales organizaciones (CNE, MARN, SIGET, MAG, SNET, etc.)

### 7.3 Exanimación de los Sistemas Fotovoltaicos montados en techo en aéreas urbanas

Se espera que la energía solar fotovoltaica pueda ser una fuente de energía que suministre electricidad de manera constante a la red eléctrica existente y que no solo se utilice para el consumo privado sino también para uso público. Por lo tanto, se deben revisar y examinar los aspectos técnicos, tales como las especificaciones y la infraestructura necesarias para llevar a cabo la conexión de la energía solar fotovoltaica a la red eléctrica. Se explica el concepto del mapa de ruta para la diseminación de los sistemas Fotovoltaicos para montaje en techo. La Figura 7.3.1 Muestra el concepto de un sistema Fotovoltaico para montaje en techo.



(Fuente: NEDO)

**Figura 7.3.1 Concepto de un sistema Fotovoltaico montado en techo.**

#### 7.3.1 Situación Actual y Perspectivas Futuras

##### 7.3.1.1 Potencial

La irradiación solar llega a valores tan altos como 5.3 kWh/m<sup>2</sup>/día de promedio horizontal anual en El Salvador, especialmente en los alrededores del área metropolitana de San Salvador. Por lo tanto, los sistemas solares fotovoltaicos para montaje en techos, pueden ser una de las mejores opciones para suministrar electricidad en el área urbana.

##### 7.3.1.2 Estimación del precio e instalación de un sistema FV

Se estudió el rango de precios actual para un sistema solar fotovoltaico montado en techo con una capacidad de 2 kW en San Salvador, y el resultado fue el siguiente:

**Sistema Fotovoltaico Montado en Techo (2 kW): US\$8,500- US\$ 10,050 (más IVA)**

(Incluye: módulos fotovoltaicos para 2 kW, inversor de 2 kW, 120 VCA, estructura de montaje, accesorios eléctricos, mano de obra. Fuente de precios: DelSol Energy y Tecnosolar, Feb.2012))

Hay dos sistemas que están instalados en residencias, pero la mayoría de ellos están instalados en edificios gubernamentales, escuelas y universidades. El sistema fotovoltaico más grande, de 91 kW, se ha instalado en el campamento base de EE. UU., además de existir 9 kW de energía solar fotovoltaica en el mismo campamento.

### **7.3.2 Tendencias del costo FV**

Los sistemas fotovoltaicos para montaje en techo se difundirán a través de un enfoque basado en el mercado, por lo que su precio debe ser competitivo comparado con la tarifa de energía. La tendencia de los costos de los sistemas fotovoltaicos en el pasado y la tendencia de los costos futuros esperados, se resumen a continuación.

#### **7.3.2.1 Tendencias del costo en el pasado**

Los costos de los sistemas fotovoltaicos se han reducido consecuentemente durante las últimas tres décadas, mostrando una tasa de disminución del 19,3%. Se espera que esta tendencia continúe, dadas las posibilidades de mejorar el rendimiento, el costo y los esfuerzos en el desarrollo, así como los importantes logros en los procesos de fabricación.

De acuerdo al reporte de IEC, los precios del mercado spot actuales para módulos FV están entre US\$ 1.80/Wp y US\$ 2.27/Wp para módulos cristalinos y entre US\$ 1.37/Wp y US\$ 1.65/Wp para módulos de película delgada. Los precios sin embargo varían significativamente entre los mercados. Los costos totales de un sistema en Junio 2011 están entre US\$ 3,300/kWp y US\$ 5,800/kWp para sistemas de montaje en techo. Nótese que estos costos se están reduciendo rápidamente y bien podrían estar desactualizados a la fecha de esta publicación. El costo de generación resultante depende del costo del capital y del aislamiento. Tomando los costos de sistema anteriores, los costos nivelados de la electricidad estarán entre US\$ 0.14/kWh y US\$ 0.69/kWh para sistemas de montaje en techo.

#### **7.3.2.2 Tendencias Futuras en el costo de los sistemas FV**

La siguiente tabla muestra el mapa de ruta del desarrollo tecnológico para la energía solar fotovoltaica que prepara la Organización de Desarrollo de Nuevas Energías y Tecnología Industrial (New Energy and Industrial Technology Development Organization o NEDO, por sus siglas en inglés) de Japón. El objetivo del mapa de ruta es la disminución del costo de la generación eléctrica mediante la mejoría tanto de la eficiencia de conversión del módulo como de la capacidad de producción. NEDO asume que el costo de producción de energía será de US\$ 0.18/kWh para 2017 e IEA asume que el costo será de US\$ 0.105/kWh para 2020.

En Japón, para finales de 2011, se han instalado alrededor de 700,000 sistemas FV para montaje en techo, es la cantidad más grande en el mundo. La mayoría de los sistemas para montaje en techo, más del 90 %, se han instalado en casas privadas con el subsidio del gobierno y con el esquema Feed in Tariff. El número de sistemas es alrededor del 0.55 % de la población nacional. En El Salvador, ese valor de proporción se estima más bajo debido a la falta de subsidio por el gobierno y por la falta de un esquema Feed in Tariff. Basados en el estimado de proporción de sistemas FV y en la población, se ha tomado el 0.005% para los años 2012 a 2016; 0.01% para los años 2017 a 2021, y el 0.1% para los años 2022 a 2026. La siguiente

Tabla muestra el Plan:

**Tabla 7.3.1 Plan Maestro para Módulos FV (Montados en techo)**

	Capacidad Instalada (MW)	Energía Producida (GWh/año)
2012 al 2016	0.09 <sup>*1</sup>	0.15
2017 al 2021	0.18 <sup>*2</sup>	0.31
2022 al 2026	1.8 <sup>*3</sup>	3.05

\*1: 2012 al 2016:  $6,200,000 \times 15\% \times 0.005\% \times 2\text{kW} = 93 \text{ kW}$

\*2: 2017 al 2021:  $6,200,000 \times 15\% \times 0.01\% \times 2\text{kW} = 186 \text{ kW}$

\*3: 2022 al 2026:  $6,200,000 \times 15\% \times 0.1\% \times 2\text{kW} = 1860 \text{ kW}$

Este 15% representa la proporción de viviendas urbanas con energía eléctrica.

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

### 7.3.3 Problemas y contramedidas para los Aspectos Técnicos

La generación de energía por los paneles fotovoltaicos no es estable y fluctúa dependiendo de las condiciones climáticas. Los problemas y las contramedidas son examinados desde el punto de vista de la calidad de la energía y la instalación.

#### 7.3.3.1 Problemas y contramedidas para mantener la calidad de la energía

Los siguientes problemas y contramedidas para mantener la calidad de la energía deben ser evaluados.

##### A. Sobre y Bajo Voltaje

##### B. Harmónicos

##### C. Operación en isla no intencional

#### 7.3.3.2 Problemas y Contramedidas para la instalación

Antes de iniciar la instalación de un sistema FV conectado a la red, es esencial realizar un estudio del sitio. Esto nos permitirá evaluar las siguientes condiciones básicas para el sistema FV.

##### A. Examen riguroso de las estructuras de los edificios

##### B. Sombra

##### C. Confirmación con el cliente

### 7.3.4 Problemas y Contramedidas para los aspectos Institucionales

El Salvador se ha basado en los incentivos fiscales para apoyar las energías renovables. Hay un “Acuerdo de Incentivos Fiscales para promover la generación de energía renovable, Decreto Legislativo No. 462”, el cual fue emitido en Diciembre 2007. La exención de pagos por derechos de aduana que se hace referencia el párrafo precedente, será aplicada a proyectos de hasta 20 MW de capacidad y deberá solicitarse al Ministerio de Hacienda, 15 días antes de realizar la importación de equipos.

Se tienen que considerar los siguientes procedimientos para la disseminación de los sistemas FV montados en techo.

- A. Tarifas FIT (Feed in Tariff)
- B. Certificados verdes comercializables, (TGC)
- C. Préstamos blandos y garantías
- D. Esquemas de licitación

#### **7.3.4.1 Desarrollo del Recurso Humano**

Se necesitará más tiempo antes que el costo de producción de la energía fotovoltaica llegue a ser capaz de competir con el costo del sistema actual de generación. Por lo tanto, antes que caigan los precios y se difunda la energía fotovoltaica, es necesario potenciar los recursos humanos en el campo de las energías renovables como etapa inicial.

#### **7.3.4.2 Acumulación de datos y experiencia operativa**

Para disseminar los sistemas FV, es necesario acumular experiencia en la instalación, operación y mantenimiento.

CEL ha preparado un plan piloto para introducir un sistema FV montado en techo con una capacidad total de 540 kW, el sistema FV será instalado en edificios públicos tales como escuelas, hospitales e instituciones de gobierno. Se espera acumular los datos y las experiencias necesarias en el montaje de sistemas FV para montaje en techo. Además, es una buena oportunidad para concientizar sobre los problemas ambientales y de energía por medio de actividades informativas para el país.

#### **7.3.5 Mapa de ruta para la introducción**

Se puede considerar que la preparación de etapas para la disseminación futura de los sistemas FV montados en techo será para el 2020. Por lo que es necesario conducir los siguientes preparativos

##### Desarrollo del recurso humano

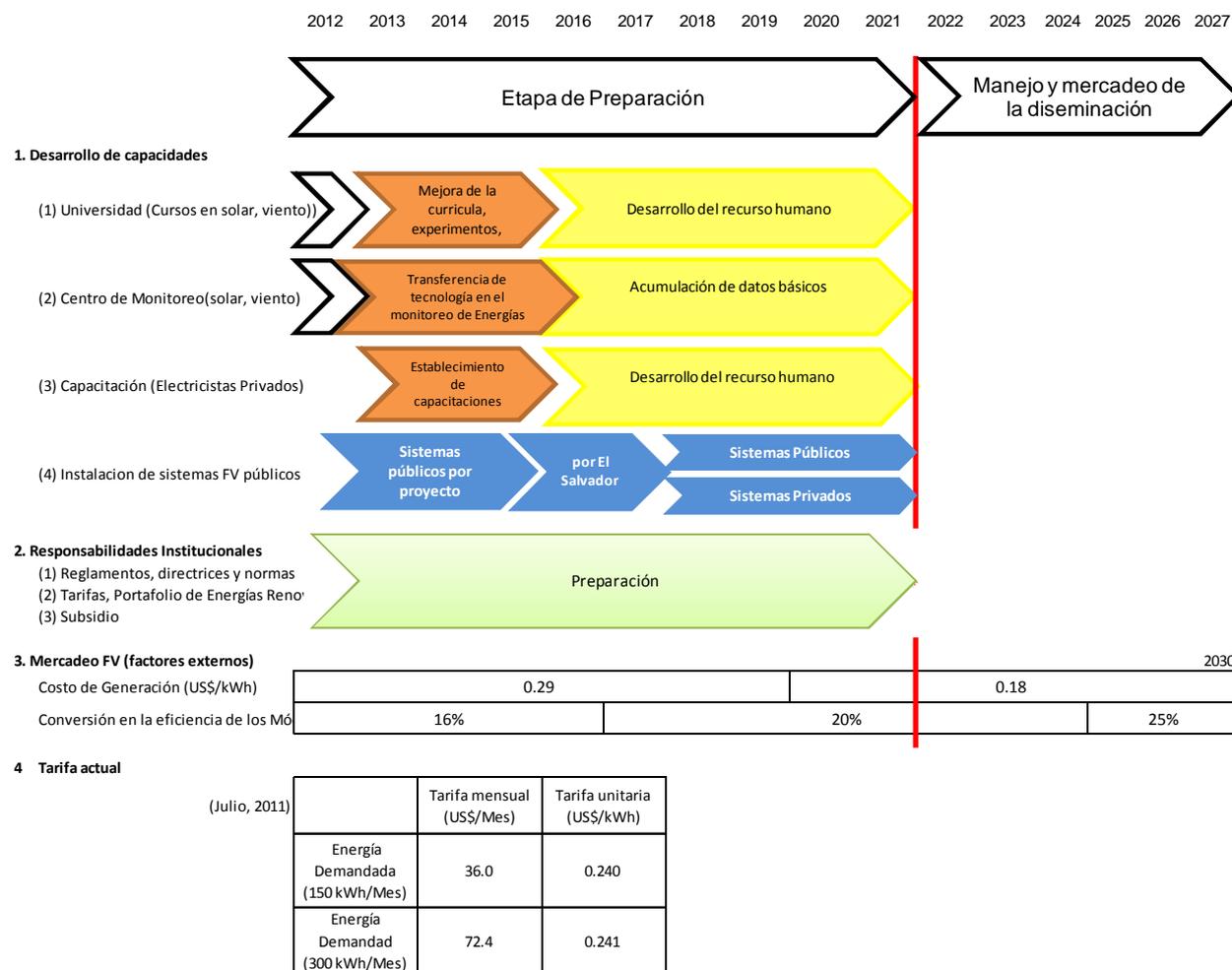
- Es necesario mejorar las oportunidades educativas en la energía fotovoltaica para los ingenieros en la universidad.
- Es necesario acumular datos de irradiación solar en las principales ciudades.
- Es necesario llevar a cabo la capacitación técnica para potenciar el sector privado.
- Es necesario acumular experiencias y datos a través de la aplicación de la prueba piloto.

##### Arreglo institucional

- Es necesario preparar directrices, normas y reglamentos para la introducción de los sistemas fotovoltaicos montados en techo.
- Es necesario preparar los reglamentos para las tarifas y RPS.

- Es necesario preparar las subvenciones para la introducción de los sistemas FV montados en techo.

La Figura 7.3.2 muestra la hoja de ruta para la introducción de la energía fotovoltaica y otras energías renovables.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 7.3.2 Mapa de ruta para la introducción de Sistemas FV**

## Capítulo 8 Enfoques para Examinar la Posibilidad de Implementación de las Energías Renovables

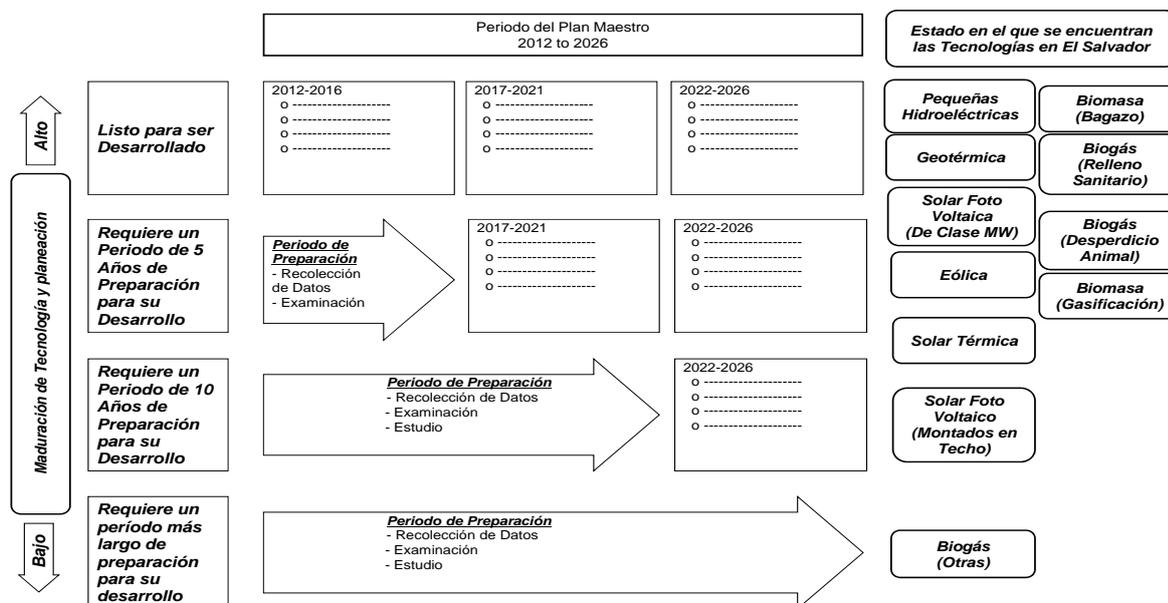
Basándose en los resultados de los estudios y exámenes realizados, los exámenes se harán sobre la posibilidad de introducción de energía renovable en El Salvador. Los exámenes se realizarán en tres aspectos, la "técnica", "Economía y Finanzas" y "Medio Ambiente".

### 8.1 Aspectos Técnicos

De los resultados obtenidos en el estudio, se puede categorizar la madurez de las tecnologías y planes para cada fuente de energía renovable en El Salvador de acuerdo con la Figura 8.1.1. La figura ha sido preparada tomando en cuenta un Plan Maestro con un período de 15 años en el eje horizontal, y la madurez de las tecnologías y planes en el eje vertical. Dependiendo del avance en la tecnología y planeación, fueron establecidas las siguientes cuatro categorías: (1) Listo para ser desarrollado, (2) requiere un período de 5 años de preparación para su desarrollo, (3) requiere un período de 10 años de preparación para su desarrollo y (4) requiere un período más largo de preparación para su desarrollo.

Además, basado en el análisis de los resultados de la información existente, fue posicionada cada tecnología de energías renovables en el mismo diagrama para demostrar el estado en el que se encuentra las energías renovables en El Salvador. Las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) y las centrales geotérmicas están clasificadas como de mayor avance en tecnología y planeación, y los paneles solares montados en techo junto con las plantas de biogás se clasifican como de menor avance.

Teniendo en cuenta la madurez de las tecnologías, como se muestra en la Figura 8.1.1, los exámenes se realizarán en las posibilidades de introducción de energía renovable en El Salvador.



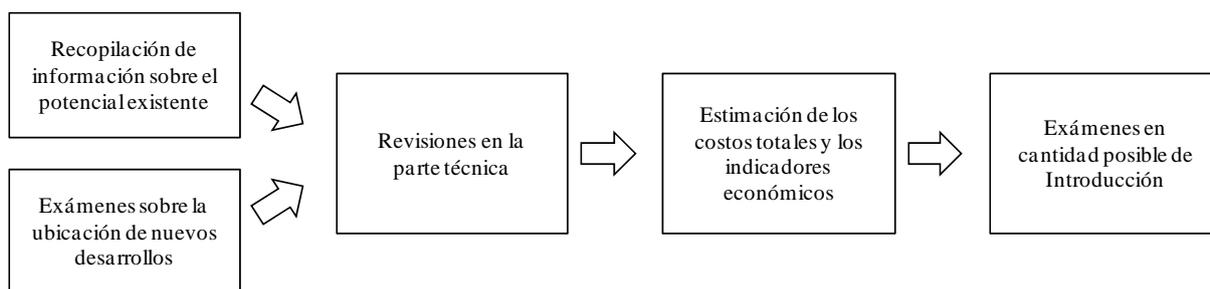
(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 8.1.1 Relación entre el avance en tecnologías y planeación, métodos de planeación y estado de las energías renovables en El Salvador.**

Métodos para su examen en cada fuente de energía renovable se describen a continuación. Los resultados de los exámenes se presentan en el "Capítulo 10 de este Reporte".

### 8.1.1 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Existe un buen número de estudios para las PCHs en comparación con otras fuentes de energía. Después de una simple revisión de la información existente se hará una evaluación de la cantidad posible de introducción del desarrollo de PCHs. Además, los costos de desarrollo conjunto serán llevados a cabo a partir de los resultados de la revisión y se prepararán los programas de desarrollo. Dichos programas se prepararán quinquenalmente entre 2010 y 2026.



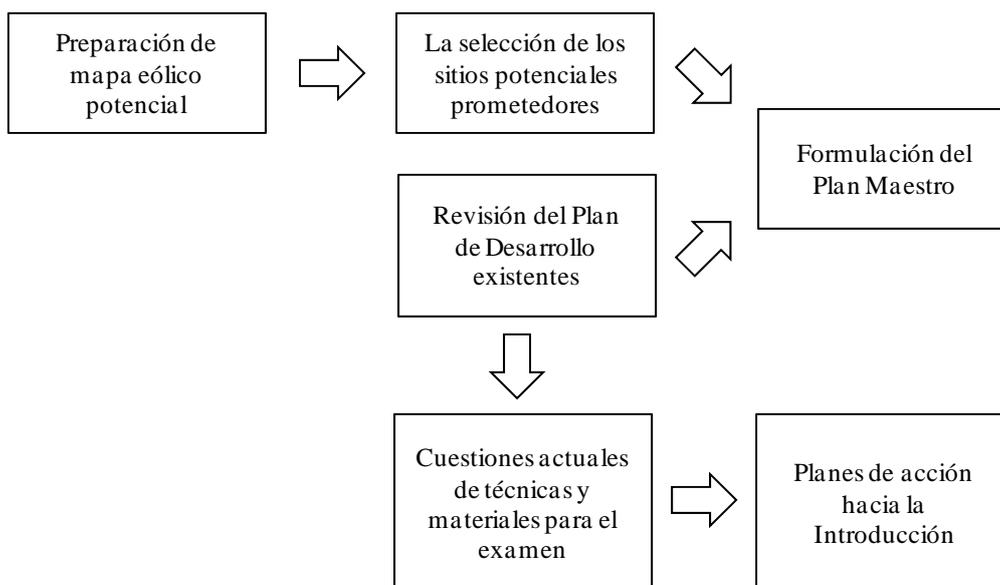
(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 8.1.2 Flujo de Análisis Técnico sobre la energía hidroeléctrica pequeña**

### 8.1.2 Energía Eólica

Durante el curso del estudio se preparará una selección de áreas con un alto potencial eólico, esto se realizará por medio de mapas del potencial de viento.

Además, para formular planes de acción, y así poder introducir la energía eólica, se revisarán los planes existentes de las empresas eléctricas. Tales planes de acción incluirán los problemas técnicos actuales, estudios y evaluaciones que se puedan necesitar más adelante.



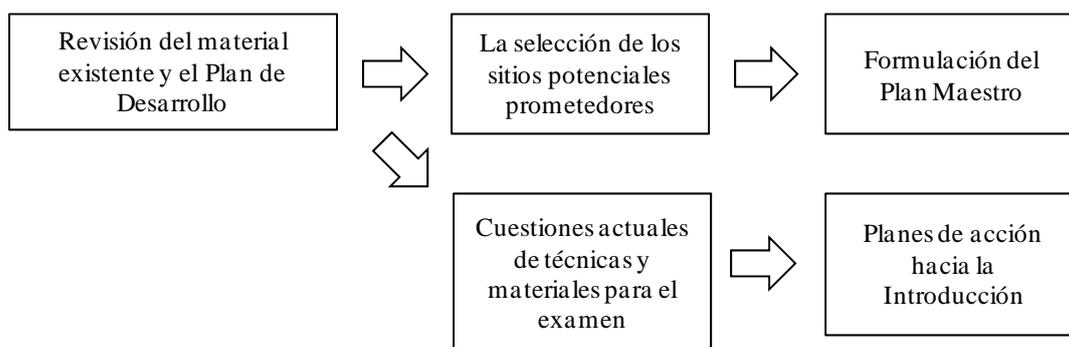
(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 8.1.3 Flujo de Análisis Técnico en Energía Eólica**

### 8.1.3 Energía Solar Fotovoltaica

Se hará la selección del mejor sitio mediante la revisión de los planes e informaciones existentes de las empresas eléctricas.

Además, planes de acción serán formulados para describir los problemas técnicos actuales, estudios adicionales requeridos y evaluaciones concernientes la problemática de introducción de la energía solar fotovoltaica. Como se muestra en la figura 8.1.4.

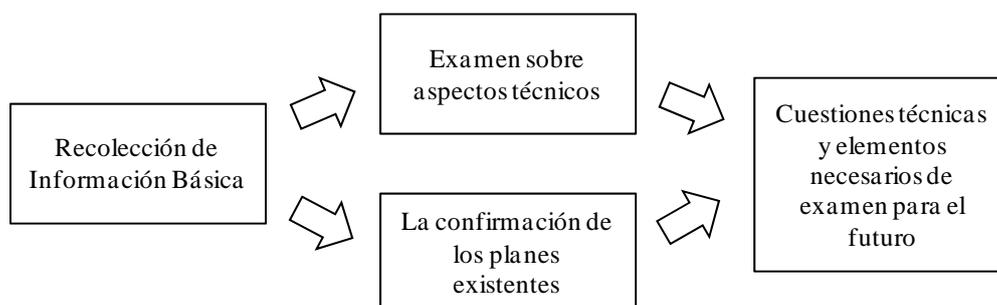


(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 8.1.4 Flujo de Análisis Técnico en energía solar fotovoltaica**

### 8.1.4 Energía Solar Térmica

La energía solar térmica todavía requiere un alto costo inicial en comparación con los costos de otras fuentes de energía, por lo que será requerido un mayor tiempo para su introducción. Solo existe un plan para desarrollar energía solar térmica en El Salvador, el cual pertenece a una empresa privada. Se harán evaluaciones principalmente en la recolección de información básica relacionada con aspectos técnicos, además de conocer el estado del plan actual. Como se muestra en la figura 8.1.5.

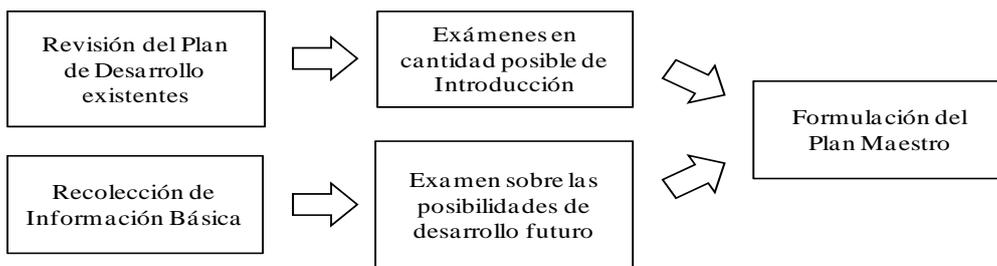


(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 8.1.5 Flujo de Análisis Técnico en energía solar térmica**

### 8.1.5 Energía Geotérmica

Mediante la revisión de la información existente y las entrevistas con las organizaciones relacionadas se desarrollará y formulará un plan con proyección al año 2017. Después del año 2017, se requerirá de estudios adicionales para identificar los potenciales para la introducción de energía geotérmica. Por lo tanto, después del año 2017, el desarrollo del potencial restante será indicado como un cuadro guía.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 8.1.6 Flujo de Análisis Técnico en energía Geotérmica**

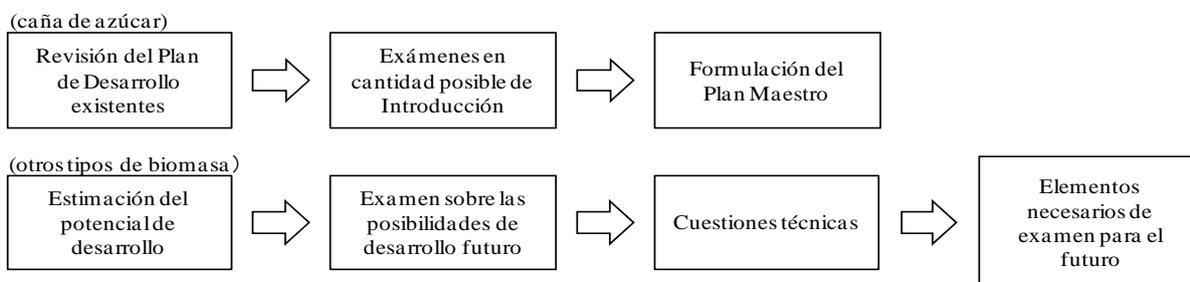
**8.1.6 Energía de la Biomasa**

Mediante la revisión de la información existente se identificaron fuentes de energía prometedoras provenientes del bagazo de los ingenios productores de azúcar. La cáscara de café y arroz tendrán posibilidades, aunque no significativas, para ser examinadas para su introducción futura.

Concerniente a la generación de energía proveniente del bagazo producido por los ingenios productores de azúcar, al examinar los planes existentes se harán evaluaciones sobre el costo que tendrá introducir esta nueva fuente de energía.

En cuanto a la cáscara de café y arroz, al aplicar la producción anual por región, usando la información proveniente de los beneficios de café y las empresas arroceras, se hará una evaluación del potencial de desarrollo.

Además, será examinada la posibilidad de introducir la generación por energía de la biomasa, esto para evaluaciones futuras, indicando los problemas técnicos y los recursos necesarios. Los pasos se encuentran en la figura 8.1.6.

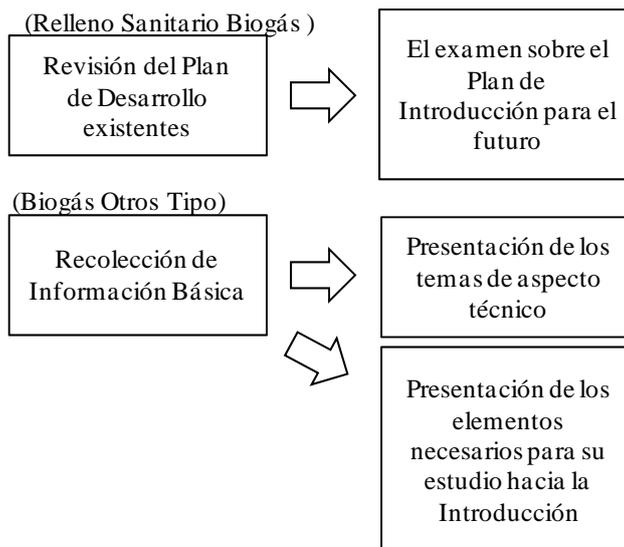


(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 8.1.7 Flujo de Análisis Técnico en energía Biomasa**

**8.1.7 Energía del Biogás**

Considerando la revisión de la información existente y las visitas de campo realizadas a las organizaciones involucradas, actualmente solo existe una central de biogás operando y usa los recursos provenientes de los rellenos sanitarios. A parte de la revisión de la energía del biogás proveniente de los rellenos sanitarios, se hará una evaluación para determinar la futura introducción de este tipo de energía renovable. Cuando existan otras opciones de energía del biogás se recolectará información básica, ya que no existe información respecto a generación eléctrica con otras tecnologías. Además, para una futura introducción, se tomarán en cuenta los problemas técnicos y sus respectivas evaluaciones. Se proporcionarán experiencias reales provenientes de otros países, si se encuentran disponibles.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

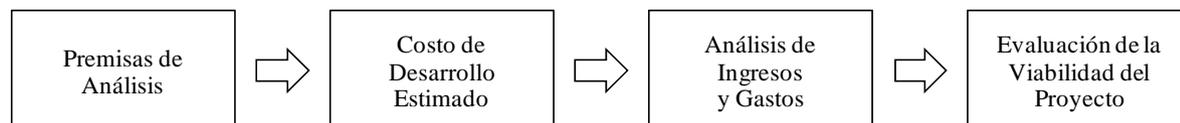
**Figura 8.1.8 Flujo de Análisis Técnico en energía del Biogás**

## 8.2 Análisis Económico y Financiero

El análisis financiero fue hecho para las fuentes de energía renovables que se esperan introducir, pero que tienen menos ejemplos de introducción. El análisis de flujo de caja para el proyecto se hará por los patrones de desarrollo típico, como el tipo de fuente de energía eléctrica y la escala de desarrollo.

### 8.2.1 Flujograma de Estudio

Los estudios se llevaron a cabo sobre tres tipos de energías, es decir, pequeñas centrales hidroeléctricas, energía eólica y solar fotovoltaica, esto basado en el flujograma de estudio mostrado a continuación.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 8.2.1 Flujograma de Estudio del Análisis Económico y Financiero**

La posibilidad para la introducción de las energías renovables (viabilidad) será examinado para cada caso en base a indicadores financieros generales, tales como la tasa interna de rendimiento financiero (TIRF).

### 8.2.2 Propuesta de Análisis

Los factores de la planta o la eficiencia de generación de energía varían dependiendo del tipo de fuente de energía renovable. Por lo tanto, las evaluaciones se harán para los patrones de desarrollo típico esperados (es decir, la escala de desarrollo y factor de planta, el cambio de desarrollo anual en términos de reducción de costos por investigación y desarrollo, la exclusión de los costos de conexión a red, etc.) con el fin de averiguar la posibilidad de desarrollo de las fuentes de energía renovables en el plan maestro.

### 8.2.3 Premisas de Análisis

La simulación de ingresos y egresos por tipo de proyecto se rige por las siguientes condiciones:

**Tabla 8.2.1 Premisas para la simulación ingresos y egresos**

Caso de Estudio por tipo de Tecnología	Escala de Proyecto	Premisas de Simulación
<b>Pequeña Hidroeléctrica</b>		
Caso-H0	5 MW	Flujo de efectivo creado con base en las premisas mencionadas anteriormente en la simulación del caso base.
Caso-H1	4 MW	Cambio en los costos de desarrollo debido al cambio de la escala de desarrollo respecto del caso base.
Caso-H2	3 MW	Cambio en los costos de desarrollo debido al cambio de la escala de desarrollo respecto del caso base.
Caso-H3	2 MW	Cambio en los costos de desarrollo debido al cambio de la escala de desarrollo respecto del caso base.
Caso-H4	1 MW	Cambio en los costos de desarrollo debido al cambio de la escala de desarrollo respecto del caso base.
Caso-H5	0.7 MW	Cambio en los costos de desarrollo y el factor de planta debido al cambio de las condiciones del sitio de desarrollo
Caso-H6	0.5 MW	Cambio en los costos de desarrollo debido a exclusión de costos de interconexión con respecto al Caso H5
Caso-H7	0.3 MW	Cambio en los costos de desarrollo debido al cambio de la escala de desarrollo respecto del Caso H5.
Caso-H8	0.2 MW	Cambio en los costos de desarrollo debido a exclusión de costos de interconexión con respecto al Caso H5..
Caso-H9	0.2 MW	Cambio de factor de planta a 40% con respecto al caso H8.
Caso-H10	0.1 MW	Cambio en los costos de desarrollo debido a exclusión de costos de interconexión con respecto al Caso H5.
Caso-H11	0.1 MW	Cambio en el factor de planta a un 60% con respecto del Caso H10.
<b>Eólica</b>		
Caso-W0	20 MW	Flujo de efectivo creado con base en las premisas mencionadas anteriormente en la simulación del caso base (20MW)
Caso-W1	20 MW	Cambio en los costos de desarrollo con precios del 2015 y factor de planta de 25%
Caso-W2	20 MW	Cambio en el factor de planta a 34% similar al proyecto Metapan Changed the operation factor is 34% similar to Metapan project.
Caso-W3	20 MW	Cambio en los costos de desarrollo con precios del 2020 y factor de planta de 34%
<b>Solar FV</b>		
Caso-S0	20 MW	Flujo de efectivo creado con base en las premisas mencionadas anteriormente en la simulación del caso base
Caso-S1	20 MW	Cambio en los costos de desarrollo con precios del 2015 y eficiencia de la tecnología (30%) con respecto al Caso Base.
Caso-S2	20 MW	Costo de desarrollo igual al caso s1 ya que en el 2015 los precios cambiaran .
Caso-S3	20 MW	Los costos de desarrollo cambiaran en el 2020 y la eficiencia en la generación cambiara un 25 %.

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**8.2.4 Evaluación de la rentabilidad del proyecto**

Cada corrida de cálculos y evaluación de resultados por flujo de efectivo se muestran en la siguiente tabla. Adicionalmente, la evaluación se clasifica en las siguientes tres categorías.

- "A": indica un proyecto viable, no necesita incentivos especiales.
- "B": indica un proyecto viable sujeto a condiciones del sitio de desarrollo o a factores de planta altos para los sitios potenciales.

- "C": indica dificultad para desarrollar el proyecto sin soporte financiero o costos absorbidos por terceros o subsidios.

**Tabla 8.2.2 Resultados de la Evaluación por Caso de Estudio**

Type of Energy	Case Study	Pre-conditions							Calculation Result						Overall Evaluation
		Plant Capacity (MW)	Capacity Factor (%)	Plant Cost (\$000)	Inter-Connection Cost (\$000)	O/M Cost		Tax Exemption (year)	A. Unit Price (\$140/MWh)			B. Unit Price (\$100/MWh)			
									NPV (\$000)	FIRR (%)	B/C	NPV (\$000)	FIRR (%)	B/C	
Small Hydro	Case-H0	5	50%	12,500	150	5	%	10	16,024	37.7%	2.05	8,294	24.2%	1.59	A
	Case-H1	4	50%	10,000	150	5	%	10	12,793	37.5%	2.04	6,609	24.1%	1.59	A
	Case-H2	3	50%	7,500	150	5	%	10	9,563	37.3%	2.04	4,925	24.0%	1.58	A
	Case-H3	2	50%	5,000	150	5	%	10	6,332	36.9%	2.02	3,240	23.7%	1.57	A
	Case-H4	1	50%	3,000	150	5	%	10	2,666	28.5%	1.74	1,120	17.7%	1.33	A
	Case-H5	0.7	50%	2,100	150	5	%	10	1,827	27.8%	1.71	745	17.2%	1.31	A
	Case-H6	0.5	50%	1,500	150	5	%	10	1,268	26.8%	1.68	495	16.5%	1.28	A
	Case-H7	0.3	50%	900	150	5	%	10	710	24.9%	1.61	246	15.1%	1.22	A
	Case-H8	0.2	50%	600	150	5	%	10	430	22.6%	1.52	121	13.5%	1.16	A
	Case-H9	0.2	40%	600	150	5	%	10	214	16.3%	1.27	-34	9.0%	0.96	B
	Case-H10	0.1	50%	300	150	5	%	10	151	17.4%	1.32	-4	9.8%	0.99	B
Case-H11	0.1	60%	300	150	5	%	10	259	22.8%	1.53	73	13.6%	1.16	A	
Wind	Case-W0	20	25%	36,000	-	22	\$/MWh	5	15,796	19.6%	1.34	163	10.1%	1.00	B
	Case-W1	20	25%	34,000	-	22	\$/MWh	5	17,384	21.2%	1.38	1,915	11.2%	1.04	B
	Case-W2	20	34%	34,000	-	22	\$/MWh	5	33,365	31.9%	1.64	12,900	18.3%	1.27	A
	Case-W3	20	34%	32,000	-	22	\$/MWh	5	34,954	34.5%	1.70	14,489	19.9%	1.31	A
Solar PV	Case-S0	20	18%	76,000	-	4	\$/MWh	5	-26,811	1.7%	0.63	-38,621	#NUM!	0.45	C
	Case-S1	20	18%	54,000	-	4	\$/MWh	5	-7,518	6.9%	0.86	-19,235	1.6%	0.63	C
	Case-S2	20	25%	54,000	-	4	\$/MWh	5	7,889	13.2%	1.14	-8,299	6.5%	0.84	B
	Case-S3	20	25%	32,000	-	4	\$/MWh	5	25,745	27.8%	1.70	10,677	17.3%	1.31	A

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**8.2.4.1 Evaluación de la Comercialización**

Los comentarios en relación a la viabilidad financiera para el desarrollo de proyectos con energías renovables, basados en los resultados de la simulación con los siguientes:

## 1) Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Cualquier caso de PCHs con potencia entre (0.3~5MW) pueden ser desarrolladas con las condiciones dichas anteriormente. En otras palabras, los incentivos y otro tipo de subsidios no son necesarios para el desarrollo de dichos proyectos. Sin embargo, en algunos casos con potencias entre (0.1~0.2 MW), que se le conocen como micro centrales son más difíciles de desarrollar y no son muy factibles para su comercialización debido a la magnitud de los costos de desarrollo. El desarrollo de esta escala de proyectos requiere de un subsidio bastante grande o exención de los costos de conexión a la red, y que estén sujetos a las condiciones de desarrollo del sitio.

## 2) Generación de Energía Eólica

La comercialización es posible en todos los casos. Este tipo de energía no se espera que reduzca los costos

de desarrollo comparado con la energía solar fotovoltaica en el futuro. Sin embargo, las condiciones de desarrollo de los sitios son muy escasas para la producción de este tipo de energía. Ya que las condiciones de los sitios son similares a las del Proyecto de Metapán que se está estudiando desarrollar en la parte noroeste del país, y este tipo de proyectos podría ser desarrollado por el sector privado

### 3) Generación de Energía Solar Fotovoltaica (conectada a red eléctrica)

La comercialización solo es posible en los Casos “S2” y “S3” de los 4 casos estudiados. Este tipo de tecnología se espera que tenga reducción en los costos de desarrollo para el 2020, el cual mejorará hasta en un 25% la eficiencia del sistema. Sin embargo la energía solar fotovoltaica, es muy difícil desarrollar por el sector privado actualmente, y la razón principal es los altos costos de la tecnología para la producción de este tipo de energía

## 8.3 Aspectos Ambientales

En la planificación y diseño de un proyecto, es importante tomar en cuenta, las consideraciones ambientales y sociales, como parte de la sostenibilidad y viabilidad de éste. En este capítulo se enfocan los aspectos ambientales como áreas protegidas, barreras, impactos previstos, así como también las prioridades, que se deben tomar en cuenta en la implementación de energías renovables, con el propósito de armonizar las consideraciones socio ambiental en la ejecución de los proyectos.

### 8.3.1 Identificación de barreras para promover Energía Renovables

En base a investigaciones y entrevistas realizadas con entidades relacionadas a la actividad de las Energías Renovables y en consideración de los aspectos ambientales y sociales, experiencias y condiciones actuales en los proyectos existentes en El Salvador, identificamos las siguientes barreras a superar para poder promover dichas energías:

#### (1) Barreras por Política

- Falta del marco de las consideraciones socio ambientales en las política energética nacionales y en un Plan Maestro para el desarrollo de las energías renovables
- Falta armonizar una ley de incentivos para energías renovables con respecto a los medidas nacionales de socio ambientales
- Falta de los formatos de permiso ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) con enfoque de cada energía renovable

Como consecuencia de las barreras, es difícil que las instituciones y el sector privado relacionados con energías renovables, tengan una visión clara para promover la introducción de energías renovables.

#### (2) Barreras Institucionales

- Falta de expertos en temas de energías renovables en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

- No existe una unidad ambiental ni expertos en medio ambiente en el Consejo Nacional de Energía (CNE) aunque el Artículo 6 y 7 de la Ley del Medio Ambiente se describe la necesidad del establecimiento de la unidad ambiental en cada institución relacionada.
- No existe una unidad ambiental ni expertos en medio ambiente en la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) aunque el Artículo 6 y 7 de la Ley del Medio Ambiente se describe la necesidad del establecimiento de la unidad ambiental en cada institución relacionada.
- No establece un sistema compartido de información entre las instituciones relacionadas sobre el tema de medio ambiente como unas situaciones de daños al medio ambiente en el proyecto de energías renovables y unos progresos de implementación del proyecto con energías renovables.

Como consecuencia de las barreras, es difícil que las instituciones relacionadas con energías renovables tienen experiencia y conocimiento sobre los asuntos de ambientales y sociales de energías renovables.

### (3) Barreras por Implementación de los Proyectos

- Altos costos en estudios ambientales, especialmente el Estudio de Impactos Ambientales (EsIA), lo cual impiden que las empresas se arriesguen a invertir en estos estudios
- Alta fragmentación en la tenencia de la tierra, por falta de un adecuado ordenamiento territorial, con enfoque ambiental y social
- Procedimientos complejos para obtención de los permisos ambientales y sociales en muchos casos los proyectos orientados a áreas rurales se estancan debido a estos procesos
- Falta de recursos humanos quienes son capacitados con respecto a los permisos ambientales y sociales, especialmente unas empresas y ONGs pequeñas.

Como resultado de estos obstáculos, cada vez es más difícil para el sector privado involucrado con las Energías Renovables, ejecutar proyectos sin problemas, teniendo en cuenta los diversos aspectos socio-ambientales.

### **8.3.2 Impactos Previstos al Socio-Ambiente por la implementación de Energías Renovables (alcance)**

En base a un análisis estratégico realizado en el presente estudio, se prevén los siguientes impactos al aspecto socio-ambiental debido al desarrollo de las energías renovables en El Salvador, los cuales se muestran en las siguientes matrices de alcance.

### **8.3.3 Prioridades para las Energías Renovables en el marco de las Consideraciones Ambientales y Sociales**

Como resultado del análisis de las barreras existentes para la implementación de los proyectos de energías renovables y los alcances del EIA (Estudio de Impacto Ambiental), tratados en los apartados anteriores, se recomiendan las siguientes prioridades a tomar en cuenta para promover el desarrollo de energías renovables en El Salvador:

### (1) Prioridades por Política

- Las políticas energéticas en El Salvador deben tomar en cuenta el marco social y ambiental.
- Armonizar una ley de incentivos para energías renovables con respecto a las medidas nacionales de socio ambientales bajo la iniciativa de CNE con asistencias técnicas de MARN.
- Revisar el formato de permiso ambiental del MARN con enfoque de cada energía renovable en consultación entre MARN, CNE y el sector privado.
- Es urgente modificar la Ley de medio ambiente y armonizarla con las leyes relacionadas

### (2) Prioridades por Institucionales

- Asegurar unos expertos en temas de energías renovables en MARN a través de capacitación de los recursos humanos existentes de MARN por transferencia de tecnología de instituciones extranjeras e internacionales, universidades, sector privado.
- Crear una unidad ambiental y emplear unos expertos en medio ambiente en CNE y la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) en el marco de la ley del medio ambiente, se debe dar cumplimiento al art. 6, art. 7, art. 8 y art. 9, en lo referente al SINAMA para facilitar los tramites de medio-ambiente y social, especialmente en el procedimiento del permiso ambiental de MARN.
- Establecer un sistema compartido de información entre las instituciones relacionadas como CNE, MARN, SIGET y el sector privado sobre el tema de medio ambiente bajo la iniciativa de la nueva unidad ambiental de CNE con asistencias técnica de MARN.
- Apoyar el intercambio generado hacia la transferencia de tecnologías de recursos de energías renovables, apuntándole a enriquecer las habilidades de técnicos para desarrollar estos proyectos
- Acuerdos con las universidades enfocados en proyectos utilizando recursos de energía renovable en niveles tanto científicos como de implementación
- El Gobierno debe apoyar la generación de información con respecto a los recursos de energías renovables y además debe proveer guías para las instituciones involucradas con este tema.

### (3) Barreras por Implementación de los Proyectos

1. Prioridades Financieras: Implementar un sistema seguro y adecuado que proveerá seguridad a la inversión en este sector; reducir los porcentajes altos en las inversiones y aumentar los incentivos económicos; y lograr tasas razonables, lo cual beneficiara a la población en general.

## Capítulo 9 Propuestas para la Promoción del uso de las Energías Renovables

### 9.1 Propuestas para el desarrollo de las energías renovables

A base de los resultados obtenidos en las investigaciones y estudios realizados, se definen algunas propuestas sobre el rumbo que podría tomar en el futuro la política de energías renovables así como el desarrollo de cada fuente de energía. Las propuestas analizan las diferentes fuentes de energía y han sido categorizadas en tres aspectos, tal como se refiere en el Tabla 9.1.1: (1) técnico; (2) económico y financiero; y (3) ambiental.

**Tabla 9.1.1 Propuestas sobre el rumbo del desarrollo de energías renovables basado en los resultados del estudio**

	Aspecto técnico	Aspecto Económico y Financiero	Aspecto Ambiental
General	1. Cada una de las fuentes de energía (hidráulica a pequeña escala, eólica, solar PV, solar térmica, geotérmica, de biomasa y de biogás) difieren entre sí por su grado de dificultad de explotación. Por consiguiente, es necesario realizar una preparación adecuada y estudios que permitan promover la introducción de fuentes de energías renovables tomando en consideración el grado de madurez de cada tecnológica.	1. El interés de los bancos comerciales tan alto como del 8% tiene incidencia negativa y es una de las barreras para la preparación de fondos necesarios para el desarrollo de proyectos renovables. Dado que el desarrollo de fuentes de energías renovables requiere costos de inversión inicial altos (comparados con costos de inversión de otras fuentes existentes), es necesario considerar el establecer sistemas de financiación con bajo interés exclusivo para el desarrollo de energías renovables.	1. Disponer de procedimientos simplificados para la obtención de permisos ambientales requeridos para el desarrollo de energías renovables que poseen un menor impacto ambiental. 2. Clarificar el estado de desarrollo de fuentes de energía renovables en las zonas naturales protegidas.

	Aspecto técnico	Aspecto Económico y Financiero	Aspecto Ambiental
Pequeñas Centrales Hidroeléctricas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Confirmar la exacta altura de caída de agua (metros) y el caudal (m<sup>3</sup>/s) del lugar a través de la exploración adecuada de sitios prometedores.</li> <li>2. Desde el punto de vista a largo plazo, es necesario preparar y dar mantenimiento a una Red de Observación Hidrológica y acumular datos hidrológicos en estaciones hidrológicas en todas las regiones del país con lo cual se podrá disponer de mayor información.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para hacer viable el desarrollo de los proyectos con potencia de 100 kW hasta 200 kW se considera necesario subsidiar los gastos de conexión a la red en forma total o al menos en un tercio del costo.</li> <li>2. En cuanto a proyectos de mayor potencia (0.3 MW a 5 MW), se considera posible desarrollar dichos proyectos sin ningún subsidio.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Establecer directrices para el mantenimiento del caudal ambiental del río.</li> <li>2. Es necesario elaborar procedimientos y formularios para aplicar por y obtener permisos ambientales especialmente enfocados a proyectos de generación de energía de pequeñas hidroeléctricas.</li> </ol>
Eólica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar mediciones de velocidad de vientos en los sitios con mayor potencial identificados en el mapa eólico.</li> <li>2. Realizar una evaluación detallada del potencial eólico en los puntos seleccionados a través de las PreF/S o F/S.</li> <li>3. Capacitar profesionales y expertos técnicos que puedan dirigir el desarrollo y el mantenimiento de proyectos eólicos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bajo la actual ley de incentivos fiscales que aplica a proyectos menores o iguales a 20 MW, el costo de construcción debería ser menor de 1,700 US\$/kW y con factor de planta mayor a 35% para que los proyectos eólicos se vuelvan viables.</li> <li>2. Es recomendable el monitoreo a escala global del desarrollo tecnológico y sus costos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es necesario elaborar procedimientos y formularios para la obtención de permisos ambientales dirigidos al desarrollo de proyectos de potencial eólico.</li> </ol>
Solar Foto Voltaica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El potencial de radiación solar es relativamente alto; por ejemplo, en San Salvador.</li> <li>2. Es necesario realizar proyectos pioneros para resolver problemas técnicos relacionados a su desarrollo.</li> <li>3. Entrenamiento de expertos técnicos que puedan dirigir el desarrollo y mantenimiento de proyectos de energía solar fotovoltaica.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bajo la actual ley de incentivos fiscales que aplica a proyectos menores o iguales a 20 MW, el costo de desarrollo debería ser menor a 1,600 US\$/kW y con un factor de planta mayor a 25% para hacer el proyecto viable.</li> <li>2. Es recomendable el monitoreo a escala global del desarrollo tecnológico y sus costos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es necesario elaborar procedimientos y formularios para la obtención de permisos ambientales dirigidos al desarrollo de proyectos enfocados a energía solar fotovoltaica.</li> </ol>

	Aspecto técnico	Aspecto Económico y Financiero	Aspecto Ambiental
Solar Térmica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Actualmente , el alto costo de inversión inicial obstaculiza la introducción</li> <li>2. Es imprescindible el monitoreo de la evolución tecnológica a escala global así como el nivel de costo para decidir el momento oportuno de inversión.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El tamaño estándar para el desarrollo de proyectos de energía solar termal comprende de 30 MW a 50 MW, el cual está fuera del rango de aplicación de la ley de incentivos fiscales por lo cual se recomienda promover ampliar el margen de capacidad para acceder al incentivo fiscal.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es necesario elaborar procedimientos y formularios para la obtención de permisos ambientales dirigidos al desarrollo de proyectos enfocados a energía solar térmica.</li> </ol>
Geotérmica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A partir de 2017 será importante promover el desarrollo de dicha tecnología sobre la base del plan elaborado por LaGeo y fortalecer la “carga base”(base load)</li> <li>2. Sera necesario hacer investigaciones y estudios para formular el plan de desarrollo a partir del año 2017 en adelante.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se requiere considerar la posibilidad de invertir fondos públicos para realizar investigaciones de nuevos recursos geotérmicos que puedan aligerar cargas y riesgos de los promotores particulares.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simplificar los procedimientos para la obtención de permisos ambientales y agilizar el tiempo requerido para su trámite.</li> </ol>
Biomasa	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Expansión de la capacidad de la generación de energía en las instalaciones que utilizan bagazo.</li> <li>2. Examinar el potencial de otros recursos de biomasa por regiones.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recolectar informaciones de costo con referencia a la utilización de recursos de biomasa.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simplificar y arreglar procedimientos y formatos para la aplicación del permiso ambiental específicamente enfocado a biomasa.</li> </ol>
Biogás	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. F/S para desarrollo de proyectos nuevos o ampliaciones que ocupan el biogás de los rellenos sanitarios.</li> <li>2. Acumulación de experiencias y mayor información a partir de la implementación de proyectos piloto que utilizan las diferentes tecnologías de biogás por ejemplo, de residuos de ganadería o aguas negras.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recolectar informaciones sobre el costo de utilización de recursos de biogás.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Procedimientos y formatos para a aplicación del permiso ambiental específicamente enfocado al biogás.</li> </ol>

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

## **9.2 Apoyos gubernamentales e incentivos para los desarrolladores de proyectos de energía eléctrica que utilizan recursos renovables**

Como se ha examinado en la sección 9.1, los siguientes ítems se pueden considerar como esquemas de soporte gubernamental o de incentivos para los desarrolladores de proyectos de energía eléctrica.

- (1) La necesidad de un sistema de financiamiento a baja tasa de interés para mejorar el flujo de caja de los desarrolladores de proyectos de energías renovables, como por ejemplo, establecer el “Fondo para el desarrollo de Energías Renovables”.
- (2) Ampliar el margen del incentivo fiscal existente (del Decreto 462) de 20MW a 50MW para la generación del solar termal o de biomasa.
- (3) Preparación de una red de estaciones de observación hidrológica dirigidas por organizaciones gubernamentales.
- (4) Instalar medidores de radiación solar y de potencial eólico dirigido por organizaciones gubernamentales.
- (5) Para el desarrollo de las tecnologías eólico, PV solar y solar termal, se requiere urgentemente el entrenamiento de expertos técnicos contando con la coordinación de las organizaciones gubernamentales, universitarias y empresas públicas/comerciales con la mirada en el futuro cuando el costo de introducción de dichas tecnologías se aminore.

## Capítulo 10 El Plan Maestro de Energías Renovables

### 10.1 Definición del Plan Maestro

Este Plan Maestro se ha preparado como un Plan Indicativo de Desarrollo de 15 años que abarca desde el 2012 hasta el 2026 con referencia a las siete fuentes de energías renovables. Entre las fuentes discutidas hay algunas que requieren períodos de preparación adicional previos a su introducción. Para estas fuentes de energía, se proporcionan informaciones de los elementos necesarios para la evaluación de su introducción.

#### 10.1.1 Fuentes de energías discutidas

Se considera que son siete las fuentes de energías renovables para el Plan Maestro;

- Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
- Eólica
- Solar Foto Voltaica
- Solar Térmica
- Geotérmica
- Biomasa
- Biogás

Existen fuentes de energía que requieren de evaluaciones adicionales o proyectos piloto previos a su introducción, esto debido que las tecnologías o condiciones del mercado son aún prematuras. Para estas fuentes se ofrecen informaciones referentes a (1) problemas tecnológicos con vista a su introducción, (2) “planes de acción” hacia su introducción y (3) presentación de ejemplos.

### 10.2 El Plan Indicativo del Desarrollo

El Plan Indicativo del Desarrollo se tendrá que poner al día en el cierto momento del año reflejando los planes de inversión o planes expandidos preparados por las empresas estatales y particulares. Para los trabajos de actualización, es imprescindible estar informado de las últimas disposiciones de las empresas estatales y particulares. Para obtener tal información se esperan ocasiones para intercambiar información preparada por la organización administrativa que está en cargo. Se recomienda formular el Plan Indicativo del Desarrollo de forma que esté abierto a las últimas informaciones que estas ocasiones ofrezcan.

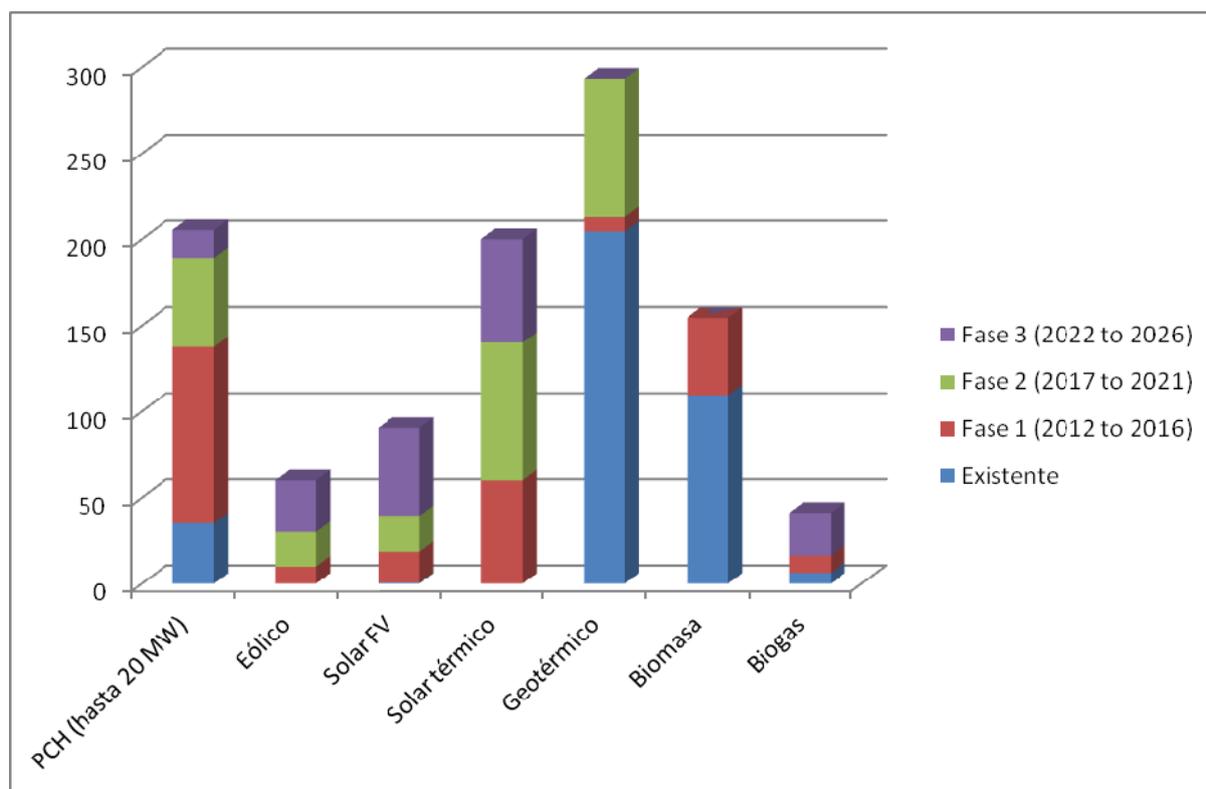
En este estudio del Plan Indicativo se presenta solamente la parte que se trata de energías renovables cuyo plan abarca 15 años desde el 2012 hasta el 2026. Como el sistema del suministro de electricidad depende del mecanismo del mercado, se presenta abajo la capacidad estimada por la introducción sin discriminación de prioridad entre las fuentes y dividiendo el período de 15 años en tres fases; Fase 1 (2012~2016), Fase 2 (2017 ~2021), y Fase 3 (2022 ~2026)

El Plan Indicativo del Desarrollo en la Tabla 10.2.1.

**Tabla 10.2.1 Plan Indicativo de Desarrollo (2012 ~ 2026)**

Tipo de energía	Existentes	Fase			Fase 1 to 3 Total
		Fase 1 (2012-2016)	Fase 2 (2017-2021)	Fase 3 (2022-2026)	
Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Hasta 20 MW)	35 MW	103.9 MW	33.5 MW	25.3 MW	162.7 MW
Eólica	-	10 MW	20 MW	30 MW	60MW
Solar Foto Voltaica	0.5 MW	18 MW	21 MW	51 MW	90 MW
Solar Térmica	-	60 MW	80 MW	60 MW	200 MW
Geotérmica	204.4 MW	5~9 MW	55~80 MW	-	60~89 MW
Biomasa	109.5 MW	45 MW	-	-	45 MW
Biogás	6.3 MW	10 MW	-	25 MW	35 MW

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)



(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 10.2.1 Proporción de Fuentes de Energía por Fuentes en el Plan Maestro**

Para el Plan de Desarrollo indicativo anterior, las siguientes son las observaciones:

- 1) Para las pequeñas; los proyectos de la Etapa 1 fueron elegidas entre; proyectos en construcción /concesión, proyectos en rehabilitación, proyectos con estudios completados de viabilidad o de diseño básico, o de estudio de pre-viabilidad, con crédito bancario (B/C) de más de 1,0. Los proyectos de las etapas 2 y3 fueron seleccionados tomando en consideración la viabilidad económica y el tamaño atractivo de 1 proyecto para los empresarios particulares. Se eligieron los proyectos cuya potencia iguala a ó supera 250 KW y con crédito bancario (B/C) igual a ó supera 1,0
- 2) En cuanto al potencial eólico CEL (en el cargo del desarrollo) tiene el plan de instalar una capacidad total de 72 MW. Sin embargo en la realidad, no existe ningún programa de instalación hasta el momento y las localidades candidatas para la construcción son limitadas. Las figuras en el Plan Indicativo del Desarrollo son figuras asumidas que fueron confirmadas a través de la consulta con CNE.
- 3) En cuanto a solar FV, CEL, la organización en cargo, apenas tiene el plan de instalar una de aproximadamente 18MW. Se ha tratado del plan como una que estará implementado hasta el 2016. Para los planes de desarrollo después del 2016, las figuras en el Plan Indicativo del Desarrollo son las asumidas que fueron confirmadas a través de consultas con CNE. Los sistemas solar FV a ser instalados personalmente no son considerados en el desarrollo del plan.
- 4) LaGeo y INE comparten el plan de desarrollo para la generación solar térmica. LaGeo planea tener instalada hasta el 2016. Este Plan Indicativo señala los valores que se estima en el futuro a base de datos a partir de las dos organizaciones.
- 5) En cuanto a la geotérmica, la empresa que se encarga del desarrollo solo cuenta con un plan que abarca hasta el 2017. Será necesario realizar una investigación adicional para concretar el contenido del plan. Por el otro lado, se estima que es posible obtener una potencia de 60 a 90 MW en adición a lo mencionado arriba visto desde el punto de posibilidad a desarrollarse.
- 6) Hablando del biogás, las figuras del Plan Indicativo son figuras estimadas basadas en el plan de expansión a corto plazo (10MW en adición) y el plan de expansión a largo plazo (25MW en adición) de los planes existentes de la planta de biogás del relleno sanitario de Nejapa.

### **10.3 Plan Maestro para cada fuente de energía renovable**

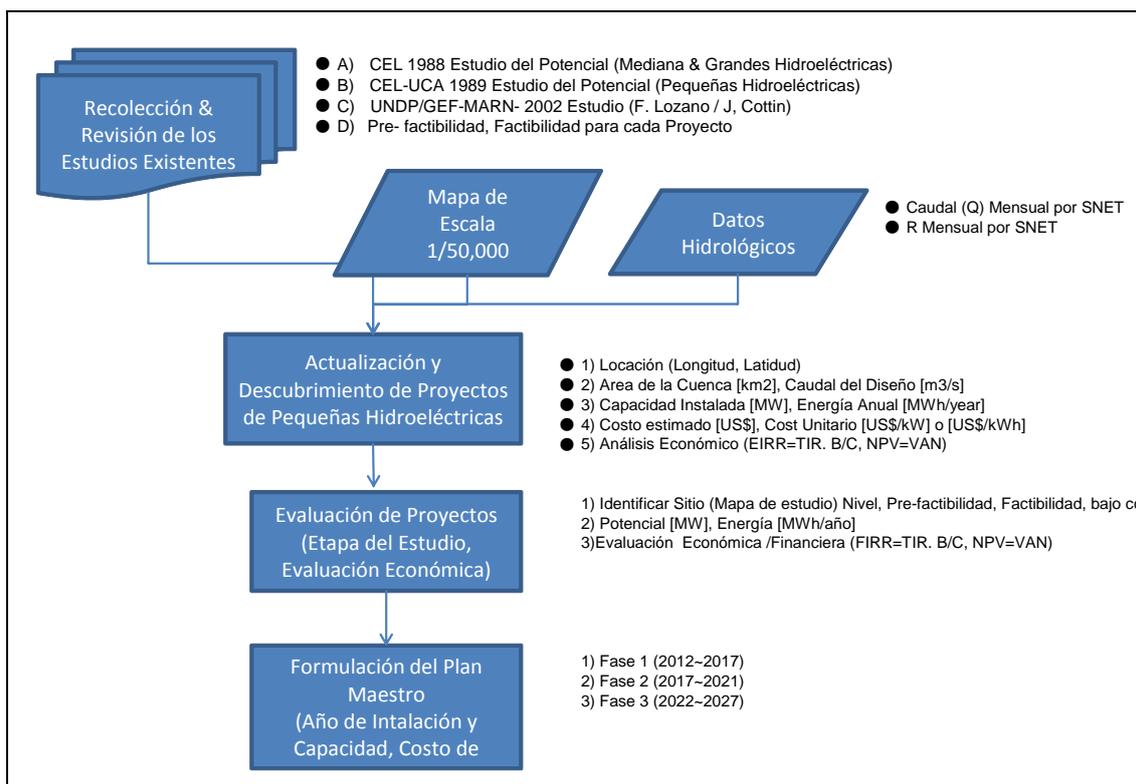
#### **10.3.1 Pequeñas centrales hidroeléctricas**

Sobre la base de información sobre los sitios existentes y potenciales, y los sitios recientemente identificados potenciales a través de estudios teóricos se llevaron a cabo simples revisiones técnicas. Después de estimación del desarrollo agregado, fueron examinados a nivel de estudio del plan maestro los costos, posibilidades económicas de los sitios de desarrollo. Mediante el uso de los resultados de la investigación, los planes de desarrollo se prepararon para los períodos del plan maestro (15 años 2012 a 2027), cinco años para cada una de las tres fases.

##### **10.3.1.1 Flujo de trabajo para la formulación del Plan Maestro para pequeñas centrales hidroeléctricas**

El flujo de trabajo para la formulación del plan maestro para el desarrollo de pequeñas centrales

hidroeléctricas es mostrado en la Figura 10.3.1.



(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

**Figura 10.3.1 Flujo de trabajo para la formulación del plan maestro para pequeñas centrales hidroeléctricas**

**10.3.1.2 Revisión del estudio previo para pequeñas centrales hidroeléctricas**

Para la formulación del plan maestro para el desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas menores de 20MW de 2017 a 2027 los sitios fueron actualizados utilizando mapas topográficos con una escala de 1/50,000, información hidrológica reciente y un estudio de costo económico del Equipo de Estudio basado en los siguientes estudios previos.

- a). CEL 1988, estudio de potencial para energía hidroeléctrica de mediana y grande escala
- b). CEL-UCA 1989, estudio de potencial para pequeñas centrales hidroeléctricas
- c). UNDP/GEF-MARN, Estudio de 2002 (Transénergie, F. Lozano / J. Cottin)
- d). E/PF y E/F en cada proyecto de hidroeléctrico

Sin embargo, los potenciales tales como capacidad instalada [MW], energía anual [MWh/año] y los valores financieros de los proyectos de estudios previos no están actualizados y se han usado los valores de los mismos estudios.

### **10.3.1.3 Hallazgo y evaluación de nuevos sitios potenciales**

En este estudio para el plan maestro, nuevos sitios potenciales también fueron encontrados y evaluados utilizando mapas topográficos con una escala de 1/50,000, información hidrológica y costo económico reciente por el Equipo de Estudio.

### **10.3.1.4 Evaluación técnica de sitios potenciales**

Para el estudio del plan maestro se realizó una evaluación técnica en donde se evaluaron y seleccionaron sitios potenciales para pequeñas centrales hidroeléctricas. Para revisar los sitios existentes propuestos en estudios previos y encontrar nuevos sitios potenciales, se hizo una serie de estudios por medio de mapas topográficos, un estudio hidrológico y una evaluación financiera, los cuales se hicieron para cada sitio potencial.

### **10.3.1.5 Estimación de costo de sitios potenciales**

#### **A. Estimación de costo de construcción**

Los costos de obras civiles, equipos hidráulicos y electromecánicos para cada sitio potencial por caudal de diseño fueron estimados utilizando las ecuaciones, la cuales toman en cuenta los resultados de estaciones hidroeléctricas existentes en Japón (Fuente: “Manual de Guía para el Programa de Ayuda de Desarrollo y Estudios de Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”: Fundación New Energy, Japón 1996). Se utilizaron precios reales del año 2011 en El Salvador para calcular los costos unitarios de las obras civiles.

### **10.3.1.6 Evaluación financiera de los sitios potenciales**

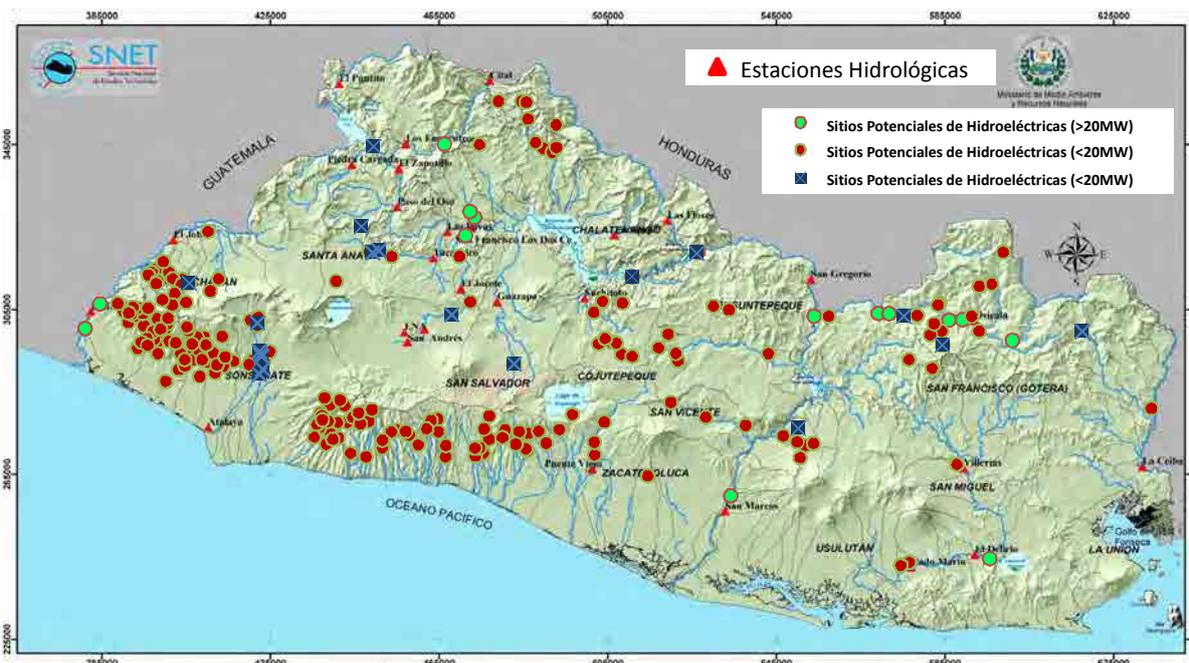
El análisis financiero del proyecto para los casos “sin” y “con” préstamo bancario fue efectuado para la evaluación de la “base del proyecto” y casos más exactos de financiamiento por préstamo bancario utilizado.

### **10.3.1.7 Optimización del caudal de diseño para sitios potenciales**

El caudal de diseño fue decidido por optimización de la máxima relación B-C del análisis financiero del proyecto para el caso “sin” préstamo bancario.

### **10.3.1.8 Sitios potenciales para pequeñas centrales hidroeléctricas**

En total se identificaron 209 sitios. La capacidad total se estima en 180.8 MW y la energía anual promedio estimada es de 756 GWh/año. La mayoría de sitios potenciales están ubicados en la región occidental, especialmente en los departamentos de Ahuachapán, Sonsonate y en la zona oriental el departamento de La Paz.



(Fuente: Equipo de Estudio de JICA (Mapa básico por SNET/MARN))

**Figura 10.3.2 Mapa de ubicación de sitios potenciales para energía hidroeléctrica**

**10.3.1.9 Plan maestro para pequeñas centrales hidroeléctricas**

Para el plan maestro para el desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas con una fase de duración de 5 años cada una a partir de 2012 hasta 2027, fueron adoptados los siguientes criterios de la Tabla 10.3.1.

**Tabla 10.3.1 Criterios de selección para el plan maestro de pequeñas centrales hidroeléctricas**

Fase	Año	C/B (con préstamo bancario)	Capacidad potencial [kW]	Área Natural Protegida (SANP)	% de sitios potenciales
I	2012-2017	Todos los proyectos en construcción. / concesión, con E/F + E/Pre-F proyectos con C/B ≥ 1.0 según los resultados de estudios previos (*1)	Todos los tamaños (*1)	Excluir	-
II	2017-2022	C/B ≥ 1.0	≥ 250kW	Excluir	50%
III	2022-2027	C/B ≥ 1.0	≥ 250kW	Excluir	50%

Nota \*1): Los proyectos incluyen proyectos aislados de electrificación rural por la ONG SABES.

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

Los criterios de selección para la Fase-II y Fase-III donde la capacidad instalada es mayor a 250kW y el C/B es mayor de 1.0 son decididos considerando la viabilidad económica y financiera, prioridad de desarrollo para lograr el incremento de la demanda nacional de electricidad y un tamaño atractivo para los inversionistas privados.

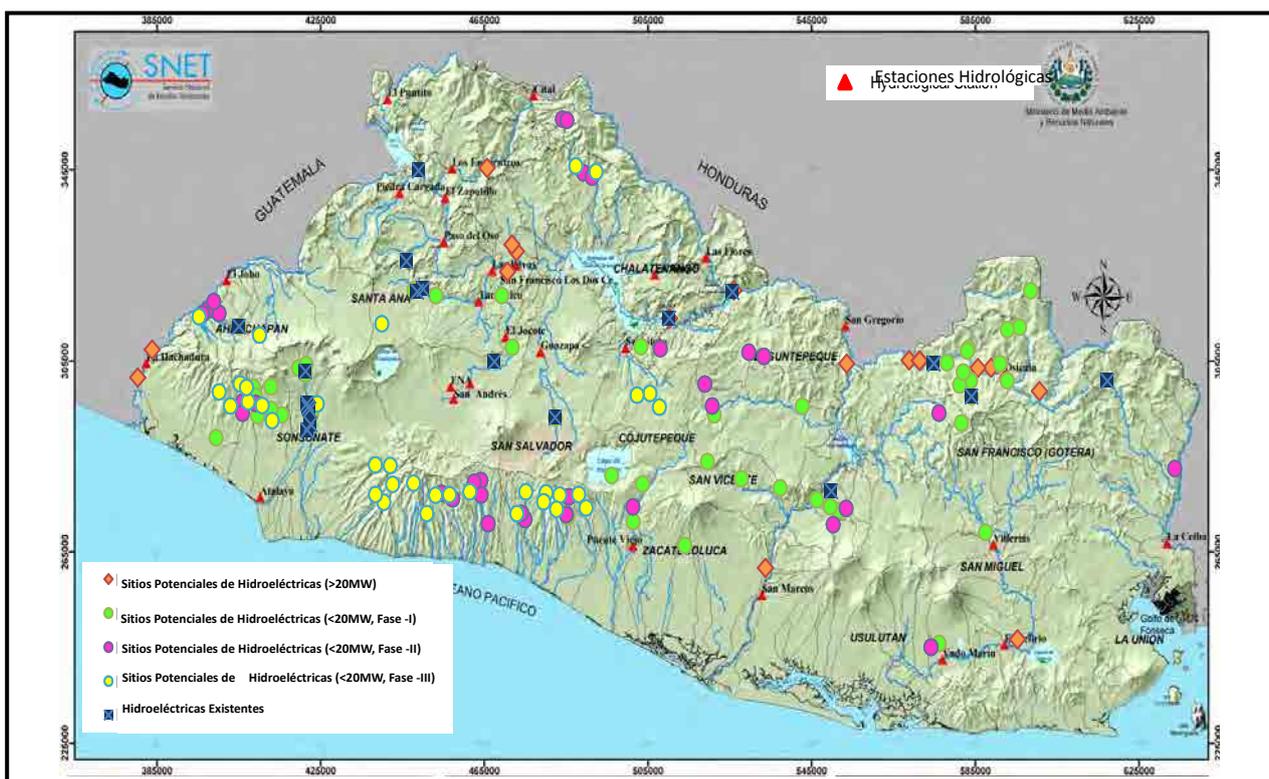
El plan maestro formulado para cada fase es resumido en la Tabla 10.3.2. El mapa de ubicación de los sitios potenciales seleccionados para cada fase es mostrado en la Figura 10.3.3.

**Tabla 10.3.2 Resumen de plan maestro de desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas**

Fase	Condiciones	Número de Proyectos	Potencia (MW)	Energía (MWh/Año)	Factor de Planta	Inversión Total (x 1,000 US\$)	Costo/kW (US\$)	Base del Proyecto (sin préstamo del Banco)		
								TIR (Promedio)	VAN (Promedio)	B/C (Promedio)
								(%)	(x 1,000 US\$)	
Fase-I (2012-2017)	En Const., con B/D, F/S y Pre-F/S	59	103.9	436,100	48%	305,100	2,937	27.7%	4,500	1.58
Fase-II (2017-2022)	B/C >=1, P>=0.25 (MW), 50% de Potencial	32	33.5	146,100	50%	92,500	2,761	29.3%	3,500	1.72
Fase-III (2022-2027)	B/C >=1, P>=0.25 (MW), 50% de Potencial	32	25.3	89,200	40%	85,800	3,391	17.6%	1,400	1.33
<b>TOTAL</b>		<b>123</b>	<b>162.7</b>	<b>671,400</b>	<b>47%</b>	<b>483,400</b>	<b>2,972</b>	<b>24.7%</b>	<b>3,248</b>	<b>1.52</b>

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

Un total de 123 sitios (59 en la Fase-I, 32 en la Fase-II y 32 en la Fase-III) para desarrollar pequeñas centrales hidroeléctricas se seleccionaron para el plan maestro para el período 2012-2027. La capacidad total se ha estimado en 162.7MW (se propondrá que se instalen 103.9MW en la Fase-I, 33.5MW en la Fase-II y 25.3MW en la Fase-III, respectivamente). La energía anual total se ha estimado en 671.4GWh/año (436.1GWh/año en la Fase-I, 146.1GWh/año en Fase-II y 89.2GWh/año en la Fase-III serán generados adicionalmente). El costo total de la versión es de US\$483.4millones



(Fuente: Equipo de Estudio JICA) (Mapa básico por SNET/MARN)

**Figura 10.3.3 Mapa de ubicación de sitios seleccionados para pequeñas centrales hidroeléctricas para el Plan Maestro 2012-2027**

**10.3.1.10 Recomendaciones para llevar a cabo el Plan Maestro**

A. Reconocimiento del sitio y un estudio detallado será el paso siguiente a seguir.

Para la realización del plan maestro son necesarios trabajos de campo y estudios detallados.

El plan se revisa en base a la información recolectada del reconocimiento del sitio, y se produce un plan final durante la etapa del estudio. Una vez preparado el estudio de reconocimiento, se evalúa el siguiente paso que es hacer el estudio de pre factibilidad y posteriormente el estudio de factibilidad, deben ser efectuados.

Cuando no hay una estación de medición de caudales en el sitio de toma o en su área adyacente, es esencial instalar una tan pronto como sea posible y comenzar a registrar los caudales diarios del río.

#### B. Apoyos gubernamentales para estudio, diseño o inversión

Para cumplir los objetivos del Plan Maestro es necesario el apoyo del gobierno de El Salvador en distintas etapas de desarrollo de los proyectos. Algunos de los aspectos a considerar están relacionados con la adquisición de tierras necesarias para el desarrollo de los proyectos, los estudios de factibilidad y diseño final. Adicionalmente se requiere el apoyo gubernamental en la simplificación de la obtención de los permisos requeridos.

- Que la aprobación del permiso ambiental cumpla con los tiempos establecidos en la ley. Se estima que si al cumplir los 60 días que manda el art. 24 de la Ley de Medio Ambiente, no hay resolución ambiental, el proyecto relacionado al uso de recursos renovables automáticamente será considerado aprobado.
- Que dentro de los requerimientos de la obtención del Permiso Ambiental, existan compromisos de parte de la empresa desarrolladora del proyecto para el desarrollo social y local de las comunidades que están aledañas al sitio del proyecto, estos acuerdos deberían ser notariados ante un abogado, e inscritos en el FISDL. Estos acuerdos incluso deberían ser multados en caso de incumplimientos por parte de la empresa desarrolladora y estos acuerdos deberían ser públicos.
- En el marco de los procesos de libre competencia existentes y la implementación del marco regulatorio para las energías renovables, se recomienda promover mecanismos de capacitación y divulgación relacionados a los temas y orientados a los desarrolladores de pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Que el gobierno de El Salvador emita un decreto de apoyo político a los proyectos de energía renovable y especialmente a las PCH

#### C. Sistema nacional de observación hidrológica

La mayoría de estaciones dejaron de registrar datos durante el período de 1985 a 1992 debido a la guerra civil. Después de dicha guerra, algunas estaciones comenzaron nuevamente sus registros de datos. Las ubicaciones de las estaciones hidrológicas están distribuidas parcialmente.

La información de largo plazo sobre observación de caudales en la estación más cercana es necesaria para la planificación de pequeñas centrales hidroeléctricas. Por lo tanto, es necesario construir sistemas de observación hidrológica y meteorológica en todo el país lo más pronto posible. El sistema telemétrico automático de observación hidrológica es apropiado para el monitoreo del caudal del río.

#### D. Determinación del caudal ecológico del río.

Si la longitud del canal de agua de la central hidroeléctrica propuesta es grande, el caudal ecológico debe ser considerado. Una referencia de caudal mínimo requerido de mantenimiento ecológico del río se

detalla a continuación:

- 10% de la descarga promedio anual a lo largo del año
- 0.1~0.3 m<sup>3</sup>/s/100km<sup>2</sup> (Lineamiento japonés para energía hidroeléctrica)
- Descarga mínima a lo largo del año
- Descarga necesaria para peces, fauna y flora, para el terreno y para la ecología del río

#### Estudio de condición de utilización del río

La construcción de la obra de toma a veces va acompañada de la inundación de casas, terrenos agrícolas y la construcción de las instalaciones de generación reduce el caudal del río entre los sitios de la toma y el canal de descarga. Por lo tanto, las instalaciones que utilizan agua en el área del proyecto deben ser estudiadas con los mapas topográficos disponibles y con investigaciones de campo.

#### Caudal de mantenimiento del río (Caudal Ecológico)

Si la longitud del canal de agua de la central hidroeléctrica propuesta es grande, el caudal ecológico debe ser considerado. El MARN siempre exigirá al desarrollador de proyectos un porcentaje del caudal promedio anual del río para el mantenimiento de cuencas, el cual podría ser el 10%

### **10.3.2 Energía Eólica**

En el presente estudio, se prepara el mapa del potencial eólico a nivel nacional, el cual identifica varios sitios con potencial eólico. No existe experiencia para la implementación de proyectos de energía eólica en El Salvador. En este capítulo son estimadas las capacidades permitidas de la energía eólica en El Salvador.

#### **10.3.2.1 Selección de Sitios Potenciales**

En el presente estudio, se prepara el mapa del potencial eólico y diversos lugares de potencial eólico son identificados en el mapa.

#### **10.3.2.2 Capacidad Admisible para Implementar en la red.**

La cantidad de energía producida por los aerogeneradores y por los sistemas fotovoltaicos, llega a tener grandes fluctuaciones según los cambios en las condiciones meteorológicas. Se hace necesario realizar una revisión de la capacidad máxima permitida para la interconexión a la red eléctrica. No obstante, en El Salvador es difícil simular la interconexión de la energía producida por los aerogeneradores y los sistemas fotovoltaicos con la red, que permitan hacer un análisis en el comportamiento de la potencia. En el presente estudio, se examinó la capacidad admisible de energía eólica interconectada a la red, usando el método algebraico de la compañía “Tohoku Electric Power” de Japón. Por lo tanto, la capacidad máxima admisible de energía eólica y fotovoltaica en El Salvador, puede ser estimada en 60MW. Este valor es aproximadamente el 7% de la demanda energética nacional. Dependiendo del incremento futuro en la demanda energética y de la selección de nuevas tecnologías a implementar, la capacidad máxima admisible

puede incrementar.

### **10.3.2.3 Consideración de los Aspectos Técnicos**

#### **A. Preparación del Programa.**

Se tiene que discutir los ajustes técnicos para la interconexión con la red y los precios de venta de la energía generada. En este capítulo, el proceso de planificación del desarrollo de la energía eólica es explicado. La planificación de la implementación para la generación de energía eólica varía en función de la finalidad y la escala del negocio. El proyecto de energía eólica es una de las tecnologías más económicamente viables, entre toda la energía renovable fuentes. Presentación de las solicitudes de las organizaciones interesadas es necesaria antes de la puesta en práctica del proyecto.

#### **B. Evaluación del Potencial Eólico**

##### **a. Plan de Medición**

El objetivo principal del monitoreo es identificar aquellos sitios con potencial eólico que además contengan otras características necesarias para poder desarrollar dicha energía.

##### **b. Exanimación del Potencial Eólico**

Se llevará a cabo un análisis del viento para evaluar sus características, basándose en los resultados obtenidos del monitoreo en los distintos sitios potenciales. Se estimará la producción de energía de las turbinas de viento y consecuentemente se decidirá la capacidad instalada para el proyecto.

##### **b1. Duración del Monitoreo**

El plazo mínimo para el monitoreo del viento es de un año, aunque dos o más años produciría resultados más confiables.

##### **b2. Monitoreo del Viento**

En general, las estaciones de monitoreo de viento para desarrollar la energía, son instaladas por un corto periodo de tiempo. Los permisos para poder instalar las estaciones de monitoreo, deberían ser otorgados por el dueño de la propiedad.

##### Velocidad del Viento

La velocidad del viento es el indicador más importante del sitio donde se encuentra la fuente de energía renovable.

##### Energía del Viento

La cantidad de energía del viento está en función de la velocidad y la masa. Mientras más alta es la velocidad del viento más energía está disponible.

##### Dirección del Viento

La frecuente información en la dirección del viento es importante para identificar la forma y orientación del terreno y para optimizar la distribución de las turbinas dentro el parque eólico. Se deben definir las direcciones predominantes del viento.

##### Temperatura

En la mayoría de los sitios, el promedio de la temperatura ambiente cerca del nivel del suelo (2 a 3 m)

tendrá una diferencia de 1°C promedio con la altura del buje del aerogenerador. También se ocupa para calcular la densidad del aire. La densidad de la energía eólica se utiliza para el cálculo en la producción de energía.

#### Velocidad vertical del viento

La velocidad del viento y la energía varían dependiendo de la altura sobre el nivel del suelo. Sin embargo, es difícil medir la velocidad del viento a la altura exacta del buje, como por ejemplo a 80 metros. Por lo tanto, se recomienda medir la velocidad del viento a diferentes alturas para calcular el nivel más alto, siendo medido por lo menos, en dos alturas.

#### Presión Barométrica

La presión barométrica se utiliza junto con la temperatura del aire para determinar su densidad.

### **b3. Alturas de Monitoreo**

Las alturas típicas para el monitoreo del viento tanto para la velocidad como la dirección son a 40 m, 25 m, y 10 m. En general la altura típica del buje para una turbina de viento de 1 MW es de 60 metros, y para una potencia de 2 MW, es entre 70 u 80 metros. La temperatura ambiente, la presión barométrica y la radiación solar, son monitoreadas a un altura de 2 a 3 metros sobre el nivel del suelo.

### **b4. Montaje de la torre para monitoreo de viento**

Dos importantes directrices deben ser acatadas al escoger el sitio exacto para montar la torre de monitoreo:

- Colocar la torre lo más lejos posible de obstrucciones locales que afecten la corriente del viento.
- Seleccione un lugar que sea el más representativo del sitio.

### **c. Evaluación**

#### Velocidad Promedio del Viento

Los sitios en donde la velocidad promedio anual del viento excede de 6m/s a 30m sobre el nivel del suelo son aceptables para el desarrollo de energía eólica.

#### Frecuencia relativa en la dirección del viento

Si la frecuencia relativa anual en la dirección del viento es mayor de 60% en el eje del viento, la dirección puede ser evaluada como estable.

#### Intensidad de la Turbulencia

La intensidad de la turbulencia es afectada grandemente por las características y condiciones topográficas. Esto hace difícil estandarizarlo, pero por lo general se encuentra dispersa en el rango de aproximadamente 0.1-0.3, dependiendo de las características topográficas. El sitio Candidato puede ser revisado si la intensidad de la turbulencia es mayor al estándar del IEC (*International Electrotechnical Commission*, Comisión Electrotécnica Internacional). O de lo contrario, es necesario consultar con los fabricantes para seleccionar la turbina de viento mas apropiada.

### Densidad de la Energía Eólica

La densidad de la energía eólica tiene que ser mayor que  $240 \text{ W/m}^2$  a 30 metros sobre el nivel del suelo.

### Factor de capacidad de la turbina de viento

El factor de capacidad anual tiene que ser a más del 20%.

## **C. Diseño Básico**

### **a. Determinación exacta del sitio de instalación**

#### **a1. Potencial Eólico**

El mapa de potencial eólico ya está disponible en El Salvador. Esto facilita la identificación de las áreas con potencial eólico usando el mapa.

#### **a2. Entorno Natural**

Las condiciones eólicas dependen en gran medida de los terrenos circundantes y sus características. Por lo tanto, es necesario estudiar las características climáticas locales.

### **b. Consideración de las Condiciones Naturales y Sociales**

Es necesario tener en cuenta las características del viento y las características del entorno de instalación para conseguir el máximo de generación al introducir la energía eólica.

En cuanto al sitio de instalación, puede estar ubicado en una cadena montañosa, en planicies, en zonas costeras, a veces en parques, en distritos urbanos, y así por el estilo.

## **C. Selección de la Turbina de Viento**

A través de los siguientes procesos, serán definidos los planes para ubicar las turbinas de viento, basados en la estimación más adecuada de la potencia:

### Estimación de la energía producida

La producción total de energía de las turbinas de viento se estimará basada en la disponibilidad del presupuesto de implementación, y otras consideraciones tales como la distancia, capacidad, carga de transmisión de energía y la red de distribución.

## **D. Plan de Implementación**

### **a. Área de construcción**

En aquellas áreas donde se ha planificado introducir la generación de energía eólica, se recomienda seleccionar el sitio tomando en cuenta las condiciones naturales y las condiciones sociales. En caso de instalar una sola turbina, se debe elegir el sitio con las características eólicas más adecuadas. Las dimensiones del espacio requerido para el ensamble e instalación de un aerogenerador se muestran a continuación.

Por otra parte, es necesario considerar en el sitio, las condiciones prevalecientes en la dirección del viento, para decidir la mejor distribución en planta cuando se piensa instalar varias turbinas de viento.

**b. Vehículos Pesados**

Para la instalación de las turbinas, será necesario un remolque para transportar materiales y un camión grúa para el montaje de la torre. Hay que averiguar las condiciones en que se encuentra la carretera de acceso para la circulación de los vehículos de servicio pesado, tales como el ancho, la pendiente, las curvas, el peso límite de los puentes y así sucesivamente, para determinar si el sitio es accesible para dichos vehículos.

**E. Calendarización**

Para instalar los aerogeneradores, se requiere suficiente espacio en una superficie nivelada para ejecutar los trabajos de ensamble de las hélices, construir la torre y movilizar el equipo principal de la grúa móvil. Al tener construidos los cimientos para el aerogenerador, será necesario realizar algunos ajustes en el programa de trabajo.

**F. Operación y Mantenimiento**

Las labores de Operación y mantenimiento son esenciales para mantener en óptimo estado el aerogenerador. Cuando se modifiquen o reparen estos equipos, se necesita darle seguimiento diario y un mantenimiento periódico. Cuando se le da seguimiento diario a la operación, es posible detectar tempranamente los problemas. El objetivo de las reparaciones y/o el mantenimiento es operar con seguridad y bajo condiciones estables. La inspección periódica varía de acuerdo al fabricante, pero la mayoría de los fabricantes recomiendan cuatro veces al año. Los costos de inspección para un aerogenerador con una potencia de 2000 kW, son alrededor de US\$50,000.00 por año.

**G. Experiencia en otros Países de Centro América (Costa-Rica)**

En Centroamérica, el desarrollo de la energía eólica ha sido implementado en Costa-Rica. Alrededor de 63 MW de potencia están operando actualmente en ese país. En Costa Rica, el costo por kW por proyecto de energía eólica es de unos US\$ 1,975/ kW.

**10.3.2.4 Plan Maestro**

Para este estudio, se requiere de un Plan Maestro para desarrollar la energía eólica entre los años 2012 y 2026. Sin embargo, actualmente hay solo un plan de desarrollo realizado por la CEL. El plan de desarrollo mostrado en la siguiente tabla, se elaboró para su implementación entre los años 2012 y 2026, basados en la información proporcionada por el CNE. Por otra parte, el plan de CEL sólo señala la posibilidad de desarrollo para la energía solar fotovoltaica.

El plan de desarrollo de la energía eólica preparado por CEL se revisará continuamente. Por lo tanto, el plan de desarrollo para la energía eólica, tendrá que ser revisado durante varios años.

**Tabla 10.3.3 Plan Maestro de desarrollo para la Energía Eólica**

Año	Potencia (MW)	Producción de Energía (GWh/año)
2012 hasta 2016	10	21.9
2017 hasta 2021	20	43.8
2022 hasta 2026	30	65.7

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

### 10.3.3 Energía Solar Fotovoltaica

En este capítulo, se explican los aspectos clave para la construcción, los aspectos técnicos, la operación y el mantenimiento. Se explica la estructura del sistema, el estudio del sitio, el plan de equipamiento y un ejemplo de cómo programar la implementación de los sistemas fotovoltaicos de clase MW. También se explican los detalles para la operación y el mantenimiento (O&M). Existe un sistema fotovoltaico de 100 kW de potencia instalado en El Salvador, y su costo de instalación se usa como referencia en este capítulo. Un plan maestro hasta el año 2026 es presentado basado en la información obtenida del CNE.

#### 10.3.3.1 Selección de Sitios Potenciales

El Mapa de Potencial Solar a nivel nacional que preparó SWERA, se explica en el capítulo 4. Este mapa muestra que la irradiación solar es alta, especialmente en la región central de El Salvador.

#### 10.3.3.2 Capacidad Permisible para introducir en la Red

La capacidad permisible para las fuentes de energía solar y eólica se explica en la sección 10.3.2.2. El resultado nos muestra que la capacidad de energía máxima permisible fotovoltaica y eólica para interconexión con la red, es de 60MW. Este valor se estima en aproximadamente el 7% de la demanda nacional de energía. Es necesario re-examinar la capacidad máxima permisible de energía eólica y solar, cuando parques eólicos y fotovoltaicos de gran tamaño, se interconecten con la red nacional en el futuro.

#### 10.3.3.3 Consideración de Aspectos Técnicos

##### A. Preparación

Durante la etapa inicial del proyecto, el concepto y el diseño básico de la instalación fotovoltaica serán considerados. En base a estos resultados, se elaborará el plan de diseño básico y su implementación. El sistema fotovoltaico se construirá entonces basado en los planes preparatorios, y antes de las pruebas de puesta marcha. Después de completar la implementación del proyecto, la energía será suministrada a la red.

##### B. Evaluación del potencial fotovoltaico

El mapa de irradiación solar a nivel nacional fue creado bajo el proyecto SWERA, y la irradiación solar actualmente está siendo monitoreada en varios sitios. Los datos meteorológicos están disponibles en el SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales).

### **C. Estructura del Sistema**

Existen varias configuraciones de instalación para los sistemas fotovoltaicos. Los sistemas FV se clasifican a grandes rasgos en dos tipos: a) sistema fotovoltaico conectado a la red, y b) sistema fotovoltaico fuera de la red. En general, la generación de energía fotovoltaica de gran tamaño sin banco de baterías y de varios cientos de kW o más, se clasifican como estaciones fotovoltaicas centralizadas. Si el flujo de energía se controla en el punto de conexión y el sistema fotovoltaico es conceptualizado como a prueba de desastres, el generador tiene que ser temporalmente cargado durante cierto período y descargado para el suministro de energía durante otros períodos. Por esta razón, las baterías de almacenamiento tienen que estar conectadas al circuito principal para carga y descarga.

### **D. Estudio del Sitio**

#### **a. Problemas por las sombras**

Es necesario constatar la presencia de sombras de edificios vecinos, árboles, montañas, chimeneas, postes eléctricos o de teléfono, torres de acero y letreros. La potencia fotovoltaica producida disminuye cuando hay sombras sobre los módulos fotovoltaicos.

#### **b. Otros (efecto corrosivo de la sal, rayos, etc.)**

Es necesario investigar los daños causados por la corrosión de la sal en zonas costeras. Deben ser estudiados los datos acerca de los rayos. Hay que investigar los daños causados por los huracanes en el pasado.

#### **c. Superficie necesaria para la instalación**

La capacidad instalada de energía fotovoltaica está determinada por la superficie disponible y por el presupuesto del proyecto. En general, dependiendo del diseño del sistema, las dimensiones necesarias se estiman entre 10 y 15 kW por m<sup>2</sup>. Además, es necesario evaluar los requisitos del espacio necesario para la instalación del transformador, el Acondicionador de Potencia y otros equipos.

#### **d. Carga**

El patrón de energía consumida en del lado de la demanda, no es un factor determinante para decidir la capacidad de conexión del sistema FV con la red. Cuando la energía FV producida es menor que la demanda de los consumidores, la energía faltante será completada y suministrada desde la red. Por el contrario, cuando la energía producida por el sistema FV es mayor que la demanda de los consumidores, el excedente de energía será suministrada hacia la red.

#### **e. Plan de Equipamiento**

En El Salvador, la norma internacional NEC, se aplica para los equipos eléctricos. Sin embargo, cuando existen acuerdos de cooperación internacional con países industrializados, por general son aceptadas otras normas con diferente nivel de especificación.

### **E. Operación y Mantenimiento**

En la actualidad, los sistemas FV conectados a la red no son muy usados en El Salvador. Para asegurar un funcionamiento correcto, es necesario abordar las deficiencias en la información técnica, los documentos y

los recursos humanos para los sistemas fotovoltaicos.

Un adecuado programa para la Operación y Mantenimiento es necesario para garantizar la sostenibilidad del proyecto. Es importante transferir al personal de O&M, los procedimientos de mantenimiento del fabricante en el momento de su ejecución.

#### **F. Calendarización General del Proyecto**

El período de construcción de estos sistemas varía según la potencia FV instalada. En el caso de Japón, fue necesario considerar alrededor de 6 meses de construcción para la instalación de un sistema de 1 MW. El período de construcción abarca desde el comienzo de la construcción hasta la puesta en marcha. Este período se puede extender en proporción al incremento en la capacidad FV instalada. Es recomendable iniciar la construcción de las obras antes que inicie la temporada lluviosa, ya que normalmente se asume que el plazo de construcción se prolonga debido a las condiciones climáticas.

#### **G. Costo del Proyecto**

En Japón, el precio promedio unitario de la energía FV con capacidades mayores a 100 kW es más de US \$9,100 por kW. El precio está en función del sitio de instalación, el tipo de sistema y la capacidad. En el caso de instalar módulos FV sobre el suelo, los costos de adquisición del terreno, tienen que ser incluidos dentro de los costos de la instalación FV. En cuanto a los costos de funcionamiento después de la instalación, deben examinarse los costos de operación y mantenimiento y los seguros.

En El Salvador, existe un sistema fotovoltaico de 100 kW de capacidad instalado en el campamento base de EE.UU. Comparado con el precio promedio unitario en Japón, es más bajo en El Salvador. El costo del proyecto se muestra a continuación:

##### Precio de un sistema FV de 100 kW

<b>Instalación:</b>	<b>US\$ 690,000 (US\$ 6,900 / kW)</b>
<b>O&amp;M:</b>	<b>US\$ 1000 / año (4 visitas por año)</b>

#### **10.3.3.4 Plan Maestro**

En este estudio, se requiere de un Plan Maestro para los sistemas fotovoltaicos entre los años 2012 y 2026. Sin embargo, para los sistemas centralizados FV, CEL sólo ha planificado uno. De manera que, el siguiente plan de desarrollo fue compilado para su implementación entre los años 2012 a 2026, basado en la información proporcionada por el CNE.

El plan de desarrollo futuro de CEL para la energía FV, se revisará continuamente y por lo tanto deberá ser revisado por varios años.

**Tabla 10.3.4 Plan Maestro Solar FV**

Año	Sobre el suelo		Montado en techo (Proyecto base)	
	Capacidad (MW)	Energía Producida (GWh/año)	Capacidad (MW)	Energía Producida (GWh/año)
2012 to 2016	17	27.9	1	1.6
2017 to 2021	20	32.8	1	1.6
2022 to 2026	50	80.0	1	1.6

(Fuente: Equipo de Estudio JICA)

### 10.3.4 Energía Solar térmica

En El Salvador, la radiación solar promedio es tan alta como 5kWh/m<sup>2</sup> por día. En este capítulo, se explica el estado actual de la energía solar térmica en El Salvador. Más aún, se examinan los datos de radiación solar que fueron obtenidos de la empresa Inversiones Energéticas S.A de C.V. (INE). Para implementar en el país proyectos solares térmicos, hay algunas dificultades por superar. Por lo tanto, en este capítulo se consideran las contramedidas para esas dificultades. Además, para la introducción de los “Concentradores Solares de Energía” (CSP, por sus siglas en inglés), se mencionan las respectivas recomendaciones.

#### 10.3.4.1 Potencial solar térmico

En términos de energía, tenemos un promedio de 5 horas solar pico por día. Para sistemas sin concentración como los colectores de placas planas, puede contarse con toda esta energía. Para sistemas solares con concentradores, solo se usa la radiación directa, así que el potencial de disponibilidad de energía es cerca del 70 %, o sean 3.5 horas solar pico por m<sup>2</sup>. Sin embargo, se deberán hacer mediciones de la irradiación directa normal, (DNI), para un sitio en particular.

Tomando en cuenta la abundante irradiación solar en El Salvador, y el nivel de desarrollo de la tecnología solar térmica en el mercado internacional, el proyecto tiene un gran potencial para su implementación. Por otro lado, es también importante considerar la posibilidad de la manufactura local de los colectores solares para reducir los costos. Por lo tanto, para realizar plenamente la manufactura local de los colectores solares, es importante la transferencia de tecnología para las plantas de energía solar térmica.

#### 10.3.4.2 Estado actual y prospectiva futura

##### A. Plan existente en El Salvador.

Actualmente en El Salvador existen tres instituciones trabajando con la tecnología solar térmica, utilizando enfoques diferentes: La Geo, INE y la Universidad Don Bosco.

##### a. La Geo

Desde el 2007, La Geo inició un programa para el desarrollo de tecnología local solar térmica. La Geo diseñó y construyó un colector concentrador de canal parabólico de cuatro módulos.

Actualmente, se están diseñando nuevos prototipos de colectores con receptor tipo cavidad y serán

construidos con objetivos de investigación y desarrollo. En el prototipo se usará una película plástica metalizada con un factor de reflexión del 95 %. Todo el sistema será instalado en la parte norte del Campo Geotérmico de Berlín. La capacidad instalada está prevista en 30 MW.

#### **b. INE**

En el caso de INE, (Inversiones Energéticas S.A. de C.V.), ha realizado un estudio de pre factibilidad técnica, financiera y legal para la instalación de una planta solar térmica.

INE está considerando la instalación de una planta solar térmica de 50 MW<sub>e</sub> incluyendo un almacenamiento térmico en sales fundidas. La capacidad del almacenamiento térmico tiene que ser de cerca de 8 horas. El plazo de implementación se estima en alrededor de tres años y medio. Un año para el estudio de factibilidad y el proceso de licitación, y 2.5 años para la instalación de la planta.

#### **c. Universidad Don Bosco**

La Escuela de Ingeniería Eléctrica presentó al Rector de la Universidad Don Bosco, una propuesta para la investigación y desarrollo de la tecnología solar térmica y su instalación. El FIAES, (Fondo para la Iniciativa de las Américas, El Salvador) Para cumplir con los objetivos establecidos, se decidió diseñar un colector concentrador circular y un generador de vapor o caldera colocada en el punto focal del concentrador. Basados en la demanda térmica y las cargas eléctricas de los usuarios, el sistema deberá tener una capacidad de 30 kW<sub>th</sub>.

### **B. Prospectiva futura**

Existen varios obstáculos para la difusión de la tecnología solar térmica, como se detalla en esta sección.

#### **a) Conocimiento de la tecnología solar térmica**

Es primordial que las personas comprendan el potencial y los beneficios de la tecnología CSP y sus aplicaciones; ya que el potencial de energía solar en El Salvador es alto. Adicionalmente es necesario promover la información de la tecnología solar térmica y conocer el funcionamiento de los sistemas CSP tal como son operados en los Estados Unidos de América y España.

#### **b) Altos Costos de la inversión inicial**

La inversión inicial de una planta solar térmica es alta por dos razones: 1) alto costo de la instalación inicial, especialmente en el colector solar, y 2) la tecnología aún está en desarrollo y comercialmente no está ampliamente difundida todavía.

#### **c) Limitación de ingenieros capacitados**

Hay un número limitado de ingenieros e investigadores que se encuentran trabajando la tecnología solar térmica. Las instituciones educativas deberían realizar actividades de capacitación del recurso humano para el diseño, implementación, operación y mantenimiento de plantas solares térmicas.

#### **d) Producción de energía intermitente**

La irradiación solar está disponible solamente durante las horas del día. Sin embargo, hay algunas contramedidas para compensar la intermitencia en la salida de potencia

### e) Potencia Mínima garantizada para los contratos de Mercado mayorista

La irradiación solar es una fuente de energía intermitente, y por consiguiente, la energía producida también será intermitente. Por esta razón, en la actualidad, la energía producida en estas plantas, es alimentada en la red de distribución. Los productores de energía interesados en el mercado mayorista, deben garantizar una capacidad firme y su energía asociada. Sin embargo, esto es difícil para una central solar térmica

## B. Recomendaciones

Las recomendaciones para la introducción de plantas de energía solar térmica se detallan a continuación:

- Realizar estudios de pre factibilidad y factibilidad para la inclusión de centrales solares térmicas en la red.
- Promover con las universidades la implementación de programas de capacitación en la tecnología solar térmica para ingenieros y técnicos, debe incluirse la asistencia técnica internacional.
- Revisar los reglamentos y normativas técnicas y legales.
- Proveer incentivos para la creación de empresas particularmente las solares térmicas y en energías renovables en general.
- Desarrollar tecnologías locales para permitir la producción de colectores solares térmicos.
- Crear las condiciones favorables para exportar la producción de algunos componentes de la tecnología solar térmica.
- Promover la cooperación internacional, entre el gobierno y los fabricantes de la tecnología solar térmica.
- Estudiar la posibilidad de la introducción de sistemas de generación híbridos solar térmico-geotérmico.

### 10.3.4.3 Examen sobre los aspectos técnicos

En general, el costo de inversión inicial para una central solar térmica, es aún alto. La Geo ha estimado un costo global para su proyecto de US \$ **3,700 / kW<sub>e</sub>**, sin almacenamiento térmico; y **\$6,167/kW<sub>e</sub>**, con almacenamiento térmico. En México, el costo únicamente para el campo solar es **US\$1,404 / kW<sub>e</sub>**. Este costo se basa según la propuesta presentada por el *Global Environment Facility*, (GEF, por sus siglas en ingles), para el “Proyecto Híbrido Solar Térmico Agua Prieta II”. De acuerdo al INE, el costo unitario para una planta de 50 MW<sub>e</sub> es de US\$5,000 a US\$6,000/kW<sub>e</sub>, y el costo con almacenamiento térmico es de US\$6,000/kW<sub>e</sub>. Entonces, el costo de una central solar térmica se estima alrededor de US\$300 millones. En el caso de la Universidad Don Bosco, el costo total para el proyecto “Investigación y Desarrollo de la Tecnología Solar Térmica”, que involucró la investigación, desarrollo, diseño, suministro de materiales, mano de obra y la administración del proyecto, fue de US **\$207,930**.

### 10.3.4.4 Plan Maestro

En este estudio, se requiere elaborar un Plan Maestro para la energía solar térmica entre los años 2012 y 2026. Sin embargo, para los sistemas solares térmicos, solo existen los planes de La Geo y de INE. Por lo tanto, el plan de desarrollo mostrado en la siguiente tabla, se elaboró para el período 2012 al 2026 basado en la información de ambas organizaciones.

Entonces, el plan de desarrollo para la energía solar térmica, tanto de La Geo como de INE, serán revisados continuamente por los próximos años.

**Tabla 10.3.5 Plan Maestro Solar Térmica**

Año	Capacidad (MW <sub>e</sub> )	Producción de energía (GWh/al año)
2012 al 2016	60	158*
2017 al 2021	80	210*
2022 al 2026	60	158*

\*: Sistema con almacenamiento de energía térmica. (Factor de Planta: 30 %).

(Fuente: Equipo de Estudio JICA. Según información dada por INE y LaGeo en reunión CNE, JST, INE y LaGeo)

### 10.3.5 Geotérmica

La estimación de la cantidad admisible de energía geotérmica se presentó a través de la revisión de los planes existentes. Las posibilidades de desarrollo después de 2017 fueron estimadas a partir de la información del potencial existente. Además, se describe un plan estándar de desarrollo así como sus costos de desarrollo basados en los resultados de las entrevistas con los representantes de LaGeo S.A. de C.V.

#### 10.3.5.1 Plan de Desarrollo hasta el año 2017

Actualmente, LaGeo es la única empresa en El Salvador dedicada a la explotación del recurso geotérmico con fines de generación de energía eléctrica. Sus planes de desarrollo para aumentar la generación de energía eléctrica se describen en la sección 4.6.3. La Tabla 10.3.6 muestra un listado de su nuevo plan específico de desarrollo que tiene proyectado.

**Tabla 10.3.6 Nuevos planes de Desarrollo, ampliación y modificación de LaGeo**

Ubicación	Plan	Adición (MW)	Factibilidad	Programación (año)	Posible retraso
Ahuachapán	Modificación de la Unidad-2	5-9	A	2015	No
Berlín	Instalación de la Unidad-5	25-30	A	2017	No
Chinameca	Nuevo desarrollo	30-50	B	2017	De hasta 2 años
-	Total (para el 2017)	60-89	-	-	-

(Factibilidad) A: Comprobada (Definitiva), B: Probable

(Fuente: LaGeo) Datos a octubre de 2011

Como se observa en esta tabla, LaGeo tiene planificado aumentar su producción de energía eléctrica con

recurso geotérmico en un rango de 60 a 89 MW para el año 2017 o posteriormente.

### 10.3.5.2 Plan de Desarrollo después de 2017

Actualmente LaGeo no tiene ningún plan específico de desarrollo de energía geotérmica para después del 2017. Por lo tanto, la posibilidad de un desarrollo posterior de energía geotérmica en el futuro se estima en la sección 4.6.4. Basado en dicho resultado se estima actualmente, que el nivel máximo de generación de energía eléctrica utilizando recurso geotérmico en El Salvador, es de 300 MW a 400 MW. Dicho valor deberá ser revisado periódicamente en la medida que se avance en los estudios de otras zonas existentes en el país

Al igual que otros recursos naturales subterráneos, es necesario conocer la evolución y los avances de los recursos geotérmicos así como los adelantos en la exploración y su explotación. Solo entonces, existirá la posibilidad de que el nivel de desarrollo de energía asociado con el conocimiento, mejore. Por lo tanto, todos los planes y proyecciones relacionados con la utilización de este recurso, deben ser revisados de acuerdo con el avance en la exploración y desarrollo geotérmico en El Salvador.

### 10.3.5.3 Programa general de Desarrollo y Costo

Un programa general de desarrollo y costo estimado de un nuevo proyecto de energía geotérmica de 30 MW, elaborado por LaGeo. Como se observa en la tabla, este nuevo proyecto requiere aproximadamente unos ocho años para su implementación, incluyendo los procedimientos para las autorizaciones; cuyo costo pudiera estimarse entre US\$150 y 200 millones.

**Tabla 10.3.7 Programa general de desarrollo y costo estimado para un proyecto de energía geotérmica de 30MW (elaborado por LaGeo en El Salvador)**

Detalle	Especificación	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	#	Unidad	rango de precio (\$1,000)(*)	Observaciones
1. Permisos/Concesión													
Adquisición de la concesión		■											
										Sub-total	de 1		
2. Superficie de exploración													
Geología / Geoquímica			■										
Geofísica			■	■									
Modelo Conceptual de la perforación objetivo			■	■	■	■							
										Sub-total	de 2	1,000	
3. perforación de pozos													
Obra civil	plataforma de perforación caminos			■	■	■	■						
Exploración de pozos	2- 4 X 2000m (6-1/4")			■	■	■	■					10,000-14,000	
Factibilidad del pozo	4 X 2000m (8-1/2")			■	■	■	■					28,000-34,000	
Pozos de producción	5 X 2000m (8-1/2")			■	■	■	■					35,000-40,000	
Pozos de reinyección	3 X 1500m (8-1/2")			■	■	■	■					20,000-25,000	
										Sub-total	de 3	99,000-113,000	
4. Prueba de desacarga													
Descarga sencilla de pozos	Corto plazo			■								0	por LaGeo
Descarga múltiple de pozos	Largo plazo (más de 6 meses)			■	■	■	■					0	por LaGeo
										Sub-total	de 4	0	
5. Evaluación de los Recursos													
Evaluación del reservorio						■	■						
Evaluación económica						■	■						
										Sub-total	de 5	0	por LaGeo por LaGeo
6. Evaluación de impacto Ambiental													
Monitoreo del subsuelo		■	■	■	■	■	■	■					
Permiso del MARN para la exploración del pozo		■	■	■	■	■	■	■					
EIA para la factibilidad		■	■	■	■	■	■	■					
EIA para el desarrollo		■	■	■	■	■	■	■					
										Sub-total	de 6	200	
										Total de 1 - 6		94,200-114,200	
7. Construcción de la Central Eléctrica													
Planificación y diseño básico							■	■					
Instalaciones de vapor							■	■	■	30000	kW	10,000-14,000	
Centrall Eléctrica							■	■	■	30000	kW	45,000-60,000	
Línea de transmisión								■	■			3,000-5,000	
Puesta en marcha								■	■				
										<b>Gran Total</b>		<b>162,200-193,200</b>	

(\*) Referencia de costos: Paul Quinlivan, S.K.M., Auckland, N.Z., WGC2010, Practical Financing of Geothermal Projects. Developments & operating Costs.

(Fuente de información/Datos) LaGeo/Oct. 10, 2011

(Fuente: LaGeo)

En un futuro para el caso de nuevos proyectos de energía geotérmica, posiblemente el desarrollo, se ejecutará referido a la programación y costos estimados antes mencionados.

### **10.3.6 Biomasa**

La necesidad de implementar sistemas generadores de energía a partir de la biomasa en pequeña escala, proviene del estudio sobre los recursos naturales de la biomasa en El Salvador. En este capítulo, se explicara el sistema de generación de energía a partir de la biomasa en pequeña escala, un sistema de gasificación de biomasa y un generador micro binario, el cual funciona con los recursos naturales de la biomasa y el calor solar.

#### **10.3.6.1 Gasificación de Biomasa**

##### **A. Generalidades**

La gasificación es un proceso termoquímico para convertir biomasa solida a un producto de gas combustible.

La biomasa ha sido reconocida como una de las mayores fuentes potenciales de energía y dentro de sus recursos se encuentran los residuos forestales, cultivos energéticos que generan energía, residuos de alimentos, cáscara de coco, bagazo de la caña de azúcar y residuos de comida; estos tipos de biomasa han sido ocupados para la generación de energía.

Hay dos métodos principales (combustión directa y gasificación) para generar electricidad de la biomasa sólida. La gasificación de la biomasa resulta de la producción incompleta de gases combustibles como el monóxido de carbono (CO), Hidrogeno (H<sub>2</sub>) y rastros de Metano (CH<sub>4</sub>). El gas pobre es enviado através una unidad enfriadora y purificadora antes de ser alimentada al motor para generar electricidad. El sistema esta comercialmente disponible desde 4 kW a varios MW.

##### **B. Tecnología para la Gasificación de Biomasa**

Existen dos grandes tipos de gasificadoras: gasificadoras de lecho fijo y gasificadoras de lecho fluidizado. Las gasificadoras de lecho fijo están divididas en dos tipos: las de corriente de aire ascendente, la cual es calentada en el fondo y el gas pobre sale por la parte superior. La mayoría de las gasificadoras con sistema de generación eléctrica a pequeña escala son del tipo de corriente de aire descendente. El gas producido por las gasificadoras de corriente descendente generalmente está compuesto por gases combustibles, 20% de H<sub>2</sub>, 20% de CO, un bajo porcentaje de CH<sub>4</sub>, y gases no combustibles como CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>.

##### **C. Proyecto de ejemplo**

###### **a. Bangladesh (Cáscara de arroz)**

En diciembre de 2007, se llevó a cabo una prueba piloto para la generación de energía a partir de la biomasa gasificada con una capacidad total de 260kW. El sistema suministra energía para 8 pueblos cercanos a la central generadora a través de una mini-red para la región. El sistema suministra energía a 400 hogares, incluidas las instalaciones de telecomunicaciones, tiendas, etc. Como combustible para la gasificación de la biomasa, se está utilizando la cáscara de arroz. La tarifa de conexión con la mini-red es \$1.30 y el precio por unidad de energía es de \$0.65/kWh. En el aspecto financiero, no es fácil administrar la

empresa, debido a que el ingreso promedio por concepto de energía facturada de todos los usuarios es de alrededor de \$780.00 por mes. El cálculo de la demanda de energía fue sobredimensionada y es una de las razones que originan la crisis actual.

#### **b. Proyecto de ejemplo: Estados Unidos (Biomasa de la fibra de coco.)**

La empresa *Community Power Cooperation (CPC)* fue fundada en 1995. Inicialmente la empresa estaba orientada hacia la prestación de servicios modernos de energía a las comunidades fuera de la red en los países en desarrollo. En 1999 la empresa fue seleccionada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, como parte de la Fase I del proyecto para desarrollar un sistema prototipo de 12,5 kW llamado "BioMax" para suministrar energía a una remota comunidad en las Filipinas usando cáscaras de coco como materia prima. La compañía ha ampliado su línea de productos para 25, 50 y 75 kW de producción combinada de calor, sistemas de energía, sistemas térmicos, sistemas de contenedores, sistemas móviles, y sistemas que pueden hacer combustible diesel sintético.

#### **D. Costo del Sistema**

El sistema de gasificación de biomasa ya está difundido en la India, y su costo es menor comparado al de otros países. La siguiente información muestra el costo típico del sistema de gasificación de biomasa en la India.

##### India (empresa ANKUR)

Precio promedio entre **US\$ 900 y US\$2,000 / kWe**

	4 kW	US\$
Basic		3,400
Add: transport, taxes, duties		600
Site specific civil works		800
Misc. & Contingencies		600
Total		5,400

	40 kW	US\$
Basic		30,640
Add: transport, taxes, duties		1,000
Site specific civil works		3,000
Misc. & Contingencies		4,000
Total		38,640

##### Estados Unidos (empresa CPC)

Precio promedio entre **\$4,500 y \$7,000/kWe.**

#### **10.3.6.2 Sistema de Generación Micro-binario**

En el sistema de ciclo binario de generación de energía, los fluidos binarios con un bajo punto de ebullición, como el butano o el pentano hidrocarburo son bombeados a alta presión a través del intercambiador de calor. Luego, el fluido es vaporizado en la recámara del intercambiador de calor y dirigido a través de una turbina para generar electricidad. El ciclo "Micro binario" es desarrollado como

un sistema de generación a pequeña escala por la empresa KOBELCO CONSTRUCTION MACHINERY CO. LTD. El sistema Micro binario es comercializado por KOBELCO con la primera turbina semi sellada de mundo. Puede ser operado por medio de agua caliente con temperaturas bajas de hasta entre 70 a 95 °C. Por lo tanto, el sistema de generación binaria puede aplicarse a muchos tipos de energías renovables tales como geotérmicas, biomasa y solar térmica. También puede ser usado por como calor residual para la industria.

Las siguientes cifras muestran el costo del equipo de la Micro Binaria y el costo de instalación. El precio de la instalación puede variar dependiendo del uso que se destine.

Micro binario (MB-70H): **US\$ 312,500 (Incluye el Equipo)**

**US\$ 500,000 (Incluye la Instalación)**

**Precio por kw = \$7,142.00**

### 10.3.6.3 Consideraciones para la introducción de la tecnología de la biomasa

Los potenciales de la biomasa han sido estudiados y los resultados son resumidos a continuación.

#### A. Resumen del Estudio

a. Caña de Azúcar: Hay tres ingenios azucareros con 4 plantas generadoras de biomasa en el país. Para Diciembre del 2011, la potencia total instalada es de 109.5 MW. Hay planes para desarrollar un sistema de generación adicional de 45 MW de capacidad.

b. Café: Actualmente la cáscara del café está siendo utilizada como combustible de calderas en algunos beneficios. La capacidad estimada de generación usando la cáscara de café es como 0.6 MW en el país. Actualmente no existe disponibilidad de cascarilla de café para generación de energía eléctrica; ya que toda se consume en el proceso de producción de vapor en el beneficio.

c. Arroz: La capacidad estimada de generación usando la cáscara de arroz es tan pequeña como 0.95 MW en el país.

#### d. Introducción de Tecnología

Los sistemas de generación en pequeña escala han sido introducidos debido a que los recursos de la biomasa son limitados y distribuidos ampliamente en el país.

#### B. Recomendaciones para un futuro desarrollo

##### a. Actualizando los datos de biomasa

Es necesario actualizar los datos de los recursos de la biomasa en el país. La información tiene que estar disponible para las personas o instituciones interesadas.

##### b. Marco Cooperativo

Ya que los recursos de la biomasa de la cáscara de café y arroz están limitados por el marco cooperativo regional de producción, deben considerarse varios factores.

### c. Desarrollo del recurso humano

Hay una posibilidad de introducir el uso de pequeñas centrales generadoras en sitios con pequeño potencial de biomas. Algunos sistemas de generación en pequeña escala, tales como la gasificación de la biomasa, pueden fabricarse en el país. En tal caso, es importante transferir esa clase de tecnología localmente.

## 10.3.7 Biogás

Como resultado de un estudio realizado sobre los recursos de biogás en El Salvador y discusiones con el CNE se ha detectado la necesidad de implementar sistemas de generación eléctrica a pequeña escala. En este capítulo se resume la información de desechos animales, aguas residuales y desechos sólidos para generación de energía eléctrica. Para cada tecnología son descritos los lineamientos, tecnología, proyectos ejemplo e información de costos.

### 10.3.7.1 Desechos Animales

#### A. Generalidades

El biogás es un producto gaseoso obtenido por la digestión anaeróbica de la materia orgánica. La principal diferencia en la composición del biogás y el gas natural, está relacionado con el contenido del dióxido de carbono. El dióxido de carbono es uno de los principales componentes del biogás, mientras que el gas natural contiene muy bajas concentraciones de este. Típicamente el poder calorífico del biogás es tan bajo como 6.6 (kWh/Nm<sup>3</sup>) comparado con el gas natural (Danés) el cual es de 11.0 (kWh/Nm<sup>3</sup>).

#### B. Tecnología del biogás

##### a. Biodigestor

El Biodigestor es una estructura física, comúnmente conocida como planta de biogás. En el Biodigestor se producen tantas reacciones químicas y microbiológicas, que es conocido como Bio-reactor o reactor anaeróbico. La principal función de esta estructura es proveer condiciones anaeróbicas. Dentro de su cámara deben de existir condiciones herméticas de aire y agua.

##### b. Generador de biogás.

La utilización de biogás para motores de combustión interna (motores de gasolina) es una tecnología fiable y bien establecida. Miles de motores son operados en trabajos de aguas residuales, rellenos sanitarios e instalaciones de biogás. Los tamaños de los motores están en un rango desde varios kWe en pequeñas granjas hasta varios MWe en grandes rellenos sanitarios. Un motor diesel puede ser convertido en un motor de gasolina de ignición por bujías, o en un motor de combustión dual con aproximadamente el 8 y el 10% del diesel inyectado por ignición. Ambos tipos de motores son los más usados. Los últimos diseños de estos motores registran una eficiencia en la conversión de energía de hasta un 41%.

##### c. Operación

Para la operación de una planta de biogás, el pH y la temperatura se usan como indicadores.

#### Valor del pH:

La producción óptima del biogás se alcanza cuando el valor del pH en la mezcla del digestor se encuentra

entre 6 y 7.

#### Temperatura:

Los organismos de la metalogénesis están inactivos en temperaturas extremadamente altas o bajas. La temperatura óptima es 35° C.

### **C. Ejemplo de proyecto**

#### **a. Proyecto *Grameen Shakti* en Bangladesh**

##### Biogás para cocinar

En la República Popular de Bangladesh, cerca de 7000 plantas de biogás han sido introducidas en áreas rurales por *Grameen Shakti*, una ONG mundialmente famosa. Los lodos provenientes del digestor de biogás son usados como fertilizante orgánico para la agricultura. Además, los lodos secos con un contenido de humedad del 15%, son preparados para su venta como lodos sólidos a US\$ 0.04/ kg.

##### Generación eléctrica por medio del biogás

Los sistemas de generación eléctrica han sido introducidos lentamente por instituciones privadas. La empresa *Grameen Shakti* ha introducido 20 sistemas de biogás para generación eléctrica. Hay dos plantas de generación eléctrica con una capacidad de 5kW en cada una de las granjas. La fuente de biogás es el estiércol de vaca el cual es producido diariamente en la granja. Hay dos digestores de biogás en la granja. La demanda de electricidad principalmente es por la iluminación, los ventiladores y el bombeo diario de agua de la granja.

### **D. Costo del Sistema**

La UCA (Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”) condujo una investigación para el Análisis económico de un sistema de biogás en El Salvador. Este biodigestor fue instalado en Miravalle, El Porvenir, Municipio del Departamento de Santa Ana.

Costo de construcción:	US\$ 41,000.66
Costo operacional:	US\$ 45.00
Costo de O&M:	US\$ 55.00

### **10.3.7.2 Aguas Residuales**

#### **A. Generalidades**

De acuerdo a la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), existen 66 plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales son manejadas por organizaciones gubernamentales y externas.

#### **B. Producción de Biogás por medio de Aguas Residuales**

##### **a. Tecnología para Plantas de Tratamiento**

El objetivo de las plantas de tratamiento es remover la materia sólida, reducir la cantidad de materia orgánica y contaminantes y restaurar el oxígeno. Básicamente hay dos métodos de tratamiento de aguas residuales: aeróbicos y anaeróbicos. El primero tipo de tratamiento es con oxígeno y el otro es en ausencia de oxígeno (reactores anaeróbicos).

### C. Ejemplo de proyecto

La GIZ (Agencia Alemana para la Cooperación Internacional) ha conducido un estudio económico del biogás en la República de Chile. El estudio fue conducido en empresas cerveceras las cuales producen biogás a partir de los desechos sólidos. El sistema de producción utilizado en la cervecería fue de digestión anaeróbica. La siguiente tabla muestra la cantidad de desecho sólido, el volumen del gas producido, la capacidad y número de generadores.

El estudio demostró que la planta tiene capacidad para generar 30 mil millas cúbicas de biogas por año. El costo total del proyecto de cogeneración de 4 MW en las empresas cerveceras es alrededor de US\$ 8 millones en total.

### E. Requerimientos futuros

El siguiente listado muestra información sobre los procesos requeridos para analizar el potencial de producción del biogás proveniente de las aguas residuales.

Información actualizada: Los datos de las plantas de tratamiento deben actualizarse.

Entrada de agua en la planta de tratamiento: El volumen de producción de materia orgánica en el agua tiene que ser medida en cada planta.

Capacidad de la planta: El número total de plantas de tratamiento operadas por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) es de 66. Sin embargo, las capacidades de la mayoría de las plantas son tan pequeñas como de 1m<sup>3</sup>. En la mayoría de las plantas de tratamiento no hay reactores anaeróbicos o reactores UASB para producir biogás.

## 10.3.7.3 Energía de los Desechos sólidos

### A. Generalidades

La generación de energía de los desechos sólidos produce vapor al elevar la temperatura y la presión por el calor generado al incinerar los desechos sólidos. La energía es generada por medio de una turbina de vapor

### B. Ejemplo de proyecto

En el año 2009 en Vietnam se llevo a cabo un estudio conjunto entre NEDO y IAE para la generación de electricidad y la eficiencia energética utilizando desechos industriales. En el estudio, se preparó el diseño conceptual para generar electricidad a partir de los desechos industriales.

#### a. Especificaciones

Capacidad de incineración: 75 ton/día (promedio contenido calórico: 16,000kJ/kg)

Capacidad de generación: 1.2 MW (transmisión básica final)

Operación: 24horas/día x 330 días/año = 7,920 horas/año

Tasa de producción eléctrica:  $1.2 \text{ MW} \times 0.90 \times 24 \text{ hr/día} \div 75 \text{ ton/día} = 345.6 \text{ kWh/ton}$

#### b. Costos estimado del proyecto y eficiencia energética

Costo total del proyecto: aproximadamente US\$21 millones

Eficiencia energética: 8.7%

Costo de generación eléctrica: aproximadamente US\$0.26/kWh

Costos de operación y mantenimiento: aproximadamente US\$416,000/año

#### 10.3.7.4 Consideraciones para la introducción de la Tecnología de Biogás

Se ha estudiado el potencial del Biogás en El Salvador y los resultados se resumen a continuación:

##### A. Resumen del estudio

- a. Relleno Sanitario: Existe un relleno sanitario con sistema de generación de energía de biogás, con una capacidad instalada de 6.3 MW en Nejapa. Existe en la actualidad el potencial para incrementar su capacidad hasta 10 MW y hasta 25 MW en el futuro. La capacidad total de desarrollo es de alrededor de 7.9 MW, excluyendo Nejapa.
- b. Desechos animales: La capacidad estimada de producción de energía usando estiércol de ganado es de alrededor de 84MW en total. En el caso de los desechos de cerdo se estima un aproximado de 2.4 MW y de los desechos de aves de corral se estima de alrededor de 96 MW.
- c. Desechos industriales: Existen algunas industrias que están usando sus desechos para la generación de biogás, tales como los beneficios de café y las cervecerías. Las condiciones actuales del uso del biogás a partir de los recursos en estas industrias fueron estudiadas.
- d. Aguas residuales: Existen 66 plantas de tratamiento administradas por ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados). La producción de biogás a partir de las aguas residuales es analizada.

##### e. Introducción de la tecnología

Los Sistemas de generación eléctrica en pequeña escala han sido introducidos debido a que los recursos de biogás son limitados y están distribuidos por todo el país. En este reporte se explican, los digestores de biogás en pequeña escala, el biogás a partir de aguas residuales y la generación eléctrica a partir de desechos sólidos.

##### B. Consideraciones para el desarrollo futuro

###### a. Actualización de datos de biogás.

Es necesario actualizar la información sobre los recursos del biogás en el país. La información tiene que estar disponible para personas e instituciones interesadas.

###### b. Marco de cooperación

Es necesario promover el desarrollo de capacidades en instituciones como ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados) para incentivar la producción de biogás a partir de aguas residuales. Además, es necesario proveer la información técnica disponible para otras instituciones

públicas o privadas interesadas en esta tecnología.

c. Desarrollo del recurso humano

Existe la posibilidad de introducir sistemas de generación eléctrica en pequeña escala a partir de biogás con los residuos animales en las granjas de Ganado vacuno, porcino y aves de corral. Los Digestores de biogás en pequeña escala ya han sido introducidos en El Salvador. La configuración del sistema de biogás es simple y por lo tanto puede ser fabricado en el país. Es importante la transferencia de tecnología para el diseño, la construcción y la operación de los sistemas de generación de energía a partir de biogás como recurso.