



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO SOLAR
JALPATAGUA Y ANÁLISIS DE SU VIABILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y FINANCIERA
PARA SU IMPLEMENTACIÓN, OPERACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA**

Cristhian Alejandro Cortez Barahona

Asesorado por el Msc. Ing. Luis Arturo Cerna Rich

Guatemala, agosto de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO SOLAR
JALPATAGUA Y ANÁLISIS DE SU VIABILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y FINANCIERA
PARA SU IMPLEMENTACIÓN, OPERACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CRISTHIAN ALEJANDRO CORTEZ BARAHONA
ASESORADO POR EL MSC. ING. LUIS ARTURO CERNA RICH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Jonnathan Sttev Ramírez Castellanos
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO SOLAR
JALPATAGUA Y ANALISIS DE SU VIABILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y FINANCIERA
PARA SU IMPLEMENTACIÓN, OPERACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 9 de junio de 2021.

Cristhian Alejandro Cortez Barahona

Ref. EEPFI-0622-2021
Guatemala, 09 de junio de 2021

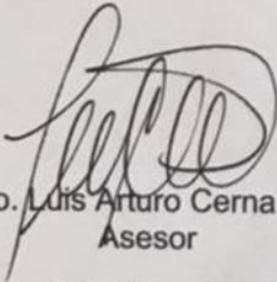
Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

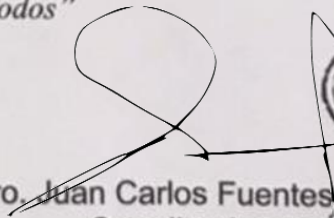
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO "SOLAR JALPATAGUA" Y ANÁLISIS DE SU VIABILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y FINANCIERA PARA SU IMPLEMENTACIÓN, OPERACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA**, presentado por el estudiante **Cristhian Alejandro Cortez Barahona** carné número **201403977**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados.

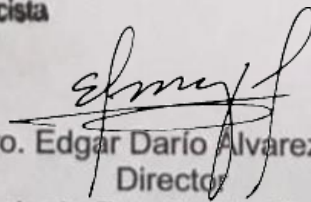
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Luis Arturo Cerna Rich
Asesor

Luis Arturo Cerna Rich
Ing. Mecánico Electricista
Colegiado 6247


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético


Mtro. Edgar Darío Álvarez Cofi
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-017-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO “SOLAR JALPATAGUA” Y ANALISIS DE SU VIABILIDAD TECNICA, AMBIENTAL Y FINANCIERA PARA SU IMPLEMENTACION, OPERACIÓN Y COMERCIALIZACION DE ENERGÍA**, presentado por el estudiante universitario **Cristhian Alejandro Cortez Barahona**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Director

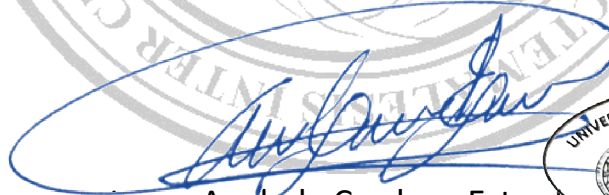
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, junio de 2021

DTG. 366-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO SOLAR JALPATAGUA Y ANÁLISIS DE SU VIABILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y FINANCIERA PARA SU IMPLEMENTACIÓN, OPERACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA**, presentado por el estudiante universitario: **Cristhian Alejandro Cortez Barahona**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, agosto de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Porque ha estado presente en cada momento de mi vida cuidándome y guiándome para lograr mis metas.

Mis padres

Alejandro Salvador Cortez Dávila y Astrid Jackeline Barahona López de Cortez, por el apoyo incondicional que siempre me han dado y el amor con el que lo han hecho.

Mis hermanas

Geraldinn, Marcela y Sofía Cortez por la disponibilidad y el amor que me demostraron cada vez que me ayudaron a prepararme para entregar un proyecto.

Mi abuela

Irma Violeta Dávila Ibarra de Cortez, por haberme acompañado durante toda mi carrera universitaria compartiendo conmigo su sabiduría y motivándome siempre a buscar activamente de Dios.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

A la gloriosa Tricentenario, por ser mi casa de estudios y permitir mi formación académica como profesional, de la cual estoy orgulloso de egresar.

Facultad de Ingeniería

Por todo el conocimiento y sabiduría adquirido en sus aulas durante de mis años de estudio.

**Ambiente y Desarrollo
Consultores**

Por el apoyo que me han dado desde el inicio de mi carrera y la confianza que han tenido en mi hasta el día de hoy.

Mi asesor

Msc. Ing. Luis Arturo Cerna Rich, por compartir su conocimiento y experiencia para la elaboración de este diseño de investigación.

Mi novia

Gabriela Samayoa porque me motivó a continuar con mi proceso de graduación y por haberse desvelado estudiando conmigo todos los días que tuve para prepararme para presentar mi examen privado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Energías renovables.....	21
7.1.1. Energía de la biomasa.....	22
7.1.2. Energía eólica.....	22
7.1.3. Energía geotérmica	24
7.1.4. Energía hidráulica.....	25

7.1.5.	Energía solar	26
7.2.	Mercado eléctrico de Guatemala	27
7.3.	Regulación del subsector eléctrico de Guatemala relacionada a la generación con fuentes de energía renovables.....	31
7.3.1.	Ley General de Electricidad	31
7.3.2.	Reglamento de la Ley General de Electricidad	32
7.3.3.	Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista.....	33
7.3.4.	Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.....	33
7.3.5.	Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.....	34
7.3.6.	Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía	35
7.4.	Generación distribuida renovable.....	35
7.4.1.	Procedimiento para el dictamen de capacidad y conexión	36
7.4.2.	Solicitud del dictamen de capacidad y conexión	37
7.4.3.	Dictamen de capacidad y conexión.....	37
7.5.	Condiciones necesarias para el desarrollo de un parque fotovoltaico	38
7.5.1.	Potencial de radiación solar	38
7.5.2.	Generación de energía solar fotovoltaica	40
7.6.	Impactos ambientales y sociales de la implementación de parques solares.....	40
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45

9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1.	Características del estudio	47
9.1.1.	Diseño	47
9.1.2.	Enfoque	47
9.1.3.	Alcance.....	48
9.2.	Unidad de análisis	48
9.3.	Fases del estudio	49
9.3.1.	Primera fase	49
9.3.2.	Segunda fase.....	49
9.3.3.	Tercera fase.....	50
9.3.4.	Metodología específica para determinar la viabilidad técnica del proyecto	50
9.3.4.1.	Diseño espacial del proyecto.....	50
9.3.4.2.	Cálculo de potencia y generación de energía del proyecto	51
9.3.4.3.	Propuesta de obras civiles.....	52
9.3.4.4.	Especificaciones técnicas del proyecto.....	52
9.3.5.	Metodología específica para determinar la viabilidad ambiental del proyecto.....	54
9.3.5.1.	Actividades del proyecto para evaluación ambiental	54
9.3.5.2.	Factores ambientales para evaluación ambiental	55
9.3.5.3.	Aspectos metodológicos.....	56
9.3.6.	Metodología específica para determinar la viabilidad financiera del proyecto.....	59
9.3.6.1.	Presupuesto.....	60
9.3.6.2.	Estudio de producción anual.....	60

9.3.6.3.	Evaluación financiera	60
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	63
11.	CRONOGRAMA	65
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	67
12.1.	Recursos humanos	67
12.2.	Recursos tecnológicos	67
13.	REFERENCIAS	69
14.	ANEXOS	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Índices de cobertura eléctrica de Guatemala en 2016	5
2.	Consumo de energía eléctrica (1986-2026)	6
3.	Proyección del consumo de energía eléctrica (2000-2050)	7
4.	Árbol del problema	11
5.	Mapa de potencial de energía solar fotovoltaica	15
6.	Funcionamiento del subsector eléctrico en Guatemala.....	29

TABLAS

I.	Ventajas y desventajas de la energía de la biomasa	22
II.	Ventajas y desventajas de la energía eólica	23
III.	Ventajas y desventajas de la energía geotérmica	25
IV.	Ventajas y desventajas de la energía hidráulica	26
V.	Ventajas y desventajas de la energía solar	27
VI.	Clasificación de impactos ambientales.....	42
VII.	Variables	48
VIII.	Criterios y valores para evaluación ambiental.....	58
IX.	Cronograma de ejecución	65
X.	Recursos financieros.....	67

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
USD	Dólar estadounidense
GWh	Gigavatio-hora
kWh	Kilovatio-hora
MW	Megavatio
MW_{AC}	Megavatio de corriente alterna
%	Porcentaje
Q	Quetzales
TWh	Teravatio-hora

GLOSARIO

Aliviaderos	Estructura hidráulica diseñada para promover el paso libre o controlado del agua en la escorrentía superficial. Los aliviaderos se utilizan exclusivamente para drenaje y no para medición.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
Canal de descarga	Canales que drenan agua de ruedas hidráulicas o turbinas.
Centrales hidroeléctricas	Dispositivo que utiliza energía hidráulica para generar energía eléctrica. Son el resultado del desarrollo actual de antiguos molinos hidráulicos que utilizan los ríos para generar energía.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
CVG	Costo Variable de Generación.
DF	Demanda Firme.
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental.

Embalse	La acumulación de agua en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente el curso de este.
Energía fotovoltaica	Se obtiene convirtiendo la luz solar en electricidad mediante tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Es una energía renovable, inagotable y no contaminante que se puede producir en instalaciones que van desde pequeños generadores de autoconsumo hasta grandes centrales fotovoltaicas. Descubra cómo funcionan estos enormes campos solares.
Energía mecánica	Debido al origen mecánico, como su posición o velocidad, los objetos tienen la capacidad de producir trabajo mecánico.
Energías renovables	La energía que se obtiene de recursos naturales casi inagotables. Se debe a que contienen una gran cantidad de energía o bien a que se pueden regenerar por medios naturales.
GA	Gestión Ambiental.
GDRs	Generadores Distribuidos Renovables.
INCYT	Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología.

LGE	Ley General de Electricidad.
Matriz de RIAM	Esta técnica permite una visión global de los problemas ambientales, ya que se incluyen todas las acciones y factores ambientales involucrados en la ejecución de un proyecto; solo se consideran las interacciones relevantes.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
MER	Mercado Eléctrico Regional.
Mercado Mayorista	Responsable de planificar cada año la forma de satisfacer las necesidades de potencia y energía del sistema, y optimizar el uso de la energía disponible. Revisa y ajusta el plan, anual, semanal y diariamente.
NTGDR	Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía.
OFE	Oferta Firme Eficiente.
PIB	Producto Interno Bruto.
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Presa	Barrera hecha de piedra, hormigón o materiales sueltos, generalmente construida en un recinto o cañón sobre un río o arroyo.
RLGE	Reglamento de la Ley General de Electricidad.
RRO	Reserva Rodante Operativa.
Sala de máquinas	Un espacio que alberga plantas de energía, generadores, calderas, compresores, bombas de lubricación, y cualquier equipo que se necesario para el funcionamiento normal de algún sistema.
SNI	Sistema Nacional Interconectado.
Tubería forzada	Es aquella que trabaja a sección llena y es sometida a energías potenciales, cinéticas y presión.
Turbina	Dispositivo que genera energía mecánica rotacional a partir de la energía de una corriente de fluido.
URL	Universidad Rafael Landívar.
VPN	Valor presente neto.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación consiste en determinar la viabilidad técnica, ambiental y financiera del proyecto Solar Jalpatagua.

El proyecto consiste en realizar el diseño de un parque fotovoltaico de 3MW que se pretende construir en el kilómetro 108.5 del municipio de Jalpatagua, departamento de Jutiapa, partiendo de que la ubicación geográfica del área donde se pretende desarrollar el proyecto se encuentra en una de las zonas con mayor potencial de radiación solar de Guatemala se realizara una estimación de la energía que podría generar el parque fotovoltaico y el impacto que la inyección de esta energía tenga en la red de distribución a la que se pretende conectar el parque solar. Utilizando el método matricial modificado de Gómez-Orea que considera variables de carácter, impacto, intensidad, extensión, persistencia y reversibilidad del efecto se identificaran los posibles impactos ambientales que el desarrollo del proyecto pueda generar, así como las medidas de prevención y mitigación que deban implementarse para en las fases de construcción, operación y abandono del proyecto.

Finalmente utilizando la base de datos del precio de oportunidad de la Energía del Administrador del Mercado Mayorista se realizará una proyección del precio de venta de la energía que se genere en el parque fotovoltaico solar Jalpatagua para determinar la rentabilidad de la implementación del proyecto.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala por su ubicación geográfica es un país que tiene gran potencial para el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica utilizando la diversidad de recursos renovables que se encuentran en el país, para el desarrollo de este tipo de proyectos se han establecido políticas estatales que declaran de interés y urgencia nacional promover e incentivar las centrales de generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable.

El sol puede ser utilizado como fuente de energía inagotable de forma directa ya que puede aprovecharse a través de procesos químicos para realizar la fotosíntesis, transformar la luz en calor o transformarla en electricidad, además la energía solar puede aprovecharse de manera indirecta utilizando las diferencias de temperatura en los océanos para aprovechar los vientos que esto genera.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal describir el proceso del desarrollo de un parque fotovoltaico desde su concepción y determinar la viabilidad técnica, ambiental y financiera del proyecto para poder determinar la factibilidad de implementar el parque fotovoltaico.

El proyecto que se analiza es denominado Solar Jalpatagua, se encuentra ubicado en el kilómetro 108.5 del municipio de Jalpatagua del departamento de Jutiapa y para el desarrollo de este se parte de que el área determinada para su implementación, la cuál es de 2.11 hectáreas, se encuentra ubicada geográficamente en uno de los lugares con mayor potencial de radiación solar para la generación de energía eléctrica de Guatemala.

Para alcanzar el objetivo principal se desarrollará el diseño del proyecto para determinar la viabilidad técnica, el cual está compuesto por la distribución espacial de los paneles, diagrama unifilar del proyecto, determinación del punto de interconexión, plano de la línea de conexión, cálculos de potencia y energía, entre otros; la viabilidad ambiental será determinada utilizando la metodología de Leopold, aplicando la matriz de RIAM para determinar los posibles impactos ambientales a partir de la relación de las actividades del proyecto con los factores ambientales que pudieran ser afectados y finalmente la viabilidad financiera será determinada por el análisis de indicadores financieros que se obtendrán de un flujo financiero desarrollado a partir de cálculos del monto de la inversión, costo de operación y la proyección de los precios de venta de la energía.

2. ANTECEDENTES

En términos generales Guatemala es un país con un territorio de 108 888 kilómetros cuadrados, de acuerdo con el Censo de población y vivienda la población es de 14.9 millones de habitantes y sus principales actividades productivas están relacionadas a la agricultura y ganadería.

La agricultura representa para el país por lo menos dos tercios de las exportaciones y se considera que provee por lo menos el 50 % de los empleos, siendo relevante para el PIB.

En términos generales, el uso de la tierra se configura en un sector de cultivos extensivos siendo los principales la caña de azúcar, palma de aceite, hule, banano y café, y un sector de medianos y pequeños productores agrícolas entre los que se encuentran el maíz, frijol, cacao, cardamomo, hortalizas, chile, ajo, arroz, ajonjolí, cebolla, cítricos, papa, repollo, soya, tomate y una gran variedad de cultivos.

De acuerdo con PNUD (2015), en su informe nacional de desarrollo humano menciona que el 92 % de los productores agrícolas clasificados como de infra subsistencia y subsistencia, ocupan el 21.9 % de la superficie de las fincas y el 6 % de los productores excedentarios trabajan el 12.7 %, mientras que el 2 % de los productores comerciales (mercado internacional) ocupan el 65.4 %. El informe indica la existencia de una porción de la población con desnutrición y que esta es una variable que está relacionada a la planificación y distribución de la tierra. (p. 179)

Guatemala está considerada por sus características geográficas, demográficas, culturales y socioeconómicas, un país multiétnico, multilingüe y pluricultural, considerando además por el PNUD un país megadiverso.

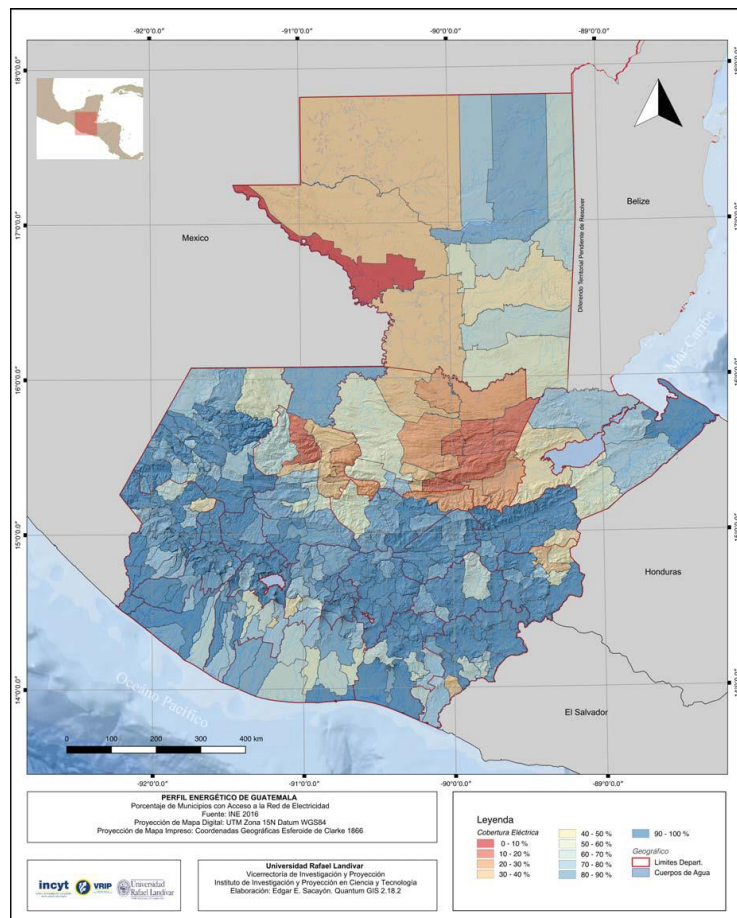
De acuerdo con la Constitución Política de la República de Guatemala, establece que “El estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico, que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico” (Const., 1993, art. 97). Y se declara de urgencia nacional la electrificación del país, para lo cual el Estado deberá adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente y crear las condiciones adecuadas para promover la inversión de capitales nacionales y extranjeros.

Por otra parte, la Ley del Organismo Ejecutivo decretado por el Congreso de la República en el artículo 34 establece que corresponde al MEM el estudio y fomento del uso de fuentes nuevas y renovables de energía, así como la promoción del aprovechamiento racional y el estímulo del desarrollo energético en sus diferentes formas y tipos, de tal manera que se cuente con una política nacional que tienda a lograr la autosuficiencia energética del país.

El marco jurídico definió al MEM como autoridad máxima, ente rector y ente responsable de la formulación y establecimiento de políticas del sector energético del país, la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable decretado por el Congreso de la República de Guatemala declara de urgencia e interés nacional el desarrollo de los recursos energéticos renovables y establece que quienes realicen proyectos de energía con recursos energéticos renovables gozarán de incentivos fiscales, económicos y administrativos para el desarrollo racional de los mismos.

Guatemala cuenta con una amplia biodiversidad de recursos naturales utilizables para la generación de energía eléctrica, entre los cuales se encuentran el potencial hidrocarburífero, hídrico, geotérmico, solar y eólico. De acuerdo con el INCYT URL (2018), “en 2016, los índices de electrificación llegaron al 90 % del total de municipios del país” (p. 59). Lo cual indica que aún existe una brecha en el índice de electrificación a nivel nacional (figura 1).

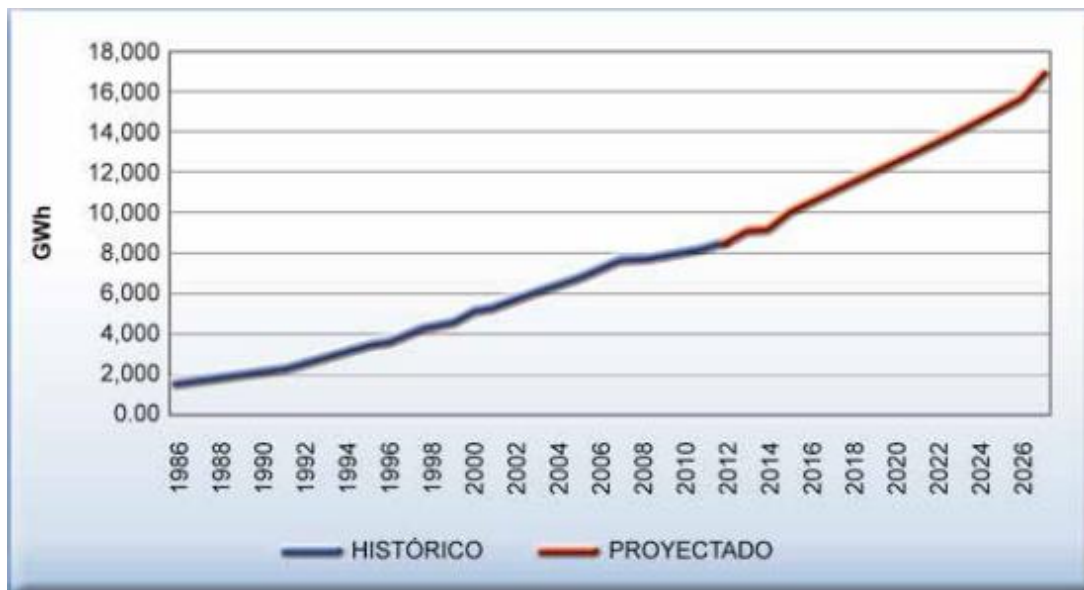
Figura 1. **Índices de cobertura eléctrica de Guatemala en 2016**



Fuente: INCYT URL. *Perfil energético de Guatemala*. Consultado el 18 de agosto de 2020. Recuperado de <http://docplayer.es/127521965-Perfil-energetico-de-guatemala-bases-para-el-entendimiento-del-estado-actual-y-tendencias-de-la-energia.html>.

De acuerdo con el MEM (2013), en su política energética 2013-2027 menciona que “en los últimos 25 años, la demanda de energía eléctrica ha presentado un crecimiento promedio sostenido de un 7 % anual” (p. 22). Como puede observarse en la estimación del consumo de energía para 2020 es de aproximadamente 12 000 GWh.

Figura 2. **Consumo de energía eléctrica (1986-2026)**



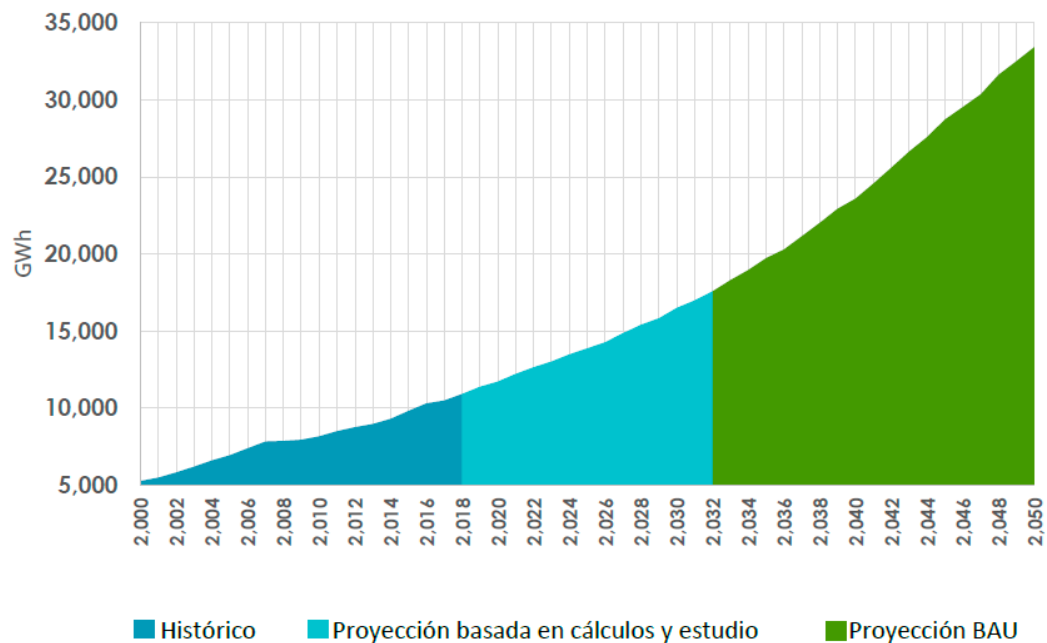
Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Política Energética 2013 – 2027*. Consultado el 18 de agosto de 2020. Recuperado de <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2013/02/PE2013-2027.pdf>.

De acuerdo con el MEM en la Política Energética 2019 - 2050 se estima que para el año 2050 el consumo de energía eléctrica supere los 30 000 GWh como se muestra en la figura 3.

El potencial de energía solar fotovoltaica para Guatemala se encuentra en un promedio de 5.3 kWh/m²/día, lo cual está considerado como un valor alto en

relación con otros países que ya han desarrollado esta fuente de generación. De acuerdo con INCYT URL (2018) “el potencial de generación con energía solar no ha sido estimado, pero podría superar los 10 GWh anuales” (p. 109).

Figura 3. **Proyección del consumo de energía eléctrica (2000-2050)**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Política Energética 2019 – 2050*. Consultado el 18 de agosto de 2020. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Pol%C3%ADtica-Energ%C3%A9tica-2019-2050.pdf>.

Guatemala debido a su posicionamiento geográfico es un país con un potencial solar que de acuerdo con el Plan Nacional de Energía 2017-2032 es de alrededor de 200 000 TWh, el valor promedio de radiación solar global para todo el país es de 5.3 kWh/m² al día, lo cual se considera mayor que el de algunos países que cuentan con programas exitosos de aprovechamiento de la energía solar.

Actualmente en Guatemala existen políticas y normativas enfocadas a motivar las inversiones en proyectos para la generación de energía fotovoltaica, como parte del impulso y promoción de las energías renovables, lo cual se ve reflejado en la implementación de diferentes parques fotovoltaicos que se ha dado en los últimos diez años.

De acuerdo con el informe estadístico presentado por el Administrador del Mercado Mayorista la participación de la generación fotovoltaica fue de 233.41 GWh, lo cual representa un 1.75 % de la matriz energética de Guatemala, que comparado con los 149.26 GWh generados en 2015 indica un aumento del 56 % de generación fotovoltaica los últimos 5 años.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Berrío y Zuluaga (2014), explican que a nivel global la demanda de energía para satisfacer las diferentes necesidades de las actividades humanas en el ámbito personal, comercial e industrial, entre otras, aumenta constantemente; dicha energía es generada principalmente con recursos no renovables como el petróleo, carbón, gas natural y uranio, lo cual implica el agotamiento de dichos recursos.

Dada la creciente demanda de energía y la problemática relacionada a lo escaso que pueden llegar a ser los recursos utilizados para su generación, surgen como alternativas sostenibles, las energías renovables, las cuales hacen uso de los recursos naturales, sin agotarlos, con la finalidad de garantizar la provisión de estos, para las futuras generaciones.

Entre las energías consideradas como renovables y con mayor desarrollo en Guatemala, se encuentran la hidroeléctrica, geotérmica y biomasa, considerándose, que el desarrollo de proyectos solares y eólicos es incipiente, pero en auge.

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (2018) en Guatemala la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del recurso solar en el Sistema Nacional Interconectado -S.N.I.-, dio inicio con la incorporación de la central solar fotovoltaica con una potencia efectiva de 5.0 MW, el 1 de mayo de 2014. (p. 4)

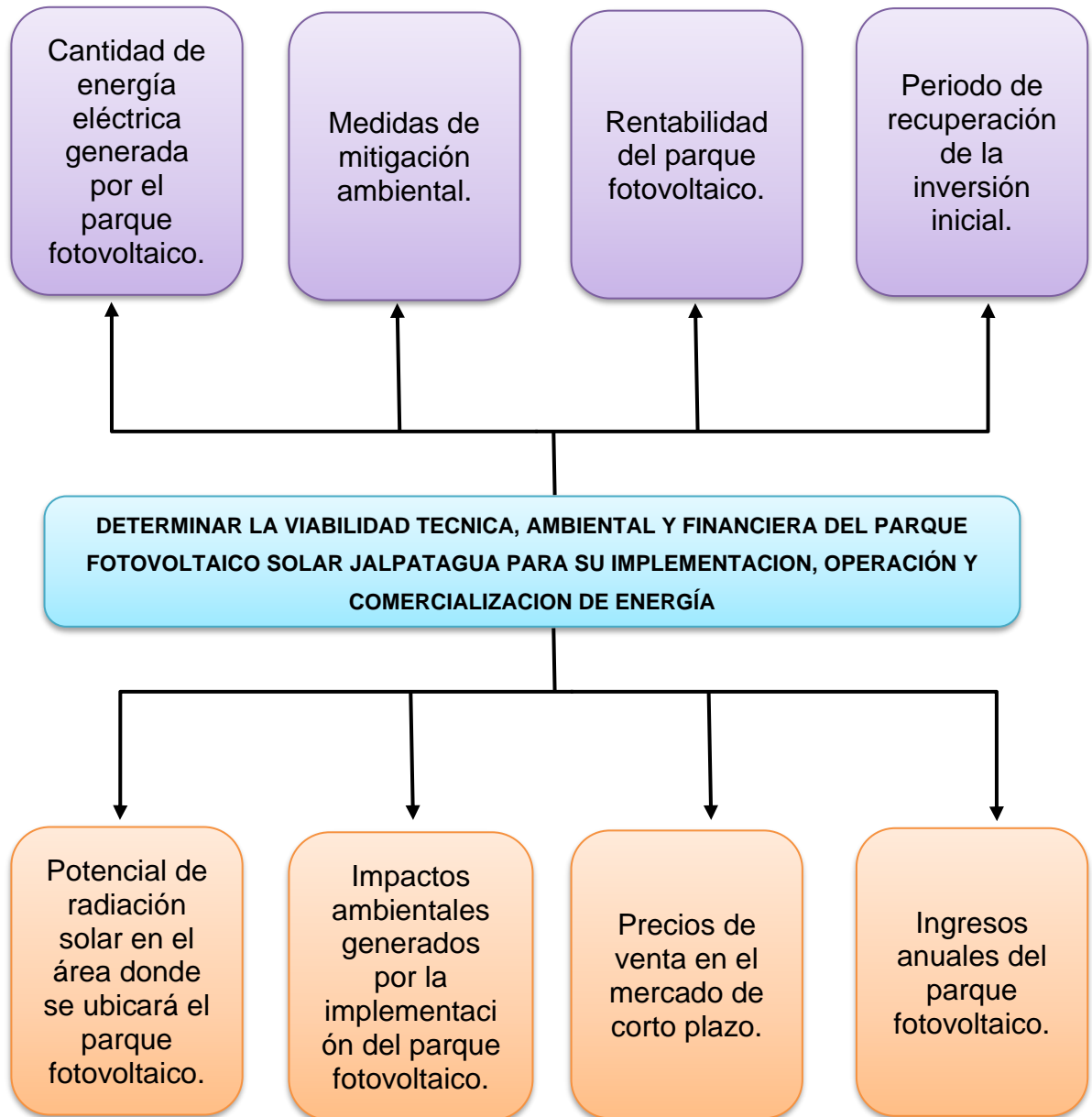
Se identifica como problema a solucionar la determinación de la viabilidad técnica, ambiental y financiera del proyecto Solar Jalpatagua, a partir de su diseño; dado que a pesar de que existe potencial de radiación solar para la generación de energía fotovoltaica en el sitio donde se ubicará el proyecto, no se puede asumir que el proyecto será viable técnicamente.

Esto se debe a que se desconoce qué área del predio de 3.5 hectáreas será útil para destinarla para la instalación de paneles solares, asimismo, se desconoce la ubicación del punto de conexión a la red eléctrica y los datos específicos de radiación potencial para el terreno del proyecto, entre otros datos.

En cuanto a la viabilidad ambiental se considera importante la identificación de los posibles impactos que las actividades del proyecto pudieran generar sobre los factores ambientales (biótico, físico y social) presentes en el área del proyecto y su área de influencia.

Finalmente, la viabilidad financiera dependerá de la eficiencia de los paneles solares para la generación de energía, en función de su capacidad, los costos del equipo para la generación, costos de construcción e implementación de estructuras e infraestructuras y costos de instalaciones eléctricas, entre otros, así como, de las proyecciones de precios de la venta de energía y del mercado en el que el proyecto participará, entre otros aspectos.

Figura 4. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Es viable técnica, ambiental y financieramente la implementación y operación del parque fotovoltaico solar Jalpatagua? para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Es viable técnicamente la implementación del parque fotovoltaico solar Jalpatagua para la generación de energía eléctrica [MWh], en función del potencial de radiación solar [kWh/m^2 /día] en el área destinada para la implementación del proyecto?
- ¿Es posible determinar la viabilidad ambiental del parque fotovoltaico solar Jalpatagua planteando medidas de mitigación para los posibles impactos ambientales que podrían generarse como resultado de su implementación?
- ¿Cuál será la rentabilidad anual del parque fotovoltaico solar Jalpatagua dada la cantidad de energía a generar y los precios de venta proyectados en el mercado de último recurso?
- ¿Cuál será el periodo de recuperación de la inversión del proyecto Solar Jalpatagua en función de su rentabilidad anual?

Se plantea realizar el diseño del parque fotovoltaico solar Jalpatagua que se desarrollará en el departamento de Jutiapa, debido a que es uno de los departamentos que presentan mayor potencial para la generación de este tipo de energía renovable.

La instalación de parques solares a campo abierto, generalmente implican la sustitución del uso de la tierra en áreas rurales del país, ya que generalmente

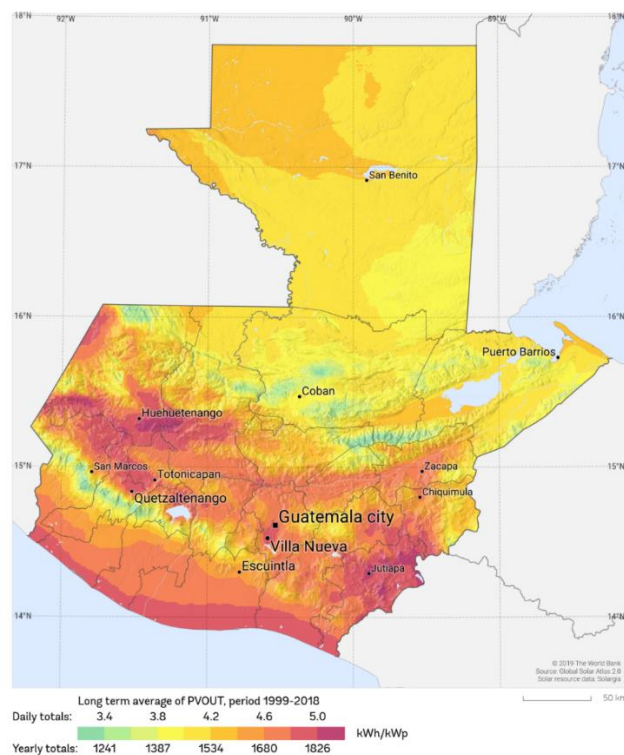
constituyen áreas que son utilizadas para actividades agropecuarias (agricultura y ganadería), lo cual da importancia a la evaluación de la viabilidad ambiental del desarrollo de este tipo de proyectos.

En el área de estudio se identifican algunos proyectos que ya iniciaron operaciones, sumando actualmente 3MW de capacidad, y se identifican algunos proyectos que se encuentran en procesos de elaboración de estudios de factibilidad y de evaluación de impacto ambiental, estimándose que, en los próximos cinco años, podría incrementarse la potencia instalada en el departamento de Jutiapa a 100 MW.

4. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con el Banco Mundial (2019), el departamento de Jutiapa se encuentra en la zona de mayor potencial para la generación de energía solar fotovoltaica de Guatemala, lo cual es de interés para el desarrollo de inversiones enfocadas hacia la implementación de proyectos de generación de dicha energía (ver figura 5).

Figura 5. **Mapa de potencial de energía solar fotovoltaica**



Fuente: Banco Mundial. *The World Bank Annual Report 2019: Ending Poverty, Investing in Opportunity*. Consultado el 19 de agosto de 2020. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10986/32333>.

Dadas las condiciones y dinámicas socioeconómicas de Guatemala el desarrollo de proyectos de generación de energía constituye un reto que debe afrontarse de forma estratégica promoviendo el uso de tecnologías para la eficiencia y el ahorro energético, priorizando el uso de fuentes de energía renovable de manera sostenible para diversificar la matriz energética.

El trabajo de investigación se enfocará en determinar la viabilidad técnica, ambiental y financiera del parque fotovoltaico solar Jalpatagua.

Se parte del supuesto de investigación, que en el área donde se plantea la implementación del parque fotovoltaico solar Jalpatagua existe potencial para la generación de este tipo de energía.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), la importancia potencial de la investigación debe cumplir con los criterios de a) relevancia social, ya que la generación de energía renovable es de interés social y se enfoca en pro del bien común; b) implicaciones prácticas, ya que contribuirá a la toma de decisiones de las partes involucradas en el desarrollo e implementación del proyecto; c) valor teórico, ya que con los resultados, se tendrá el conocimiento de la incidencia que podría tener la implementación del parque solar, en el áreas donde se ubicará.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar la viabilidad técnica, ambiental y financiera de la implementación del parque fotovoltaico de 3MW_{AC} Solar Jalpatagua ubicado en el kilómetro 108.5 del municipio de Jalpatagua, departamento de Jutiapa.

5.2. Específicos

- Establecer la viabilidad técnica del parque fotovoltaico solar Jalpatagua realizando el diseño del proyecto, para estimar la energía a generar anualmente [GWh] en función del potencial de radiación solar [kWh/m²/día] en el área destinada para la implementación del proyecto.
- Establecer la viabilidad ambiental de la implementación del parque fotovoltaico solar Jalpatagua para identificar los posibles impactos ambientales del proyecto y proponer las principales medidas de mitigación ambiental.
- Determinar la rentabilidad anual del parque fotovoltaico solar Jalpatagua en función de la proyección del precio de venta de la energía [USD/MWh] en el mercado de último recurso.
- Identificar el periodo de recuperación del monto de la inversión para la implementación del proyecto, en función de la rentabilidad de la venta proyectada de la energía.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El esquema de la solución que se plantea al problema identificado se estructura inicialmente en el diseño de ingeniería, para la determinación de la viabilidad técnica, ambiental y financiera de la implementación, operación y venta de energía del parque fotovoltaico solar Jalpatagua.

El proceso que se plantea inicia con el diseño del proyecto fotovoltaico, para luego realizar las correspondientes evaluaciones con la finalidad de determinar si el proyecto es viable, tanto en la generación y venta de energía, como en la dimensión ambiental.

La originalidad de la investigación planteada radica en que se plantea para el desarrollo de un proyecto en particular, en un área específica.

La pertinencia y validez técnica que la investigación tiene implícita lo constituye por una parte el uso de metodologías de sistemas de información geográfica y fuentes bibliográficas para el diseño del proyecto, como para la evaluación de su viabilidad técnica, ambiental y financiera.

La investigación se enmarca en la línea de investigación del diseño de proyectos eléctricos, con enfoque a la identificación de aspectos técnicos, financieros e impactos ambientales en la ingeniería de proyectos de generación eléctrica.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Energías renovables

Para el Ministerio de Energía y Minas (2018), da a conocer que Guatemala cuenta con diversidad de recursos renovables de energía, los cuales hasta la fecha han sido poco aprovechados. El aprovechamiento de las energías renovables tiene la ventaja que mantiene un precio de la energía eléctrica más competitivo y estable a largo plazo, debido a que se disminuye la dependencia de los combustibles fósiles.

La ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable decretado por el Congreso de la República de Guatemala describe los recursos energéticos renovables como aquellos recursos que tienen la característica común de renovarse por naturaleza o ser inagotables y de acuerdo con la CNEE (2014), las “tecnologías con recursos renovables son aquellas que para la generación de energía eléctrica” (p. 7). Utilizando diferentes fuentes entre las cuales se pueden mencionar:

- Biomasa
- Eólica
- Geotérmica
- Hidráulica
- Solar
- Otras: determinadas posteriormente por el MEM.

7.1.1. Energía de la biomasa

La energía de la biomasa según la Dirección General de Energía del MEM, es aquella que se produce a partir de residuos orgánicos ya sea de origen animal o vegetal por ejemplo el bagazo de caña de azúcar, maíz, residuos de café, etc. Dentro de la biomasa también se encuentran los biocombustibles, los cuales se obtienen de reacciones químicas de residuos animales, vegetales y fermentaciones de subproductos vegetales.

De acuerdo con el MEM, el uso de la energía de la biomasa tiene ventajas y desventajas tal como se muestra en la tabla I.

Tabla I. **Ventajas y desventajas de la energía de la biomasa**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Reduce la dependencia de los derivados del petróleo.• Ahorra divisas.• Reduce la emisión de CO₂.• Reduce la contaminación ambiental.	<ul style="list-style-type: none">• Para su uso se tienen grandes extensiones de cultivos que pueden desplazar cultivos de consumo humano.• Al considerar agregados ambientales a su precio, este podría ser mayor a los derivados del petróleo.

Fuente: elaboración propia.

7.1.2. Energía eólica

La energía eólica según la Dirección General de Energía del MEM, es la energía producida por el viento, es considerada una forma indirecta de la energía solar ya que al producirse una diferencia en el calentamiento de las masas de

aire por el sol, se crean zonas con diferentes presiones atmosféricas por las distintas temperaturas del aire, el efecto de esta desigualdad produce un movimiento de las masas de aire que fluye desde las zonas de alta presión hasta las zonas que tienen una presión más baja, esto da origen a los vientos.

La energía cinética tiene asociado el movimiento de una masa que puede transformarse en energía aprovechable, los aerogeneradores son las máquinas capaces de convertir el viento en energía y están compuestos por:

- Sistema de captación (rotor)
- Soporte (torre)
- Sistema de orientación de las palas del rotor
- Sistema de regulación
- Sistema de transmisión
- Sistema de almacenamiento

De acuerdo con el MEM, el uso de la energía eólica tiene ventajas y desventajas tal como se muestra en la tabla II.

Tabla II. **Ventajas y desventajas de la energía eólica**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Evita la importación de carbón, petróleo y materiales radiactivos. • Evita la lluvia ácida y el efecto invernadero. • Está considerada de bajo costo en relación con otras fuentes de generación. • No produce residuos. • La instalación es sencilla. 	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos sobre la fauna. • Impactos sobre la flora. • Impacto visual. • Ruido a corta distancia.

Continuación tabla II.

-
- No depende del cambio del mercado internacional.
 - Los espacios ocupados permiten actividades agropecuarias.
-

Fuente: elaboración propia.

7.1.3. Energía geotérmica

La energía geotérmica según MEM (s.f.) se refiere a la energía que se encuentra en el interior de la tierra en forma de calor, consiste en la formación de reservorios de rocas porosas y permeables, por las cuales circula agua caliente o vapor, esto se da como resultado de la desintegración de elementos radiactivos y el calor permanente que se originó en los primeros momentos de formación del planeta.

El agua subterránea se filtra profundamente, es calentada por el magma expandiéndose y ascendiendo a la superficie a altas temperaturas o transformada en vapor, esta energía se manifiesta por medio de procesos geológicos como volcanes en sus fases póstumas, los géiseres que expulsan agua caliente y las fuentes termales, este recurso se encuentra en la cercanía de lugares donde se detectan actividades volcánicas o movimientos de placas tectónicas.

La conversión de la energía geotérmica en electricidad consiste en la utilización de un vapor y agua caliente, que pasa a través directa o indirecta en

un ciclo binario, de una turbina que está conectada a un generador, produciendo electricidad.

De acuerdo con el MEM, el uso de la energía geotérmica tiene ventajas y desventajas tal como se muestra en la tabla III.

Tabla III. **Ventajas y desventajas de la energía geotérmica**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Disminuye la dependencia energética del exterior.• La producción de residuos es mínima.• Los residuos generados ocasionan menores impactos ambientales que los generados por el petróleo o carbón.	<ul style="list-style-type: none">• Emisión de ácido sulfhídrico.• Emisión de CO₂.• Contaminación de aguas cercanas.• Contaminación térmica.• Deterioro del paisaje.

Fuente: elaboración propia.

7.1.4. Energía hidráulica

La energía hidráulica es la energía obtenida del agua en movimiento, se genera aprovechando la energía potencial que tiene una corriente de agua por diferencia de alturas, que debido a la gravedad hacer que fluya de un terreno más alto a uno más bajo, la potencia y la energía disponible de un río está en función directa de la diferencia de altura y del caudal que se utilice (MEM, s. f.).

De esta forma la energía hidráulica se transforma en mecánica por medio de una turbina, la fuerza del agua (energía mecánica) al mover las aspas de una turbina se transforma en energía eléctrica. Las presas hidráulicas se destinan a la producción de energía eléctrica o energía mecánica.

Las instalaciones para aprovechar el potencial hídrico se denominan centrales hidroeléctricas y cuentan con las siguientes partes:

- Embalse
- Presa
- Aliviaderos
- Tubería forzada
- Canal de descarga
- Sala de máquinas
- Turbinas

De acuerdo con el MEM, el uso de la energía hidráulica tiene ventajas y desventajas tal como se muestra en la tabla IV.

Tabla IV. **Ventajas y desventajas de la energía hidráulica**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• No es contaminante.	<ul style="list-style-type: none">• La construcción de la infraestructura es costosa.• Depende de factores climáticos.• Puede inundar valles.

Fuente: elaboración propia.

7.1.5. Energía solar

La energía solar según la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas (s.f.) es la energía que proviene del aprovechamiento directo de la radiación del sol que a través de su radiación produce calor e iluminación, el calor puede captarse por medio de colectores térmicos y la luz a través de paneles fotovoltaicos. Las aplicaciones más conocidas son para paneles solares

que captan la energía del sol con una superficie oscura y se utiliza para calentar agua, para generar vapor que luego de un proceso produce electricidad, transforma la energía solar en energía eléctrica a través de celdas fotovoltaicas.

De acuerdo con el MEM, el uso de la energía solar tiene ventajas y desventajas tal como se muestra en la tabla V.

Tabla V. **Ventajas y desventajas de la energía solar**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Es una fuente de energía inagotable. • Escaso impacto ambiental. • No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente. • Costos muy reducidos en operación. • Mantenimiento sencillo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algunos paneles solares contienen agentes químicos peligrosos. • Impacto visual negativo. • Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles.

Fuente: elaboración propia.

7.2. Mercado eléctrico de Guatemala

El mercado eléctrico guatemalteco está compuesto por distintos agentes y el Reglamento de la Ley General de Electricidad elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, identifica a los agentes del mercado eléctrico de Guatemala como generadores, distribuidores, transportistas y comercializadores.

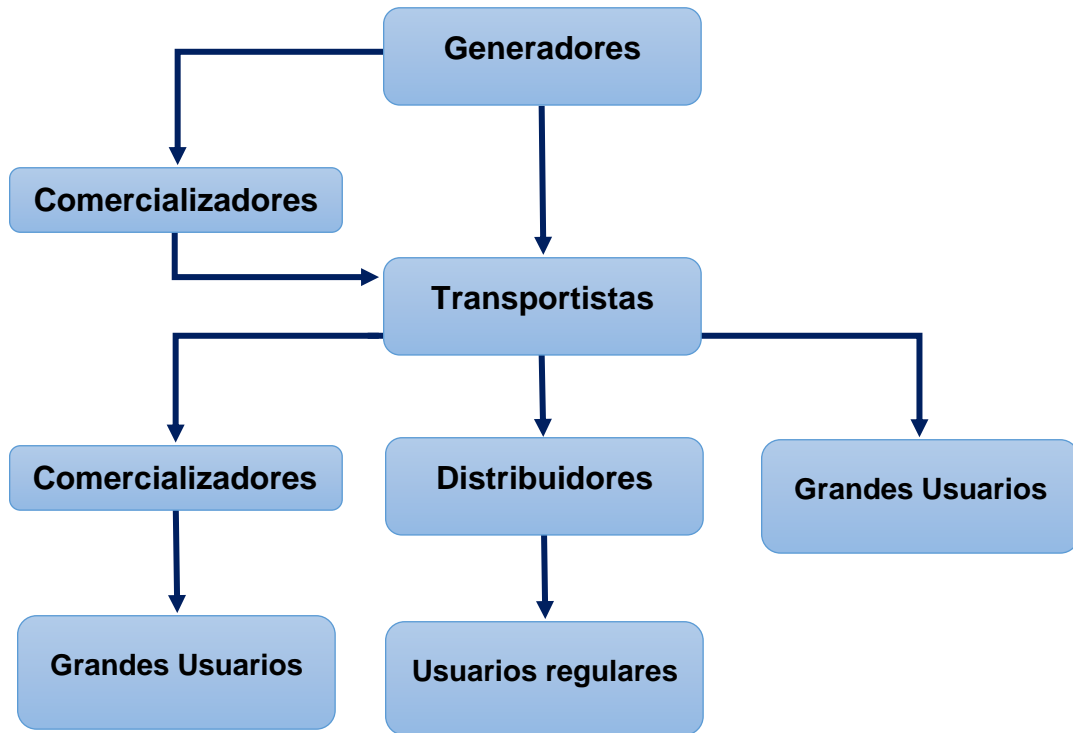
De acuerdo con el administrador del mercado mayorista, en Guatemala desde 1996 las actividades del subsector de la energía eléctrica fueron separadas por lo que el mercado eléctrico funciona como un mercado libre en el cual está abierta la competencia de generación y comercialización de energía a

diferencia de la transmisión y la distribución que funcionan como actividades reguladas en las cuales pueden participar tanto empresas privadas como públicas que mediante licitaciones públicas pueden prestar el servicio.

El mercado eléctrico guatemalteco está estructurado jerárquicamente por instituciones públicas y privadas, dentro de las cuales se encuentra el MEM con mayor jerarquía y la función de dictar Políticas Energéticas, Planes de Expansión de Generación y Transmisión, entre otros, seguido de la CNEE que está encargada de la regulación y el funcionamiento del mercado eléctrico de Guatemala, específicamente de la transmisión y distribución, el AMM es una empresa privada sin fines de lucro que está a cargo de operar el sistema eléctrico de Guatemala y liquidar transacciones realizadas en el mercado, además de proporcionar un espacio en el cual se reúnen los Agentes del Mercado para realizar operaciones de compra-venta de energía eléctrica.

En la figura 6, se muestra el funcionamiento del subsector eléctrico en Guatemala.

Figura 6. **Funcionamiento del subsector eléctrico en Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

En el mercado eléctrico existen también participantes consumidores que tienen una demanda mayor a 100 kW, estos pueden adquirir la calidad de Grandes Usuarios, esto les da la posibilidad de comprar la energía necesaria para satisfacer su demanda directamente de los comercializadores, de la misma forma existen agentes denominados GDR, estos son agentes generadores que tienen una capacidad instalada menor a 5 MW, estos agentes se conectan a las redes de distribución y tienen la posibilidad de hacer transacciones en el Mercado Mayorista.

Según el AMM (2020), menciona en el informe estadístico que Guatemala cuenta con 61 generadores, 13 transportistas, 21 comercializadores, 3 distribuidores, 62 GDR y 1164 Grandes Usuarios.

La asignación de los productos que se transan en el mercado eléctrico guatemalteco se realiza de acuerdo con el CVG el cual es establecido por las centrales generadoras que se encuentran conectadas al SNI, al ser un mercado de costos para su correcto funcionamiento se establecen las siguientes premisas:

- Para los participantes consumidores es obligatorio contratar DF y debe ser cubierta con OFE, ambas deben ser determinadas por el AMM.
- Se programa diariamente el mercado de oportunidad de la energía.
- Los servicios de transmisión se liquidan conforme a los acuerdos que realicen los Agentes mediante contratos.
- Se consideran los servicios complementarios tales como reservas operativas, controles de potencia, tensión, frecuencia y arranques en negro.
- Para cumplir requerimientos de seguridad y calidad del servicio se utiliza la generación que no se encuentre en el despacho económico y se denomina generación forzada.
- Existen cargos para realizar transacciones en el Mercado Mayorista y para transacciones en el MER.

En el Mercado Mayorista se transa potencia y energía, ambos productos son remunerados de acuerdo con el despacho económico y pueden ser remunerados en seis diferentes mercados:

- Mercado de Oportunidad de la Energía.
- Mercado a término.

- Mercado de desvíos de potencia.
- Servicio complementario de RRO.
- Mercado Eléctrico Regional.
- Mercado eléctrico mexicano.

7.3. Regulación del subsector eléctrico de Guatemala relacionada a la generación con fuentes de energía renovables

El Marco Legal que rige el subsector eléctrico guatemalteco tiene como objetivo promover el correcto funcionamiento, estabilidad, certeza jurídica y congruencia del mercado eléctrico y del sistema, tiene vigencia desde la publicación de la Ley General de Electricidad en 1996.

7.3.1. Ley General de Electricidad

Partiendo de que la oferta de energía eléctrica no era suficiente para satisfacer la demanda nacional, las necesidades de energía eléctrica de gran parte de la población de Guatemala no estaban satisfechas además de que el crecimiento de la oferta no era proporcional respecto al crecimiento de la demanda y que esto representaba un obstáculo para el desarrollo del país, fue necesario aumentar la generación, transmisión y distribución, lo cual se realizó a través de la liberalización del sector.

El Gobierno de la República de Guatemala fungiendo como ente coordinador y subsidiario del desarrollo nacional consideró de urgencia nacional la desmonopolización y descentralización de los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica para promover el crecimiento de la oferta de energía y así mejorar el nivel de vida de los guatemaltecos al satisfacer las necesidades sociales y productivas.

El Gobierno además consideró establecer normas jurídicas que facilitaran la actuación de los diferentes sectores del sistema eléctrico para lograr su máximo funcionamiento para lo cual creó una comisión técnica conformada por los sectores nacionales interesados en el desarrollo del subsector eléctrico y así decretó la Ley General de Electricidad, la cual norma el desarrollo de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad de acuerdo con los siguientes principios:

- Libre generación de electricidad.
- Libre transporte de electricidad mientras no se utilicen bienes de dominio del estado, en caso de ser necesario utilizarlos el transporte de electricidad estará sujeto a autorización.
- Libre servicio de distribución privada de electricidad.
- Libres precios de prestación del servicio de electricidad exceptuando los servicios de transporte y distribución, los cuales estarán sujetos a autorización.

7.3.2. Reglamento de la Ley General de Electricidad

En 1997 El Presidente de la República consideró que era necesario desarrollar normas de forma reglamentaria que permitieran la adecuada aplicación de la LGE por lo que se emite el RLGE, el cual tiene disposiciones que se aplican a las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica incluyendo además actividades de importación y exportación realizadas por entidades con participación estatal, privada o mixta y el MEM es declarado órgano del Estado responsable de aplicar la LGE y el RLGE lo cual será realizado por medio de la dependencia de energía y la CNEE.

7.3.3. Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista

Considerando como responsabilidad del Gobierno de la República el desarrollo del subsector eléctrico el Estado estableció normas que permiten el abastecimiento suficiente y confiable del servicio de energía eléctrica y que establecieran precios accesibles para los ciudadanos.

Con el objetivo de definir los principios del Mercado mayorista, sus funciones, organización, mecanismos de financiamiento del AMM y sus obligaciones se acuerda emitir el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista en el cual se establecen los productos y servicios que podrán ser comprados y vendidos en el Mercado Mayorista, así como el medio por el cual pueden realizarse las operaciones de este.

7.3.4. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable

En Guatemala existe una cantidad suficiente de recursos naturales renovables que al aprovecharse para la generación de energía pueden independizar al país de la compra de combustibles fósiles, así mismo aprovechar estos recursos de manera eficiente puede facilitar el suministro de energía eléctrica al usuario final.

El Congreso de la República de Guatemala considera que es necesario y urgente la electrificación del país y que participe en este proceso la iniciativa privada, partiendo de que es obligación del Estado orientar la economía nacional para la utilización de los recursos naturales, utilizándolos de forma eficiente y que el desarrollo de estos recursos es de interés público se promueve el otorgar incentivos a la empresas que implementen centrales de generación en el interior

de la República contribuyendo así a la descentralización del país, esto hace necesario emitir una normativa que promueva el desarrollo y aprovechamiento de los recursos renovables que a mediano y largo plazo puedan usarse como fuentes de generación de energía de forma continua y así en Guatemala exista un equilibrio entre la energía importada y la energía generada de manera local por lo que en 2003 se decreta la Ley de Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable.

El objetivo de esta ley es promover el desarrollo de proyectos de energía renovable, estimulando, promoviendo y facilitando las condiciones para incentivar de forma fiscal, económica y administrativa las inversiones que se hagan con este fin, para esto el MEM tendrá que realizar las siguientes acciones:

- Promover la localización e inventario de los recursos renovables del país.
- Impulsar estudios que estimen el potencial de energía utilizable.
- Promover y facilitar las inversiones para generar energía eléctrica utilizando fuentes de energía renovable.
- Facilitar las certificaciones establecidas en los rubros de energía renovable.
- Promover una independencia energética en del país respecto a los combustibles importados.

7.3.5. Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable

Considerando que en el artículo 7 de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable se estipula emitir un reglamento para la misma en 2005 se acuerda la emisión de este el cual tiene como objetivo

desarrollar y asegurar condiciones adecuadas para calificar y aplicar de forma concreta los incentivos indicados en la Ley.

7.3.6. Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía

La LGE establece que es responsabilidad de la CNEE emitir normativas técnicas para el subsector eléctrico y velar por el cumplimiento de las mismas, así como garantizar que sea permitida la conexión a las redes de distribución, efectuando modificaciones o ampliaciones y asumiendo los costos para el correcto funcionamiento de esta al conectar una central de GDR.

La CNEE en 2008 emite la Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía y en 2014 se considera necesario actualizar las disposiciones de dicha norma para facilitar la conexión de estas centrales a la red de distribución, tomando en cuenta su tamaño y las necesidades actuales se emite la NTGDR, el objetivo de esta norma es establecer las obligaciones que deben cumplir tanto los distribuidores como los GDR en sus etapas de conexión, operación, control y comercialización de la energía generada por estos.

7.4. Generación distribuida renovable

De acuerdo con la CNEE (2014), la generación distribuida renovable es una modalidad de generación de energía eléctrica que utiliza fuentes de energía renovables y se conecta a la red de distribución y tiene un aporte de potencia neto menor o igual a 5 MW.

Para poder participar en el Mercado Mayorista es necesario que el interesado realice las gestiones necesarias para presentar ante el distribuidor una solicitud para un dictamen de capacidad y conexión, el cual tiene el objetivo de conseguir un dictamen de la CNEE que autorice la conexión de una central generadora a un sistema de distribución, el poseedor de una central de generación con capacidad instalada menor a 5 MW se denomina generador distribuido renovable.

7.4.1. Procedimiento para el dictamen de capacidad y conexión

De acuerdo con la CNEE (2014), el interesado debe seguir el siguiente procedimiento para obtener un Dictamen de Capacidad y Conexión para poder conectarse a la red de distribución:

- Debe presentar al distribuidor la solicitud de Dictamen de Capacidad y Conexión.
- El Distribuidor podrá solicitar ampliaciones o aclaraciones.
- Presentar las ampliaciones requeridas por el Distribuidor después de presentar la solicitud.
- El Distribuidor enviará una copia de la solicitud a la CNEE.
- El distribuidor elaborará el Dictamen de Capacidad y Conexión en un plazo de cuarenta y cinco días.
- La CNEE revisará el Dictamen de Capacidad y Conexión para dar una autorización de conexión al GDR.
- La CNEE emitirá la resolución correspondiente en un plazo de treinta días.

7.4.2. Solicitud del dictamen de capacidad y conexión

La CNEE (2014), indica que la solicitud que el interesado presentara al Distribuidor debe incluir lo siguiente:

- Información general del proyecto
- Ubicación geográfica del proyecto
- Datos generales del proyecto
- Información de los parámetros eléctricos del GDR
- Constancia del registro de cotas (proyectos hidroeléctricos)
- Resolución de autorización ambiental del GDR
- Planos y diagrama unifilar del proyecto

7.4.3. Dictamen de capacidad y conexión

Para el análisis de impacto a la red de distribución se deben usar los parámetros eléctricos indicados en la solicitud, el Dictamen incluirá lo siguiente (CNEE, 2014):

- Informe que resuma los resultados del estudio, consideraciones, escenarios asumidos y el impacto resultante a la infraestructura del Distribuidor.
- Descripción de la metodología que se utilizó para el estudio.
- Detalle de los resultados del estudio.
- Información del software utilizado en las simulaciones realizadas.

De acuerdo con la CNEE (2014), hace saber que el Distribuidor enviara una copia del dictamen a la CNEE y en caso de que el resultado del dictamen sea negativo, el distribuidor deberá demostrar que la conexión del GDR produce

pérdidas en la red, en este caso es necesario que el distribuidor realice un informe indicado lo siguiente:

- Un informe detallado en el que se justifique realizar un reconductorado a la red para subsanar las pérdidas generadas en caso de realizar la conexión.
- Resultados de simulaciones realizadas para diferentes calibres del conductor de la red.
- Un detalle de los costos de la modificación del sistema de distribución.
- Un informe en el que se indique el valor óptimo de despacho del GDR para no producir pérdidas en la red.
- Informe en el que se indique el incremento de perdidas generado por la central GDR mensual y anual y los costos económicos que estos representen.

7.5. Condiciones necesarias para el desarrollo de un parque fotovoltaico

A continuación, se detallan las condiciones necesarias para el desarrollo del parque fotovoltaico.

7.5.1. Potencial de radiación solar

La radiación solar es la energía electromagnética que surge como resultado de los procesos de fusión de hidrógeno contenidos en el Sol.

De acuerdo con Lavandeira (2009), en un año la cantidad de energía que llega a la tierra es el 33 % de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmosfera, de la energía interceptada el 70 % cae en los mares, la energía

estimada que cae sobre la tierra en un año es de 1.5×10^{17} kWh, esto es miles de veces la demanda total de energía mundial.

Lavandeira (2009), indica que la constante solar es de $1\ 353\ \text{W/m}^2$, aunque actualmente el máximo valor medido sobre la tierra en condiciones óptimas es de $1\ 000\ \text{W/m}^2$, esta constante representa la radiación solar que cae sobre una superficie perpendicular a los rayos solares y puede variar durante el año un 3 % por causa de la órbita terrestre además existen dos tipos de radiaciones solares que llegan a la superficie terrestre que pueden ser directa o dispersa. La radiación directa es la que incide sobre una superficie con varios ángulos, cuando la radiación directa por obstrucción de un obstáculo no alcanza una superficie crea una sombra, esta área sombreada no se encuentra totalmente oscura debido a la radiación dispersa. Es importante tomar en cuenta esta observación ya que algunos dispositivos fotovoltaicos pueden funcionar solamente con radiación dispersa.

El fenómeno conocido como albedo se da cuando una superficie inclinada recibe radiación reflejada ya sea por el terreno, por espejos de agua o por superficies horizontales.

Las proporciones de radiación que recibe una superficie dependen de:

- Condiciones meteorológicas
- Inclinación de la superficie respecto al plano horizontal
- Presencia de superficies reflectantes

La relación entre la radiación dispersa y la total varía en función de la ubicación, y al aumentar la inclinación de la superficie receptora, disminuye la

componente dispersa y aumentan las componentes reflejadas. La posición óptima (inclinación) que permite aprovechar de forma eficiente la energía recocida será diferente dependiendo del lugar y se obtiene cuando la superficie está orientada hacia el sur y su ángulo de inclinación debe ser igual a la latitud del lugar, la orientación al sur permite maximiza la radiación solar captada durante el día.

La radiación solar total que cae sobre una superficie es:

$$IT = ID + IS + R \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

IT = radiación total

ID = radiación directa

IS = radiación dispersa

R = albedo

7.5.2. Generación de energía solar fotovoltaica

El proceso de conversión de energía solar a energía eléctrica se hace mediante el fenómeno conocido como efecto fotovoltaico que se da cuando interactúan la radiación solar con materiales semiconductores.

7.6. Impactos ambientales y sociales de la implementación de parques solares

Según Conesa (1993) la EIA tiene como ejes centrales ser un instrumento utilizado para políticas públicas, procedimientos administrativos y contener una metodología para la determinación de los impactos.

De acuerdo con el Instituto de Estudios Ambientales (2013), las metodologías de evaluación de impacto ambiental deben ser integrales, con el objetivo de identificar, predecir, cuantificar y valorar las alteraciones (impactos ambientales) de un conjunto de acciones o actividades, que nos permiten conocer qué variables físicas, biológicas y socioeconómicas serán afectadas por el desarrollo e implementación de un proyecto.

Para el Instituto de Estudios Ambientales (2013), es necesario considerar en el proyecto a implementar el tipo de impacto ambiental, el área de influencia, el tiempo que duraran estos impactos así como la magnitud de los efectos directos e indirectos, la importancia y el riesgo de estos, es necesario evaluar el proyecto desde su fase de construcción hasta su fase de abandono, las etapas de diseño e implementación de medidas de mitigación durante la operación del proyecto así como la implementación de un sistema de monitoreo de impactos ambientales.

Para desarrollar la EIA, Espinoza (2007) indica que es necesario clasificar los impactos partiendo de la premisa que un impacto ambiental es una alteración al área de impacto por medio de acciones humanas, la alteración ambiental contiene las siguientes características:

- El carácter positivo o negativo del impacto respecto al estado previo (vulnerabilidad).
- La cantidad o intensidad del impacto (magnitud).
- La importancia relativa del impacto.
- Descripción del tipo de impacto.
- El comportamiento a lo largo del tiempo de los impactos previstos.
- La reversibilidad del impacto.
- La probabilidad de ocurrencia del impacto.

- El área de influencia del Impacto.

Para determinar la metodología para evaluar los impactos ambientales, es necesario conocer las características y criterios de los impactos ambientales para clasificarlos y así definir la gravedad o beneficio de estos adecuadamente (ver tabla VI), es necesario que la metodología sea flexible y que pueda aplicarse en cualquier etapa del proyecto.

Tabla VI. **Clasificación de impactos ambientales**

Criterio de clasificación	Clase
Carácter	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto simple • Impactos acumulativos
Relación causa-efecto	<ul style="list-style-type: none"> • Primarios • Secundarios
Momento en que se manifiestan	<ul style="list-style-type: none"> • Latente • Inmediato • Momento crítico
Interrelación de acciones y alteraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto simple • Impactos acumulativos
Extensión	<ul style="list-style-type: none"> • Puntual • Parcial • Extremo • Total

Continuación tabla VI.

Persistencia	<ul style="list-style-type: none"> • Temporal • Permanente
Capacidad de recuperación del ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Irrecuperable • Irreversible • Reversible • Fugaz

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con Canter (1998) para seleccionar la metodología se debe tomar en cuenta la normativa vigente, el tipo de proyecto, el objetivo del EIA, las etapas de construcción, operación y abandono del proyecto, los costos económicos, el personal, equipamiento y la magnitud de los impactos potenciales.

Para la identificación de impactos ambientales del parque fotovoltaico solar Jalpatagua se utilizará el método matricial modificado de Gómez-Orea, que considera las variables de carácter del impacto, intensidad, extensión, momento, persistencia y reversibilidad del efecto.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generación fotovoltaica en Guatemala

1.1.1 Energía solar en Guatemala

1.1.2 Aspectos teóricos de la generación fotovoltaica

1.1.3 Legislación aplicable a proyectos fotovoltaicos

2. DISEÑO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO SOLAR JALPATAGUA

2.1. Distribución espacial de los paneles

2.2. Determinación del punto de interconexión a la red de ENERGUATE

2.3. Diagrama unifilar del proyecto

2.4. Cálculo de potencia y energía

2.5. Planos de obras civiles

3. VIABILIDAD AMBIENTAL DEL PARQUE FOTOVOLTAICO SOLAR
JALPATAGUA

- 3.1. Factores ambientales que pudieran ser afectados
- 3.2. Impactos ambientales
- 3.3. Metodología de Leopold
- 3.4. Matriz de RIAM
- 3.5. Medidas de mitigación

4. VIABILIDAD FINANCIERA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO SOLAR
JALPATAGUA

- 4.1. Cálculo del monto de la inversión
- 4.2. Cálculo de costos de operación
- 4.3. Proyección de precios de venta de la energía
- 4.4. Flujo financiero del proyecto
- 4.5. Análisis de indicadores financieros

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

Para el desarrollo del trabajo de investigación se utilizará un diseño, enfoque y alcance para dirigir la investigación y contribuir al cumplimiento del objetivo general.

9.1.1. Diseño

El diseño adoptado para determinar la viabilidad técnica y financiera es un diseño no experimental, dado que existen variables que no se pueden manipular para que el proyecto logre rendimientos óptimos y la parte financiera se basa en eventos que ocurrieron anteriormente para hacer proyecciones futuras, para la determinación de la viabilidad ambiental también se utilizara un diseño no experimental ya que las medidas de mitigación ambientales dependen directamente de los impactos identificados que el proyecto genere en su implementación.

9.1.2. Enfoque

El enfoque del estudio propuesto es mixto ya que para lograr determinar la viabilidad técnica y financiera se utilizarán metodologías cuantitativas que reflejen datos exactos del proyecto, además para la determinación de la viabilidad ambiental será necesario utilizar una metodología cualitativa que permita ponderar los impactos ambientales.

9.1.3. Alcance

El alcance del estudio es explicativo ya que se pretende que el presente trabajo de investigación pueda ser utilizado como referencia (manual) para la implementación de futuros proyectos de generación de energía fotovoltaica.

9.2. Unidad de análisis

La población de estudio será el parque fotovoltaico solar Jalpatagua para el cual se realizarán análisis desde tres perspectivas distintas para considerar costos, producción, regulación, impactos ambientales y aspectos financieros.

Tabla VII. Variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Potencial de radiación solar	Flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas.	Mide la radiación solar en el área donde se ubica el proyecto en kWh/m ²
Generación de energía eléctrica	Transformación de alguna clase de energía en electricidad.	Mide la energía que el proyecto genera en MWh
Impactos ambientales	Alteración causada al medio ambiente por una acción humana.	Los impactos ambientales que el proyecto genere por su implementación.
Medidas de mitigación	Acciones de prevención, control, atenuación, restauración y compensación de impactos ambientales.	Las medidas que se adoptaran en las diferentes fases del proyecto para reducir los impactos ambientales
Precios de venta proyectados	Valor de un bien en el futuro basado en su precio en años anteriores.	El precio al que se venderá la energía generada en el proyecto en USD/MWh
Rentabilidad anual	Forma de expresar los resultados de una inversión.	Los gastos e ingresos del proyecto en UDS

Continuación tabla VII.

Periodo de recuperación de la inversión	Indicador financiero que mide el tiempo en que se recupera la inversión en valor actual neto.	El periodo en el que la rentabilidad anual del proyecto permita un retorno de la inversión realizada para implementar el proyecto
---	---	---

Fuente: elaboración propia.

9.3. Fases del estudio

La metodología inicia con la conceptualización del proyecto fotovoltaico. Para el desarrollo y evaluación de la viabilidad técnica, ambiental y financiera del proyecto se utilizarán diferentes metodologías, de acuerdo con la fase o nivel de desarrollo, las cuales se describen a continuación:

9.3.1. Primera fase

Se realizará la recopilación de literatura que se utilizará para fundamentar el trabajo de investigación, para describir y definir las características para el diseño del proyecto.

9.3.2. Segunda fase

Se concentrará la información relacionada a las condiciones necesarias para realizar el diseño del parque fotovoltaico solar Jalpatagua con un enfoque de desarrollo sostenible.

9.3.3. Tercera fase

Análisis de los ejes centrales del desarrollo del proyecto (viabilidad técnica, ambiental y financiera) y presentación del informe final de investigación.

9.3.4. Metodología específica para determinar la viabilidad técnica del proyecto

A continuación, se describe la metodología específica para determinar la viabilidad de este.

9.3.4.1. Diseño espacial del proyecto

El diseño del proyecto conllevará la distribución espacial de las mesas sobre las cuales se instalarán los paneles fotovoltaicos, determinando la cantidad de paneles por mesa y su distanciamiento, así como los grados de inclinación para hacer uso eficiente del potencial de radiación solar y evitar pérdida de eficiencia por efecto de las sombras entre mesas.

A partir de la ubicación y cantidad de mesas, se podrá obtener el dato de la cantidad de paneles fotovoltaicos y con ello se podrá conocer la potencia del proyecto (capacidad instalada).

Para determinar la distribución espacial del proyecto se analizarán:

- Planos topográficos
- Curvas a nivel
- Análisis de inundaciones y drenajes naturales del terreno
- Estudio geológico

- Estudio de suelos

9.3.4.2. Cálculo de potencia y generación de energía del proyecto

En base a la distribución física de los componentes del proyecto y la cantidad de paneles solares, se calculará la potencia a instalar en el proyecto.

El cálculo de la potencia se dividirá en dos partes, por un lado, el cálculo de la potencia pico, que corresponderá a la sumatoria de la potencia nominal del total de paneles fotovoltaicos que se instalarán y se expresará en MW; por otro lado, el cálculo de la potencia nominal, la cual consistirá en la carga máxima que se despachará al Sistema Nacional Interconectado -SNI-, la cual se expresará en GWh.

Para los cálculos de la potencia nominal se prevé la utilización del *software*: *HelioScope (Advanced Solar Design Software)*, *PVsyst (Logiciel Photovoltaïque)* y *SAM (System Advisor Model Photovoltaic Software)*, entre otros que pudieran seleccionarse al momento de realizar los análisis.

Se calculará la producción de energía utilizando herramientas de simulación de bases de datos atmosféricas y se calcularán las siguientes pérdidas:

- Pérdidas por polvo y suciedad
- Pérdidas por temperatura
- Pérdidas por diferencias entre módulos
- Pérdidas por interconexiones y cableado
- Pérdidas por umbrales de arranque
- Pérdidas por rendimiento de inversores

- Perdidas por rendimiento de transformadores
- Perdidas por transmisión
- Perdidas por disponibilidad de la línea
- Perdidas por indisponibilidad de equipos

9.3.4.3. Propuesta de obras civiles

En base a las necesidades para la operación del proyecto, como la ubicación de los inversores, garita de acceso, oficina de control y bodega, entre otros componentes que se consideren necesarios para el proyecto, se desarrollará una propuesta de infraestructura necesaria, presentando planos de planta arquitectónica, estructural, abastecimiento de agua, drenajes e iluminación y fuerza.

9.3.4.4. Especificaciones técnicas del proyecto

Se tomarán en cuenta las especificaciones técnicas de los equipos que se instalarán en el proyecto, identificándose como principales, las siguientes:

- Criterios de selección de los paneles fotovoltaicos, para lo cual se deberán tomar en cuenta aspectos como el respaldo de la marca, tecnología de fabricación, potencia pico, potencia de salida y eficiencia para el aprovechamiento del potencial solar, entre otros.
- Selección de inversores a utilizar de acuerdo con la configuración panel-inversor, ya que, para cada escenario de radiación y temperatura en la célula fotovoltaica, existirá un único valor de resistencia de carga, con lo cual se optimizará la entrega de potencia de la célula, lo cual se considera

importante, ya que es lo que se busca en un inversor, siendo el sistema Maximun Power Point Tracker.

- Tamaño de los inversores, ya que se prevé que contar con mayor número de inversores en el proyecto, permitirá que el total de paneles instalados, se encuentre dividido en mayor número de sectores, con lo cual, en el caso de alguna falla o bien la necesidad de realizar algún mantenimiento o reparación, únicamente se dejaría de producir en un lote o sector, que proporcionalmente al proyecto, se consideraría pequeño; y de esa forma se evitaría la salida de producción de sectores con mayor cantidad de paneles.
- Características, funcionamiento, configuración panel-inversor, potencia y corriente máximas del inversor, voltaje mínimo y máximo de operación del inversor, rango de voltaje de operación de seguimiento de máxima potencia (MPPT).
- Cálculo del campo generador fotovoltaico, buscando las combinaciones de inversores y módulos, para la operación segura de los equipos y para encontrar los valores óptimos de funcionamiento de los equipos.
- Esquema básico de conexiones para establecer la potencia de los bancos de transformación e inversores, la conexión con la red de distribución, sistemas de protección, seguridad y medición.
- Selección de cadenas (strings) para contar con dispositivos de desconexión para cada cadena y evitar la indisponibilidad de todo del proyecto, en caso de mantenimiento o fallas en alguna cadena en particular.

- Identificación del punto de conexión a la red de distribución y sus especificaciones técnicas.
- Descripción de estructuras para montaje de los paneles fotovoltaicos y detalles de la instalación.
- Cálculo del cableado contemplando las pérdidas en los conductores y contemplando criterios relacionados a los costos.

9.3.5. Metodología específica para determinar la viabilidad ambiental del proyecto

La viabilidad ambiental del proyecto se determinará por medio del uso de la metodología para evaluación de impactos ambientales, un instrumento preventivo para la gestión ambiental,

La metodología se enfoca en determinar la importancia y magnitud de los posibles efectos que las actividades que se realizarán en el proyecto durante la etapa de construcción y operación podrían tener sobre los factores ambientales.

9.3.5.1. Actividades del proyecto para evaluación ambiental

Las actividades de la fase de construcción y operación del proyecto, que serán sujetas de análisis ambiental y social serán las siguientes:

- Fase de construcción:
 - Preparación del terreno

- Construcción de infraestructuras
- Instalación de paneles fotovoltaicos
- Equipamiento de obras auxiliares
- Fase de operación:
 - Generación de energía fotovoltaica
 - Transmisión de energía generada
 - Entrega de energía generada a la red de distribución

9.3.5.2. Factores ambientales para evaluación ambiental

Los factores ambientales que serán incluidos en la evaluación de la viabilidad ambiental del proyecto se categorizan en componentes (físico, biótico y social), que a su vez son los medios que pudieran ser afectados por las actividades del proyecto, siendo los siguientes:

- Componente físico
 - Suelo
 - Agua
 - Aire
- Componente biótico
 - Flora y fauna
- Componente social
 - Comunidades (área de influencia social)

9.3.5.3. Aspectos metodológicos

La metodología para Gómez (2002) se enfoca hacia definir y valorar los impactos ambientales que las actividades del proyecto pudieran tener sobre los medios físico, biótico y social.

Posterior a determinar la clasificación de impactos, se procederá con la valoración de estos, cuando la afectación es baja o compatible, no se le asigna importancia, ya que no es demasiada su relevancia, debido a que existe una carencia de impacto o la recuperación es inmediata, tras el cese de la acción que lo origina.

Los criterios que se utilizarán para la evaluación de la viabilidad ambiental del proyecto serán los siguientes:

- El signo del impacto alude al carácter beneficioso (+), perjudicial (-), o previsible pero difícil de cualificar sin estudios específicos (x), de las distintas acciones sobre los factores considerados. Evidentemente, es la tercera de estas categorías la más problemática de caracterizar de modo objetivo, debido a su propia definición. No obstante, las características asociadas con esta categoría son: i) Se trata de efectos ciertos que, por su nivel de complejidad y su efecto relativamente cambiante, de unas circunstancias a otras, son difíciles de predecir; ii) Son efectos normalmente asociados con circunstancias externas al proyecto, lo que dificulta sobremanera la determinación de su naturaleza; iii) Están ligados, con todo un conjunto de variables, de manera que sólo a través de un estudio global de todas ellas sería posible conocer su naturaleza dañina o beneficiosa.

- La intensidad se refiere al grado de incidencia sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa. Se valora de 1 a 3. El 3 expresa una destrucción casi total del factor en el área en que se produce el efecto.
- La extensión se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto considerado. En este sentido, si la acción produce un efecto muy localizado dentro de este ámbito espacial, se considera que el impacto tiene un carácter puntual (1). Si, por el contrario, el efecto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto, teniendo una influencia generalizada en todo el impacto, será Extenso (3). Las situaciones intermedias se consideran como Parcial (2). También cabría señalar aquí con un código mayor, el hecho de que el impacto se produzca precisamente en un lugar crítico.
- El momento en que se produce el impacto, alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y la aparición del efecto sobre el factor correspondiente. Se consideran tres categorías: el período de tiempo sea cero, de uno a tres años o más de tres años, denominándose respectivamente como Inmediato (3), Mediano Plazo (2), y Largo Plazo (1).
- La persistencia del impacto se refiere al tiempo que supuestamente permanecería el efecto, a partir de la aparición de la acción en cuestión. Dos son las situaciones consideradas, según que la acción produzca un efecto Temporal (1) o Permanente (3). Es pues, ésta, una caracterización genérica por cuanto no se ha supuesto espacios de tiempo discretos ligados con tales categorías y porque, en cualquier caso, es muy difícil, en el límite, discernir sobre el carácter temporal o permanente de los efectos.

- La reversibilidad se refiere a la posibilidad de reconstruir las condiciones iniciales una vez producido el efecto. Se puede caracterizar como: a corto plazo (1), a medio plazo (2), a largo plazo (3) e imposible (4).
- La posibilidad de acciones correctoras sirve para denotar si, dentro del proyecto en cuestión, es posible prever medidas correctoras para remediar, la aparición de tales impactos, dentro de este concepto sólo se cuenta con las siguientes alternativas: En la fase del proyecto (P), en la fase de obra (O), en la fase de funcionamiento (F), y no es posible (N).
- La importancia del impacto, que no debe confundirse con la importancia del factor afectado, se obtiene de acuerdo con la fórmula.

Para la valoración de impactos ambientales se utilizarán los valores indicados en la tabla VIII con lo cual será posible la elaboración de una matriz que permita la asignación de los valores correspondientes a cada factor ambiental que se prevea será afectado por alguna actividad del proyecto.

Tabla VIII. **Criterios y valores para evaluación ambiental**

Carácter	Valoración	Escala de Valoración
Signo	+	Beneficioso
	-	Perjudicial
	X	Previsible pero difícil de clasificar sin estudios de detalle
Intensidad: Puntuación Cualitativa	1	Baja
	2	Media
	3	Alta
Extensión	1	Puntual
	2	Parcial
	3	Extenso (Todo el ámbito)

Continuación tabla VIII.

Momento en que se produce	3	Inmediato
	2	Medio
	1	Largo Plazo
Persistencia	1	Temporal
	3	Permanente
Reversibilidad del Efecto	4	Imposible
	3	Largo Plazo
	2	Medio Plazo
	1	Corto Plazo
Posibilidad de Introducir medidas de Mitigación	P	En Proyecto
	O	En Obra
	F	En Operación
	N	No es Posible

Fuente: Gómez. (2002). *Ordenación territorial*.

La valoración en la matriz de evaluación de impactos ambientales se realizará utilizando la fórmula siguiente:

Importancia del Impacto: 3(valor intensidad) + 2(valor extensión) + valor del momento + Persistencia + valor de reversibilidad (Ec. 2)

Posterior a correr la metodología de evaluación de impactos ambientales, se determinará si existe la posibilidad de mitigar los impactos identificados por medio de la implementación de la GA, determinando de esta forma la viabilidad ambiental del proyecto.

9.3.6. Metodología específica para determinar la viabilidad financiera del proyecto

La viabilidad financiera del proyecto será determinada por medio la elaboración del flujo financiero del proyecto, para lo cual se utilizará como

principales insumos, el monto de la inversión, costos de operación e ingresos que se tendrá por la venta de energía.

9.3.6.1. Presupuesto

Se realizará la cotización de los equipos e infraestructura del proyecto, así como los costos de construcción e instalación de estos, lo cual será insumo para el flujo financiero del proyecto.

9.3.6.2. Estudio de producción anual

Se realizará el cálculo de la producción anual en GWh, a partir del cálculo de la producción diaria y mensual. Dichos cálculos se realizarán en base a la potencia y factor de eficiencia de los paneles fotovoltaicos, de acuerdo con el potencial de radiación solar del terreno donde se ubicará el proyecto y otros aspectos que determinarán el despacho de energía del proyecto, para poder elaborar los flujos financieros que determinen la viabilidad financiera.

9.3.6.3. Evaluación financiera

La evaluación financiera se realizará por medio la elaboración del flujo financiero del proyecto, el cual se generará tomando en cuenta el monto de inversión que será resultado de la elaboración del presupuesto (cotización de equipos y obras a construir), la proyección de los costos de operación y de los ingresos que se tendrán a partir del cálculo de la generación de energía en KWh.

Entre otros insumos que serán tomados en cuenta para el flujo financiero se encuentran los montos por concepto de intereses bancarios, seguros, impuestos y depreciaciones, entre otros.

Un aspecto importante que se tomará en cuenta será la liquidez del proyecto para solventar compromisos de pagos relacionados a mantenimientos, operación en general, pagos de intereses y de capital de financiamiento, entre otros.

La finalidad de este análisis será calcular algunos indicadores financieros como la tasa interna de retorno (TIR), tanto para los inversionistas, como para el monto financiado vía préstamo bancario; otros indicadores financieros que podrían considerarse importantes serán el punto de equilibrio y el VPN, entre otros.

Finalmente se elaborarán análisis de sensibilidad con el objetivo de determinar las posibles variaciones en los costos de operación y en los precios de la energía generada, así como en variaciones en la producción de energía por disminución o aumento de aspectos como la radiación solar u otros que afecten la producción; determinando la medida en que estos movimientos afectan la eficiencia de la rentabilidad del proyecto.

La finalidad de los análisis descritos será definir la viabilidad financiera en términos de rentabilidad, en función de la vida útil y los indicadores financieros del proyecto.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se considera que, para realizar los análisis de la información existente en cuanto a la generación de energía comprendida entre los últimos diez años, para poder realizar proyecciones a futuro relacionada a la generación de energía y sus precios, se realizará la tabulación o análisis de datos para generar información estadística, lo cual se realizará utilizando un paquete informático que podría ser Excel, SPSS o bien Epi Info, lo cual se realizará con el objetivo de generar análisis de estadística descriptiva y de considerarse necesario se generarán graficas para la presentación de los resultados.

- Muestreo no probabilístico

Este tipo de muestreo es una técnica que permitirá al investigador realizar la selección de muestras basándose en un criterio subjetivo y no en un criterio basado en selección aleatoria, esta técnica se adapta al trabajo de investigación al ser menos estricta y depender de la experiencia del investigador.

Esta técnica dará la ventaja de obtener información de manera rápida ya que el investigador obtendrá las muestras de resultados de operación emitidos por el AMM de los últimos cuatro años.

- Análisis univariado

Para determinar la viabilidad general del proyecto se analizará cada variable por separado, en el caso del tercer y cuarto objetivo que comparten la variable

de rentabilidad anual del parque fotovoltaico al determinarla se obtendrán resultados de ambos objetivos, pero su análisis de igual forma es univariado.

11. CRONOGRAMA

Tabla IX. Cronograma de ejecución

No.	Actividades / Semanas	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
1	Recopilación y análisis de información relacionada a los antecedentes de la generación de energía fotovoltaica en Guatemala	■	■	■																									
2	Recopilación y análisis de la legislación vigente aplicable a la generación de energía fotovoltaica				■	■	■																						
3	Recopilación y análisis de información técnica para el diseño del proyecto	■	■	■	■	■	■	■	■	■																			
4	Evaluación de la viabilidad técnica del proyecto											■	■	■															
5	Evaluación de la viabilidad ambiental del proyecto														■	■	■	■											
6	Evaluación de la viabilidad financiera del proyecto																		■	■	■	■							
7	Alternativas para comercialización de energía a generar por el proyecto															■	■	■	■	■	■	■							
8	Integración y elaboración de la información y elaboración del informe final	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
9	Presentación del informe final de trabajo de graduación																										■		

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se considera que se cuenta con los recursos necesarios para la realización del trabajo de graduación, siendo los siguientes:

12.1. Recursos humanos

- Estudiante
- Asesor de tesis

12.2. Recursos tecnológicos

- Mobiliario de oficina
- Computadora portátil
- Impresora y tinta
- Papelería y útiles de oficina
- Transporte

Tabla X. Recursos financieros

Descripción	Valor unitario	Cantidad	Valor Q.
Honorarios de asesor	Q 200.00	35 h	Q 7,000.00
Computadora portátil	Q 7,000.00	1	Q 7,000.00
Impresora y tintas	Q 2,000.00	1	Q 2,000.00
Papelería y útiles	Q 1,500.00	1	Q 1,500.00
Elaboración encuesta y prueba piloto	Q 500.00	1	Q 500.00
Trabajo de campo (terreno del proyecto)	Q 3,500.00	1	Q 3,500.00

Continuación tabla X.

Gastos varios	---	---	Q 2,000.00
Total, recursos financieros			Q 23,500.00

Fuente: elaboración propia.

Las fuentes de financiamiento serán propias. Se cuenta con los permisos y acceso a la información técnica, ambiental y financiera por parte de la empresa proponente del proyecto Solar Jalpatagua, la cual se identifica con el nombre Energy and Development, S.A., de la cual se anexa carta de autorización.

13. REFERENCIAS

1. Administrador del Mercado Mayorista (2016). *Informe Estadístico 2015*. Guatemala: Cámara de Industria Guatemalteca. Recuperado de https://www.amm.org.gt/pdfs2/informes/2015/INFEST20150101_01.pdf.
2. Administrador del Mercado Mayorista (2020). *Informe Estadístico 2019*. Guatemala: Cámara de Industria Guatemalteca. Recuperado de https://www.amm.org.gt/pdfs2/informes/2019/INFEST20190101_01.pdf.
3. Banco Mundial. (2019). *The World Bank Annual Report 2019: Ending Poverty, Investing in Opportunity*. Consulta: 19 de agosto de 2020. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10986/32333>.
4. Berrío, L. y Zuluaga, C. (diciembre, 2014). Smart Grid y la energía solar fotovoltaica para la generación distribuida: una revisión en el contexto energético mundial. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(2), 369-396. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/852/85232596010.pdf>.
5. Canter, L. (1998). Methods for Effective Environmental Information Assessment: *EIA Practice*, en *“Environmental Methods Review: Retooling Impact Assessment for the New Century”*. USA: The press Club.

6. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2014). *Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía*. Guatemala: CNEE. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>.
7. Conesa, V. (1993). *Auditorías Medioambientales: guía metodológica*. España: Mundi-Prensa.
8. Congreso de la República (1997). *Ley del Organismo Ejecutivo*. Guatemala: Sanidad Agropecuaria y Regulaciones. Recuperado de http://www.ign.gob.gt/docs_inf_publica/noviembre_2019/LEY%20DE%20ORGANISMO%20EJECUTIVO%20modificado.pdf.
9. Constitución Política de la República de Guatemala: Reformada por Acuerdo Legislativo No.18-93. Art. 97. 17 de noviembre de 1993.
10. Decreto número 52-2003: *Ley de Incentivos para el Desarrollo de proyectos de Energía Renovable*. Guatemala. 10 de noviembre de 2003.
11. Espinoza, G. (2007). *Gestión y fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago-Chile: Banco Interamericano de Desarrollo-BID y Centro de Estudios para el Desarrollo-CED.
12. Gomez, D. (2002). *Evaluación de Impacto Ambiental un Instrumento Preventivo para la Gestión Ambiental*. España: Ediciones Mundi-Prensa.

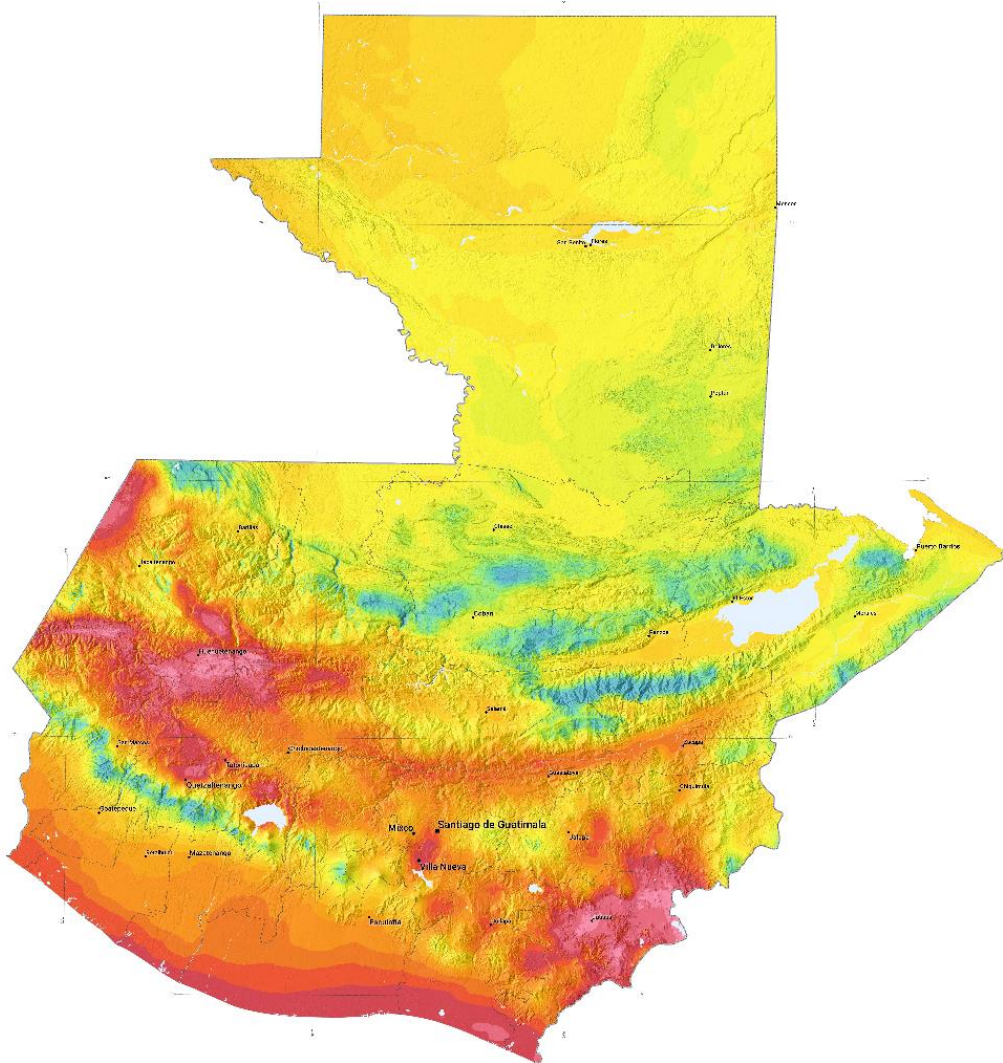
13. Gómez, D. (2002). *Ordenación territorial*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
14. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
15. INCYT URL (2018). *Perfil energético de Guatemala: Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía. Guatemala*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Recuperado de <http://docplayer.es/127521965-Perfil-energetico-de-guatemala-bases-para-el-entendimiento-del-estado-actual-y-tendencias-de-la-energia.html>.
16. Instituto de Estudios Ambientales (2013). *Ciencia, Tecnología e innovación en Ambiente, Biodiversidad y Hábitat*. Bogota, Colombia: Universidad de Colombia. Recuperado de <https://scienti.minciencias.gov.co/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000003313>.
17. Instituto Nacional de Estadística (2018). *Censo de población y vivienda*.
18. Lavandeira, J. (2009). *Fuentes de energía para el futuro*. España: Ministerio de Educación, Política Social y Deporte.
19. Mijangos-Ricardez, O. y López-Luna, J. (agosto, 2013). Metodologías para la identificación y valoración de impactos ambientales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 17(50), 37-42. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/264407862_Metodologias_para_la_identificacion_y_valoracion_de_impactos_ambientales.

20. Ministerio de Energía y Minas (2007). *Decreto 93-96: Reglamento de la Ley General de Electricidad*. Guatemala: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/05/Reglamento-de-LGE.pdf>.
21. Ministerio de Energía y Minas (2013). *Política Energética 2013-2027*. Guatemala: Dirección General de Energía. Recuperado de <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2013/02/PE2013-2027.pdf>.
22. Ministerio de Energía y Minas (2018). *Energía Solar en Guatemala*. Guatemala: Dirección General de Energía. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>.
23. Ministerio de Energía y Minas (2019). *Política Energética 2019-2050*. Guatemala: Dirección General de Energía. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Pol%C3%ADtica-Energ%C3%A9tica-2019-2050.pdf>.
24. Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Segeplán (2017). *Plan Nacional de Energía 2017-2032*. Guatemala: Dirección General de Energía. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.

25. Ministerio de Energía y Minas. (s.f.). Energía geotérmica. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://mem.gob.gt/que-hacemos/area-energetica/energias-renovables/energia-geotermica/>.
26. Ministerio de Energía y Minas. (s.f.). Energía hidráulica. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://mem.gob.gt/que-hacemos/area-energetica/energias-renovables/energia-hidraulica/>.
27. Ministerio de Energía y Minas. (s.f.). Energía solar. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://mem.gob.gt/que-hacemos/area-energetica/energias-renovables/energia-solar/>.
28. PNUD (2015). *Informe Nacional de Desarrollo Humano "Más allá del conflicto, luchas por el bienestar" 2015-2016*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://desarrollohumano.org.gt/wp-content/uploads/2017/06/INDHCap7.pdf>.

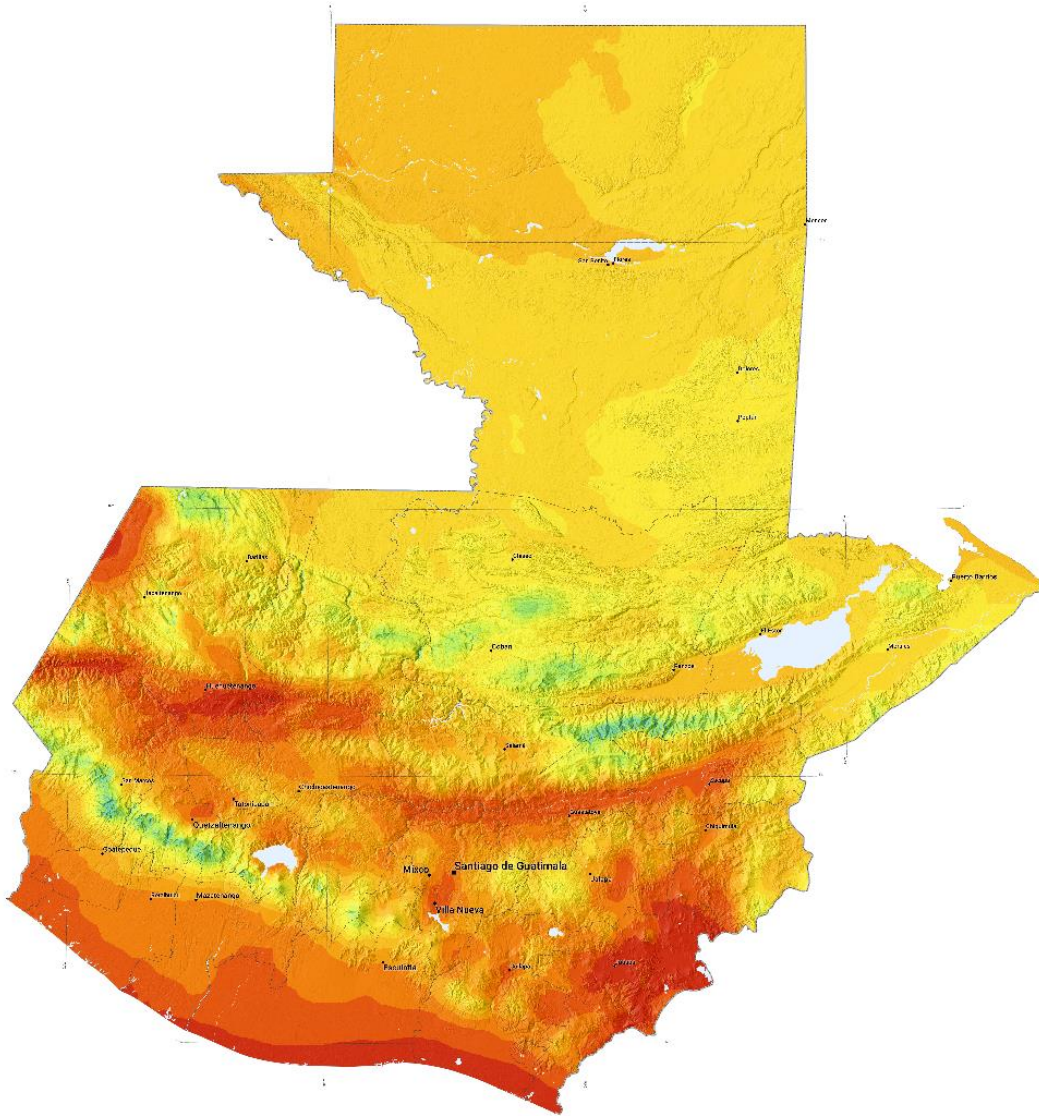
14. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de irradiación directa normal de Guatemala



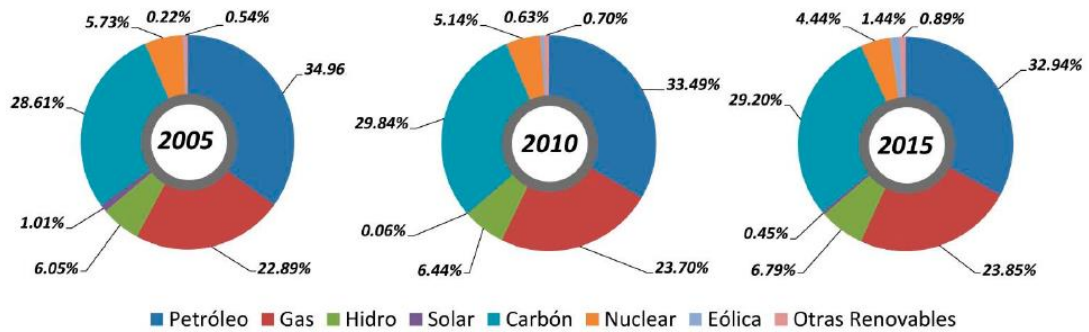
Fuente: Banco Mundial. *The World Bank Annual Report 2019: Ending Poverty, Investing in Opportunity*. Consultado el 19 de agosto de 2020. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10986/32333>.

Anexo 2. Mapa de irradiación global horizontal de Guatemala



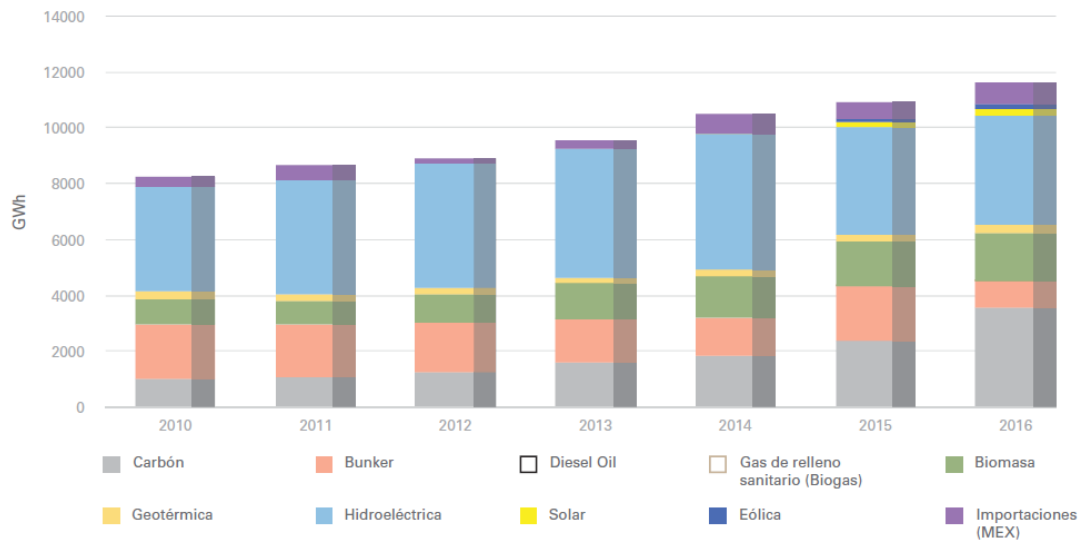
Fuente: Banco Mundial. *The World Bank Annual Report 2019: Ending Poverty, Investing in Opportunity*. Consultado el 19 de agosto de 2020. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10986/32333>.

Anexo 3. Consumo energético a nivel mundial del 2005 al 2015



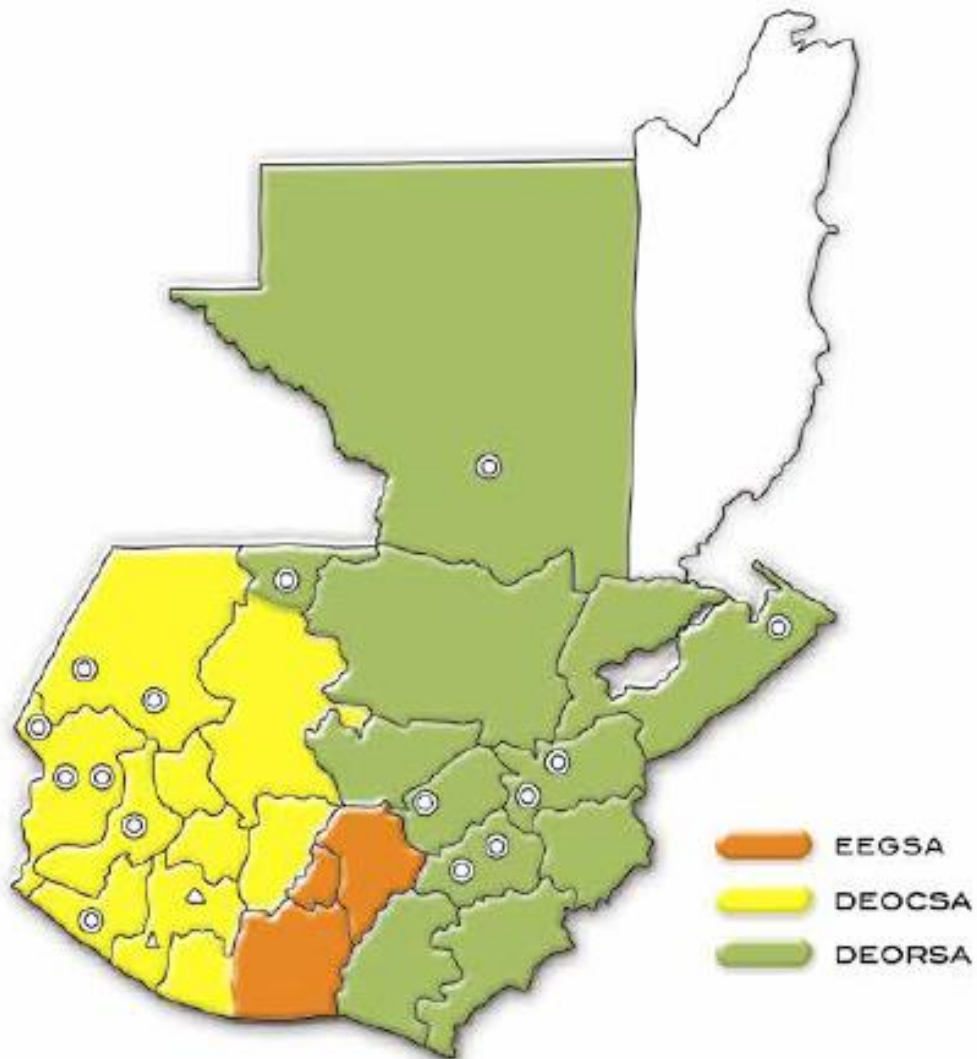
Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Política Energética 2013-2027*. Consultado el 19 de agosto de 2020. Recuperado de <https://mem.gob.gt/energia/proyectos/politica-energetica-2013-2027/>.

Anexo 4. Generación eléctrica de Guatemala por tipo de combustible



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Plan Nacional de Energía*. Consultado el 19 de agosto de 2020. Recuperado de <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2017/11/Plan-nacional-de-energia.pdf>.

Anexo 5. **Distribuidoras de Guatemala y su región de cobertura**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Política Energética 2013-2027*. Consultado el 19 de agosto de 2020. Recuperado de <https://mem.gob.gt/energia/proyectos/politica-energetica-2013-2027/>.