

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS



ESTUDIO DEL POTENCIAL DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA CENTROS
EDUCATIVOS PÚBLICOS DEL ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE NUEVA
CONCEPCIÓN, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA.



KEVYN JULIO JUÁREZ NAJARRO

Carné: 200714420

Guatemala, 1 de septiembre de 2021.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS



ESTUDIO DEL POTENCIAL DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA CENTROS EDUCATIVOS PÚBLICOS DEL ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE NUEVA CONCEPCIÓN, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA.

APROBADO POR JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS, EL 15 DE OCTUBRE DE 2015, SEGÚN NUMERAL 7.8 PUNTO SÉPTIMO DEL ACTA NO. 26-2015 Y RATIFICADO POR EL CONSEJO DIRECTIVO DEL SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, SEGÚN PUNTO 4.2, SUBINCISOS 4.2.1 Y 4.2.2 DEL ACTA 14-2018 DE FECHA 14 DE AGOSTO DE 2018.

ASESOR: DR. ABELARDO MEDINA BERMEJO



KEVYN JULIO JUÁREZ NAJARRO
Guatemala, 1 de septiembre de 2021.

Guatemala, abril 26 de 2021

Msc. Carlos Humberto Valladares Gálvez
Director Escuela de Estudios de Postgrado
Universidad de San Carlos de Guatemala
Su despacho

Estimado Señor Director:

Me es grato presentarle para su aprobación definitiva como requisito final para optar al título de Maestro en Ciencias en la especialidad de Formulación y Evaluación de Proyectos, el trabajo de tesis del Ing. Kevyn Julio Juárez Najarro cuyo tema es "Estudio del potencial de energía fotovoltaica para centros educativos públicos del área rural del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla", el cual cumple apropiadamente con los requisitos académicos exigidos por esa tricentaria casa de estudios.

La tesis del Ing. Juárez Najarro es un interesante aporte investigativo que demuestra que, con la voluntad política apropiada, las autoridades del país pueden impulsar un programa para la introducción de plantas de generación de energía fotovoltaica para suministrar energía eléctrica a aquellos centros educativos del municipio de Nueva Concepción, en los que hoy no existe dicho servicio, y que limita significativamente la calidad educativa y de vida de sus pobladores. En su desarrollo, el Ing. Juárez realiza una apropiada determinación de las características de la oferta y de la demanda relacionadas con dicho proyecto, además de una evaluación preliminar de los beneficios económicos, sociales y ambientales que se obtendrían de la introducción del modelo planteado.

Aun cuando el proyecto del Ing. Juárez Najarro necesita cierta profundización en la determinación de costos colaterales y administrativos para su implementación, constituye un muy buen aporte para el uso de fuentes renovables de generación eléctrica en el país, pero, sobre todo, para mejorar el bienestar de vida de los guatemaltecos, sin discriminación, algo que nuestra Universidad persigue desde su fundación.

Por lo anterior, no tengo ninguna limitación en recomendar el trabajo del Ing. Juárez Najarro para que sea aceptado previo a su graduación como Maestro en Ciencias en la especialidad de Formulación y Evaluación de Proyectos.

Aprovecho para manifestarle mis muestras de consideración y aprecio, Atentamente



Abelardo Medina Bermejo
Doctor en Tributación
Economista, colegiado 3591

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
Edificio "s-8"
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

J.D-TG. No. 0849-2021
Guatemala, 04 de octubre del 2021

Estudiante
Kevyn Julio Juárez Najarro
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estudiante:

Para su conocimiento y efectos le transcribo el Punto Quinto, inciso 5.1, subinciso 5.1.1 del Acta 23-2021, de la sesión celebrada por Junta Directiva el 27 de septiembre de 2021, que en su parte conducente dice:

"QUINTO: ASUNTOS ESTUDIANTILES

5.1 Graduaciones

5.1.1 Elaboración y Examen de Tesis

Se tienen a la vista las providencias de las Escuelas de Contaduría Pública y Auditoría, Administración de Empresas y Estudios de Postgrado; en las que se informa que los estudiantes que se indican a continuación, aprobaron el Examen de Tesis, por lo que se trasladan las Actas de los Jurados Examinadores y los expedientes académicos.

Junta Directiva acuerda: 1°. Aprobar las Actas de los Jurados Examinadores. 2°. Autorizar la impresión de tesis y la graduación a los estudiantes siguientes:

Maestría en Administración Financiera
Solicitudes de Impresión 2021, Maestrías en Ciencias, plan normal
Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos

	Nombre	Registro Académico	Título de Tesis
Ref. 50-2021	<u>Kevyn Julio Juárez Najarro</u>	<u>200714420</u>	ESTUDIO DEL POTENCIAL DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA CENTROS EDUCATIVOS PÚBLICOS DEL ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE NUEVA CONCEPCIÓN, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA

3°. Manifestar a los estudiantes que se les fija un plazo de seis meses para su graduación".

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

LIC. CARLOS ROBERTO CABRERA MORALES
SECRETARIO



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por todas las bendiciones que me regala en la vida. Y me ha permitido culminar esta meta.
- Mis padres** Audie Antonio Juárez Sánchez y Miriam Yolanda Najarro López, gracias por todo su esfuerzo y sacrificio, con su ejemplo me han enseñado valores que llevaré toda la vida. Qué Dios los bendiga.
- Mis abuelos** Julio Juárez, Alicia Sánchez, Anselmo Najarro y Virgilia López (+), por su cariño y oraciones que me acompañan siempre.
- Mis hermanos** Audie, Steaven y Randy Juárez Najarro, que con su ejemplo me han enseñado que toda meta se puede lograr con esfuerzo y fuerza de voluntad.
- Mis tíos** Por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.
- Mis sobrinos** Con mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Casa de conocimiento. Grande entre las del mundo.

Facultad de Ciencias Económicas

Donde forjé mis conocimientos.

Mis compañeros de promoción

Por los momentos que compartimos a lo largo de la formación académica.

Dr. Abelardo Medina

Por compartir sus conocimientos.

Índice

Resumen	i
Introducción	iii
1. Antecedentes	1
1.1. Referente teórico	2
1.1.1. Evolución y corrientes.....	3
1.1.2. Autores principales.....	4
1.1.3. Etapas de desarrollo del mercado eléctrico	8
1.2. Referencias empíricas	10
1.2.1. Modelos en la región latinoamericana.....	11
1.2.2. Metodologías de estimulación de proyectos fotovoltaicos en Centroamérica	15
1.2.3 Escenarios de implementación.....	15
1.3. La electrificación para promover el desarrollo económico	18
1.4. Indicador: consumo de energía	23
1.5. Generación Distribuida Renovable	24
1.5.1. Normas Técnicas aplicadas a la generación de energía renovable.....	33
1.6. La electrificación y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	33
1.7. La educación en Guatemala	35
1.7.1. Asistencia escolar en el municipio de Nueva Concepción, Escuintla.	38
2. Marco Teórico	43
2.1. Política energética del Ministerio de Energía y Minas	43
2.1.1. Mercado eléctrico nacional	44
2.2. Marco regulatorio	47
2.2.1. Marco regulatorio para la generación de energía renovable	47
2.3. Índice de cobertura eléctrica	48
2.3.1. Electrificación a nivel mundial	49
2.3.2. Electrificación en Guatemala	50
2.4. Sistemas de generación fotovoltaica	52
2.4.1. Tipos de paneles para un sistema eléctrico fotovoltaico.....	53
2.4.2. Tipos de instalaciones fotovoltaicas.	53
2.4.3. Costo por vatio (Watt) de paneles solares.	55

2.4.4. Dimensionamiento de los componentes	58
2.5. Infraestructura Educativa.....	59
2.6. Análisis socioeconómico de Nueva Concepción	66
2.7. Teoría sobre la evaluación financiera.....	68
2.8. Teoría de análisis ambiental	73
3. Metodología	77
3.1. Definición del problema	78
3.2. Objetivos	80
3.3. Hipótesis.....	80
3.4. Método científico	82
3.5. Período histórico	82
3.6. Ámbito geográfico de la investigación	83
3.7. Universo y tamaño de muestra.....	84
3.8. Técnicas de investigación aplicada.....	84
4. Análisis y discusión de resultados	91
4.1. Resultado de las encuestas a los centros educativos	91
4.1.1. Cantidad de centros educativos con electrificación.	91
4.1.2. Cantidad de alumnos por centro educativo.	92
4.1.3. Número de aulas.	94
4.1.4. Cantidad de sanitarios.	96
4.1.5. Cuota mensual promedio por pago de energía eléctrica.	97
4.2. Propuesta de solución integral de generación de energía fotovoltaica: tipo A y tipo B	98
4.2.1. Requerimientos de diseño.	99
4.3. Análisis de la radiación solar para el diseño	99
4.4. Diseño del sistema fotovoltaico del centro educativo tipo A	103
4.5. Diseño del sistema fotovoltaico del centro educativo tipo B	109
4.6. Funcionamiento de ambos sistemas fotovoltaicos: tipo A y tipo B	114
4.7. Análisis de costos del sistema fotovoltaico.....	115
4.7.1 Análisis de costos para el Sistema A	115
4.7.2 Análisis de costos para el Sistema B	122
4.8. Descripción del proceso de instalación del proyecto	127
4.9. Análisis sobre índice de electrificación.....	128

4.10. Análisis sobre beneficios ambientales	130
4.11. Análisis sobre beneficios sociales	133
4.12. Beneficios del proyecto: tabla resumen	135
Conclusiones y recomendaciones	137
Anexos	141
Bibliografía	163

Resumen

Una de las quejas más frecuente en los centros educativos del área rural de Guatemala, es la falta de energía eléctrica. Según Héctor Canto, exviceministro de educación, durante el 2018, el Ministerio de Educación recibió más de 1,200 denuncias de establecimientos educativos de la provincia por la falta de algún servicio, por lo que al menos 5,000 escuelas de todo el país no cuentan con energía eléctrica. (Guatevisión, Noviembre, 2019)

Esta situación es problema para los centros educativos debido a que la ausencia de electrificación en las comunidades rurales, por problemas como largas distancias, difícil acceso y falta de infraestructura, reduce el desarrollo educativo de los estudiantes afectando el contexto social y económico de sus comunidades y de la sociedad guatemalteca. Estas comunidades se ven aisladas del acceso a servicios, como la energía eléctrica, lo que afecta no solo a las viviendas sino también a los centros educativos.

Partiendo de esta situación, se realizó una propuesta de solución integral y eficiente de generación de energía en dos tamaños de centros educativos del área rural del municipio Nueva Concepción, departamento de Escuintla, con la que se estima se mejoraría el índice de electrificación que beneficiaría al desarrollo educativo de los estudiantes, y por ende su calidad de vida. Se detalló las necesidades de suministro eléctrico, los costos y características de los sistemas fotovoltaicos.

La investigación asumió que la aplicación de sistemas fotovoltaicos tiene una importante influencia sobre el desarrollo de los alumnos y docentes en los centros educativos, puesto que permite implementar sistemas que mejoran el proceso de enseñanza. Por ello, la mejora en el acceso a la electrificación de centro educativos en áreas rurales del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla, implica el fortalecimiento

de las comunidades para que tengan fuentes alternativas de energía y la usen eficientemente.

La comprobación de la investigación se realizó a través de un proceso de muestreo con herramientas como encuestas y entrevistas, en donde se obtuvo información de la demanda del servicio de energía requerida por los centros educativos del área delimitada. Se realizó un análisis técnico-económico del potencial que tienen los sistemas fotovoltaicos en su instalación y operación, según los criterios de la metodología técnica.

Se confirmó que la implementación de sistemas de generación fotovoltaica tiene potencial de generación alternativa, continuidad del índice de electrificación de centros educativos y aporte al proceso de enseñanza e influyeron en el desarrollo de los alumnos y docentes, consecuentemente el aumento de bienestar por el acceso a servicios básicos derivados de la utilización de energía eléctrica.

Así, los principales aportes que se obtuvieron durante el desarrollo de la investigación son: la determinación del potencial de autonomía en el servicio de energía eléctrica de los centros educativos, para promover el aumento de bienestar por acceso a servicios básicos a partir de la utilización de energía eléctrica, y el diagnóstico del potencial de recursos naturales aprovechables para cumplir con las necesidades básicas como la educación.

Finalmente, entre los principales resultados destacan dos propuestas de sistemas fotovoltaicos, cumplen con los requerimientos y características técnicas para los centros educativos en análisis; y que en conclusión sí incide positivamente en la electrificación de estos, obteniéndose beneficios de carácter ambiental, económico y social para las personas de la comunidad educativa.

Introducción

En Guatemala, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) es la institución encargada de estudiar y fomentar el uso de fuentes nuevas y renovables de energía; promover su aprovechamiento racional y estimular el desarrollo y aprovechamiento racional de energía en sus diferentes formas y tipos, procurando una política nacional que tienda a lograr la autosuficiencia energética del país. (Congreso de la República de Guatemala, 1997).

Además, el MEM tiene como objetivo orientar los esfuerzos para aumentar el índice de electrificación en el territorio nacional, a través de las direcciones e instituciones pertinentes, según la Política Nacional de Electrificación Rural 2020-2032.

El inciso a) del artículo 4 del Decreto No. 64-94, establece que el INDE podrá realizar todas las acciones orientadas a dar solución pronta y eficaz de la escasez de energía eléctrica en el país y procurar que haya en todo momento energía disponible para satisfacer la demanda normal, para impulsar el desarrollo de nuevas industrias y el uso de electricidad en las regiones rurales, atendiendo las políticas que para ello defina el Estado. (Congreso de la República de Guatemala, 1995)

Guatemala ha alcanzado grandes avances en las últimas dos décadas, con programas y proyectos de electrificación rural, los cuales fueron financiados por medio del Instituto Nacional de Electrificación, por lo cual ha alcanzado un índice de electrificación nacional del 94.4%. (INDE, 2019).

Según el reporte anual del Banco de Guatemala (2019), el país ha ido mejorando en sus distintos sectores con el crecimiento económico.

Como consecuencia del aumento en el número de habitantes, cada vez es mayor la demanda de energía que el país requiere, produciéndose una relación directa entre economía y energía. El desafío que Guatemala enfrenta hoy, así como varios otros países del mundo, es contar con recursos energéticos aptos y accesibles para aportar con el desarrollo sostenible que requiere la sociedad.

Las personas necesitan cubrir la demanda de energía útil en actividades de vital importancia para el desarrollo social y productivo de las comunidades. Actividades como la producción de alimentos, asistencia en servicios de salud, bombeo de agua potable, centros educativos y vivienda, son algunas de las actividades que demandan de un abastecimiento energético.

Para la población guatemalteca es necesaria la disponibilidad de la energía eléctrica debido a que la misma es un insumo necesario para mejorar las condiciones y calidad de vida; su alcance, continuidad y cobertura impactan directamente en los índices de desarrollo económico y social de la sociedad, y por lo tanto en la productividad.

La investigación analizó el problema de ausencia o limitación del acceso al servicio de energía eléctrica a centros educativos en las áreas rurales, debido a largas distancias, difícil acceso y falta de infraestructura, para llevar la energía hasta donde se requiere. El supuesto fundamental es que la aplicación de sistemas de energía fotovoltaica puede mejorar el acceso y continuidad de la electrificación de escuelas rurales del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla.

Partiendo de esta situación se realizó una propuesta de solución integral y eficiente de generación de energía en dos tamaños de centros educativos del área rural del municipio Nueva Concepción, departamento de Escuintla, con lo cual se mejora la continuidad del servicio de electrificación que beneficia al desarrollo educativo de los estudiantes, y por ende mejoren su calidad de vida. Se detalló las necesidades de suministro eléctrico, los costos y características de los sistemas fotovoltaicos.

La investigación asumió como hipótesis, que la aplicación de sistemas de energía fotovoltaica tiene una importante influencia sobre el desarrollo de los alumnos y docentes en los centros educativos, puesto que permite implementar sistemas que mejoran el proceso de enseñanza y mejora el acceso a la electrificación de centro educativos en áreas rurales del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla. Con el propósito de lograrlo, es necesario informar a las comunidades para que tengan acceso a energía y la usen eficientemente.

Atendiendo a que la falta de desarrollo debido a la carencia de servicios básicos y el consumo energético no sostenible de los recursos naturales, impactan negativamente a corto, mediano y largo plazo. (Jiménez Herrero, 2000)

La propuesta plantea que la falta de opciones para la electrificación de centros educativos en el área rural sea resuelta a través de alternativas de generación fotovoltaica. También se analiza el potencial de eficiencia energética y muestra que existen claras alternativas accesibles en cuanto a costos, los cuales se estiman a partir de una metodología basada en la demanda, por medio de una proyección de las necesidades futuras de electricidad en los centros educativos rurales.

Ante esta situación, se reclaman nuevos paradigmas científicos, económicos y tecnológicos para encarar los nuevos problemas mundiales y hacer frente a un porvenir cada vez más incierto. Entre las nuevas orientaciones que surgen para responder a la crisis, emerge de forma contundente la idea de generación energética con sostenibilidad para impulsar nuevos procesos de desarrollo, que sean ambientalmente responsables, socialmente justos y económicamente viables.

Actualmente las alternativas tecnológicas permiten considerar la auto producción de energía y las redes aisladas de distribución eléctrica, afortunadamente, en Guatemala, existe legislación en el tema, que incentiva y aporta un marco legal estableciendo reglamentos para su regulación.

En el otro vector de análisis de la tesis, es importante comentar que el Ministerio de Educación de Guatemala se enfrenta, entre otros, a dos retos fundamentales en educación:

- a. Mejorar las instalaciones de los centros educativos para que cuenten con condiciones mínimas para el desarrollo de las actividades educativas.
- b. Aumentar la calidad educativa que reciben los niños y jóvenes alumnos en los centros educativos, principalmente en las áreas rurales del territorio guatemalteco.

Para apoyar estas dos áreas es necesario un conjunto de acciones integradas que produzcan cambios, por lo que esta investigación plantea un análisis de la situación de

acceso a electrificación de los centros educativos, en el municipio de Nueva Concepción, del departamento de Escuintla, a partir de la solución de las siguientes preguntas:

¿hasta dónde y cómo beneficiaría a la educación en el área rural la electrificación de escuelas por medio de sistemas fotovoltaicos?

¿de qué manera un proyecto de electrificación fotovoltaica de los centros educativos en el municipio de Nueva Concepción, del departamento de Escuintla, aportara al desarrollo económico y ambiental?

La presente investigación propone incrementar la cantidad de centros educativos con acceso a la electricidad de forma sostenible y continua, aumentando el índice de cobertura eléctrica considerando la implementación de tecnologías de abastecimiento solar, a través de una metodología que permita establecer el potencial de los sistemas fotovoltaicos, incentivando el desarrollo educativo de los alumnos de estos centros educativos.

En términos generales se puede afirmar que el capítulo uno aborda los antecedentes de referencias comparadas para la región; es importante comentar que la tecnología fotovoltaica ya ha sido utilizada en otros países, y para documentar dicho extremo basta con ver el entorno energético regional, en países como Costa Rica, México, Chile y Argentina, que tienen actualmente en operación proyectos de electrificación de centros educativos por medio de sistemas fotovoltaicos, contribuyendo a mejorar los índices de acceso a la energía de los centros educativos.

De esta forma se benefician de varias formas a los alumnos, docentes y administrativos de esos lugares, por lo que dichos países proyectan de manera continua ampliar este tipo de iniciativas hacia otras comunidades necesitadas de proyectos que impulsen el bienestar y desarrollo de la sociedad.

En el capítulo dos de la investigación se analizó los antecedentes sobre la electrificación en Guatemala, las instituciones a cargo de la operación y regulación del tema eléctrico. Datos sobre la electrificación del área rural, específicamente en Escuintla. Así como una descripción general de los sistemas de generación fotovoltaica, sus elementos y

características técnicas. Además, en este capítulo se desarrolla la teoría sobre el análisis financiero básico y análisis de beneficios ambientales al proyecto.

En el capítulo tres se desarrolló la estrategia de razonamiento lógico deductivo que se utilizó en la investigación, usando principios generales para llegar a un análisis y conclusión específica. Para el efecto también se utilizó la metodología de encuestas y cuestionarios hacia los directores de los centros educativos en análisis, ubicados dentro del área delimitada con el objetivo de conocer a mayor detalle su demanda de energía. Además, se realizaron entrevistas a expertos en empresas especialistas en proyectos de energía fotovoltaica.

En el capítulo cuatro, se analizó los resultados sobre la necesidad de electrificación de los centros educativos, planteando los requerimientos técnicos que los centros educativos demandan, tipificados en dos tamaños de centro educativo. Se desarrolló el potencial técnico que este proyecto tiene en la aplicación para los centros educativos y los beneficios que se obtienen para la comunidad educativa. Además, se indicaron los beneficios económicos y ambientales en el contexto de desarrollo de este proyecto.

Como parte de las conclusiones, se confirmó que la implementación de sistemas fotovoltaicos tiene potencial de generación alternativa, mejoran el índice de electrificación de centros educativos y aportaron al proceso de enseñanza, influyendo en el desarrollo de los alumnos y docentes, aportando al aumento de bienestar por el acceso a servicios básicos derivados de la utilización de energía eléctrica. También se busca que tengan la suficiente capacidad de suministro eléctrico para implementar herramientas didácticas tecnológicas, como laboratorios de computación y acceso a internet, aunque estos temas no se abordaron en esta investigación.

Finalmente, se sugiere este proyecto como ejemplo para fomentar en el sector estudiantil y docente el uso sostenible de los recursos naturales, la reducción de la huella de carbono y la protección al medio ambiente.

1. Antecedentes

Desde el invento de la electricidad, la humanidad ha evolucionado rápidamente. La energía modificó la forma en que se desarrollan todas las actividades; desde las más básicas hasta procesos sofisticados en la actualidad, han sido impulsados por la energía, por lo tanto, los antecedentes abordaron las corrientes teóricas más importantes en relación con el vínculo entre la energía y el desarrollo de la humanidad a lo largo de la historia.

Edmund Becquerel (1820-1891), físico francés, fue el primero en descubrir en 1839 que ciertos materiales podían generar pequeñas corrientes eléctricas cuando eran expuestos a la luz. El siguiente paso lo dio en 1873 Willoughby Smith, al observar el efecto fotovoltaico que ya había descubierto Bequerel, pero esta vez en un medio sólido como el selenio.

Sin embargo, a partir de aquí se necesitaron más de 100 años para que la tecnología solar fotovoltaica alcanzase un grado de desarrollo que permitiese su uso en aplicaciones prácticas. Entre estos años, Albert Einstein gana el premio Nobel en 1921, por sus teorías de 1904, en las que explicaba el efecto fotovoltaico. Éste último hallazgo condujo en 1977 a W. G. Adams y R. E. Day a producir su primera célula fotovoltaica fabricada en este tipo de material.

La generación de energía se ha diversificado en distintas formas de tecnología. El uso generalizado de la energía surgió durante el final del siglo XIX y principios del XX, a partir de una combinación entre la ciencia que concibió las leyes que rigen el electromagnetismo, y la tecnología que llevaron a la práctica en sus principios científicos como Tomas Alba Edison, Nicolas Tesla y George Westinghouse, quienes invirtieron recursos en buscar formas más eficientes de generación de energía.

La generación de energía eléctrica en Guatemala se inició en 1884 al instalarse la primera hidroeléctrica en la finca El Zapote. Al año siguiente se formó la Empresa Eléctrica del Sur por empresarios alemanes que instalaron la hidroeléctrica Palín, la cual brindó servicio a los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla. (Urizar, 2016, p.10).

Este capítulo está estructurado principalmente en dos grandes secciones, primero se desarrolló el aspecto teórico referencial de la electrificación, la generación de energía descentralizada y el estado del índice de electrificación en Guatemala. También se aborda lo planteado por tres autores de temas energéticos: Carta, Calero, Colmenar y Castro (2009), D.P. Kaundinya (2009), Koberle A. (2012). Además, se hace referencia a la información histórica de las instituciones relacionadas a la regulación y administración del mercado eléctrico en Guatemala.

Por su parte, las experiencias empíricas abordaron el estudio de países que, en la búsqueda de una solución a la falta de electrificación en áreas rurales, realizaron esfuerzos exhaustivos para implementar proyectos alternativos de generación de energía y los resultados que se han obtenido de esas prácticas.

1.1. Referente teórico

La energía es una de las riquezas más importantes que puede tener un Estado, para su crecimiento y desarrollo económico. Las implicaciones económicas y sociales de la energía, sobre el desarrollo han generado que sea un factor primordial que considerar por los gobiernos, por lo que es importante salvaguardar la seguridad energética en todos los países del mundo. (Rodríguez, 2018, p.19)

En general, en Guatemala la ausencia del servicio de energía está relacionado con el bajo desarrollo socioeconómico de las comunidades, por lo tanto, para evaluar el acceso al servicio de energía eléctrica de un centro educativo público, es pertinente evaluar la implementación de alternativas de aprovechamiento de la electricidad.

Rodríguez (2018) afirma: “es determinante para los países en vías de desarrollo, ya que la energía es un bien necesario para vincular tecnología, capital y por lo tanto productividad y desarrollo en estos lugares” (p.20).

Aunado a esto, se hace necesario analizar técnicamente la generación fotovoltaica como alternativa para el incremento del índice de electrificación principalmente del área rural; dando lugar a las energías renovables distribuidas para fortalecer la seguridad energética.

1.1.1. Evolución y corrientes

“En Guatemala, el Congreso presentó la iniciativa de Ley de Energía Renovable de 1986 buscando promover el interés de la inversión privada; en 1990, el 92.0% de la electricidad en Guatemala todavía era generada por empresas de servicio público” (Koberle, 2012, p.44).

A partir de ese año el mercado de energía ha evolucionado de manera positiva y ha establecido un marco regulatorio robusto que ha beneficiado al desarrollo de la industria y al crecimiento de la población.

“La distribución de energía eléctrica se ha incrementado en los últimos años, la cobertura eléctrica en Guatemala ha variado desde un 45.0% en 1995 a un 80.0% en el año 2002, hasta un 94.4% en 2019” (CNEE, 2019, p.21).

Estos datos colocan a Guatemala con uno de los países de América Latina con más avances en este sentido, debiéndose ello a una combinación en el número de usuarios conectados de oficio por las empresas distribuidoras amparados por el marco legal actual y el Programa de Electrificación Rural -PER-; la CNEE estima que con este programa se han adherido más de 130,000 nuevos usuarios en los últimos años.

Actualmente la situación del sistema eléctrico en Guatemala se describe por medio de la capacidad instalada en plantas de generación, la generación de electricidad, la caracterización de la carga y datos de consumo de energía y usuarios servidos.

Guatemala cuenta con un sistema eléctrico nacional robusto y ordenado, en comparación con otros países de la región, con un Mercado Eléctrico Nacional regulado por entes operando bajo un marco legal y normativo. Además, cuenta con una matriz energética con variedad de fuentes de generación eléctrica, 58.9% energía renovable y 41.1% no renovable, actualmente son aprovechados los recursos naturales del país. (MEM, 2019, p.25)

1.1.2. Autores principales

Las referencias teóricas de los siguientes autores auxiliaron a la formación de los criterios técnicos de la investigación. La generación de energía tiene distintas formas, con distintas perspectivas de los beneficios que generan y de los costos (factores) que consumen para el aprovechamiento de los recursos energéticos. Alrededor de cada forma de generación de energía, existen distintas opiniones acerca de si es conveniente o no la implementación de estos.

En esta investigación se citaron varios autores, de los cuales se extrajo una idea de sus puntos de vista, con el fin de tratar de comprender todas las aristas de un problema y las soluciones planteadas y dar soporte al enfoque técnico, social, ambiental y económico.

Carta, Calero, Colmenar y Castro (2009) desarrollan el concepto:

La fuente principal de energía para muchas otras tecnologías de generación parte del sol como elemento principal, pero que para la energía fotovoltaica la radiación de los rayos ultravioleta del sol es básicamente la materia prima de transformación. Sin embargo, todas las fuentes de energía producen energía eléctrica de forma indirecta a partir de los fotones del Sol. Por el contrario, la energía solar fotovoltaica produce la electricidad directamente. (p.27)

Además, establece que no toda la energía recibida del sol es transformada en energía eficientemente, y que se pierde hasta un 85% de energía en el proceso. Considerando que no toda la energía eléctrica generada en el panel se aprovecha para el consumo, ya que también existen diversas pérdidas en otros elementos de la instalación; finalmente concluye que se necesita una superficie considerable de paneles en relación con la cantidad de energía eléctrica requerida.

Kaundinya (2009) presenta la idea: “la descentralización como razón principal para el fortalecimiento y la diversificación de la matriz energética, resultando en un aumento de la seguridad energética de los países”(p.241).

En su análisis, determina que existen ventajas en una red de energía eléctrica que, por su diseño, se hace extensiva en el territorio conforme aumenta la cantidad de proyectos aislados en áreas sin electrificación convencional.

En otras palabras, los sistemas independientes a la red eléctrica, establecen un punto importante en la ampliación de la capacidad de generación de energías y que además son de beneficio para las comunidades lejanas a los centros principales de carga, o sea las ciudades más pobladas.

Sin embargo, Koberle (2012) afirma:

Que el potencial de las fuentes renovables para la generación de electricidad que no sea energía hidroeléctrica a gran escala son abundantes en Guatemala y un plan de energía integral debería tomar en cuenta y buscar explotar ese potencial. Los beneficios radican tanto en ganancias económicas como ambientales, y garantizan aún más la seguridad energética del país. (p.48)

En otras palabras, pese a que la tecnología renovable tiene costos de capital iniciales más altos en la construcción de infraestructura de generación, a lo largo de la vida de la central, las energías renovables pueden ser competitivas frente a los combustibles fósiles más eficaces en cuanto a costos, lo que incluye al carbón y el gas natural.

En forma complementaria, Benedicto López (2014) afirma:

El del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) en Guatemala, fomenta la adquisición de tecnología para producir energía solar. Durante tres años ha desarrollado una feria con el objetivo de dar a conocer a profesionales, empresarios y estudiantes la versatilidad disponible en Guatemala para generar energía limpia y de bajo costo. (p.7)

En ese sentido las instituciones nacionales hacen esfuerzos de apertura al conocimiento y aceptación de proyectos de generación de energía renovable. Es importante la continuidad de capacitación y divulgación de estos para que el mercado de generación de energía atraiga inversión privada para su crecimiento.

Por su parte, Claus Schieber (2014) de la compañía Enersol indica:

La población puede adquirir un equipo de paneles solares para calentar agua y producir electricidad por su bajo costo. Una familia de 4 miembros puede generar el 85 por ciento de su energía a través de paneles solares que tienen una garantía de 40 años de generación gratuita y amigable con al ambiente. (p.8)

En ese sentido, otras de las ventajas son que no requiere de una extensa instalación para operar, los paneles transformadores de energía pueden ser instalados de una forma distribuida en la cual los edificios ya construidos, pueden generar su propia energía de forma segura y silenciosa.

Héctor González (2008) afirma:

La generación distribuida por medio de energías alternativas renovables y su influencia en la evolución del sistema eléctrico secundario”, indica que la energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de las energías renovables en el mundo. Comparada con las fuentes no renovables, las ventajas de este tipo de energía son claras: no es contaminante, no tiene partes móviles que analizar y no requiere mucho mantenimiento. (p.118)

Aunado a esto, la energía solar no consume combustibles fósiles, no genera residuos, es totalmente silenciosa. La radiación solar es la fuente de energía para estos sistemas. Debido a sus escasos elementos móviles, ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente. Además, debido a los beneficios de carácter ambiental también se tienen ventajas sociales.

También, los sistemas fotovoltaicos resisten condiciones climáticas extremas como granizo, viento, temperatura, humedad, y puede instalarse en zonas rurales. Se puede utilizar residencias ubicadas en ambientes rurales donde no llega la red eléctrica nacional. Además, puede inyectarse y venderse el excedente de electricidad a una distribuidora eléctrica. Finalmente, se puede aumentar fácilmente la capacidad instalada de energía mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

En el marco de la seguridad energética de los gobiernos, con los sistemas fotovoltaicos no existe una dependencia de los países productores de combustibles fósiles para generar energía, tampoco se ve afectada de esta forma por variaciones internacionales del precio de petróleo.

Por otro lado, esta tecnología también presenta desventajas. La producción es variable según características climatológicas del lugar y la época del año, lo que debe ser considerado al momento de elegir el lugar de instalación del proyecto. Para reducir este efecto de variabilidad, se utilizan accesorios adicionales al sistema, como baterías para almacenamiento de energía. Otro inconveniente es el rendimiento obtenido y el espacio de terreno ocupado por los paneles captadores, por lo que el rendimiento final se estima en solo un 13 %. (Jiménez, 2002, p.804)

1.1.3. Etapas de desarrollo del mercado eléctrico

El mercado eléctrico en Guatemala ha tenido cambios radicales en los últimos treinta años. El crecimiento de la demanda de energía es cada vez mayor, debido al crecimiento poblacional y al crecimiento económico del país, lo que da lugar a la necesidad de un ordenamiento y un marco legal administrativo que regula toda la actividad relacionada al sector eléctrico.

A. Siglo veinte

En 1996, antes de la emisión de la Ley General de Electricidad, la calidad del servicio de energía constituyó un tema secundario desde el punto de vista del usuario y algunas veces del prestador de servicio. En la actualidad existe toda una normativa aprobada que con el trabajo de fiscalización que ejecuta la CNEE, la que permite que en el corto plazo los usuarios, no solo tengan la continuidad deseada en el servicio, sino que el mismo este acorde con los parámetros de calidad normadas.

Para la regulación del mercado eléctrico fue creada la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, institución que fue creada en la Ley General de Electricidad contenida en el Decreto Ley Número 93-96 del Congreso de la República, publicado en el Diario Oficial el 15 de noviembre de 1996. El Reglamento de dicha Ley está contenido en el Acuerdo Gubernativo número 256-97 publicado en el Diario Oficial el día 2 de abril de 1997.

Entre las funciones que tiene asignadas esta institución por Ley, están:

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

Funciona como mediador entre los participantes del mercado eléctrico. Las nuevas disposiciones emitidas por el Ministerio de Energía y Minas deben ser analizadas y supervisadas por la CNEE, funcionando como órgano técnico del MEM.

B. Siglo veintiuno

A partir de las modificaciones al marco normativo y legislativo entorno al Mercado eléctrico nacional, se dieron cambios en las relaciones entre los agentes del mercado.

En el interior de la República la calidad del servicio eléctrico aún es prestada de forma deficiente en algunos municipios, repitiéndose los reclamos y quejas por interrupciones y problemas de variaciones de voltaje. Tal situación tiene como causa principal redes y sistemas deficientes que fueron adquiridos por las empresas distribuidoras DEORSA y DEOCSA, y en los que actualmente se invierten importantes cantidades de dinero para su mejoramiento. (Urizar, 2016, p.40)

Por su parte, la CNEE fiscaliza que todos los planes de inversión efectivamente sean llevados a la práctica por las Empresas de Distribución. Según la CNEE, las empresas eléctricas municipales en su mayoría carecen de una administración eficiente, lo cual perjudica la calidad del servicio que se presta a los usuarios. En este sentido la Comisión Nacional de Energía Eléctrica han brindado asesoría y ayuda a dichas empresas para mejorar su administración.

En el marco regulatorio actual, la CNEE como órgano técnico ha creado una normativa específica para la operación de Generadores Distribuidos Renovables (GDRs). El 16 de septiembre de 2008, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica emitió la Resolución CNEE-171-2008, mediante la cual aprobó la Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable –NTGDR- y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía.

El objetivo de esta norma es establecer las disposiciones generales que deben cumplir los Generadores Distribuidos Renovables y los Distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables. Siendo la Resolución CNEE- 171-2008 la base de disposiciones generales que luego se adaptan a la actualidad.

El 25 de agosto de 2014, la CNEE con base en lo considerado, leyes y normativa citadas, en ejercicio de las facultades y atribuciones que le confiere la Ley General de Electricidad

y su reglamento, resuelve emitir la norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía.

La Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable -NTGDR- y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, establece las disposiciones generales que deben cumplir los generadores distribuidos renovables y los distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables. (CNEE, 2008, p.3)

La Norma NTGDR es de aplicación obligatoria para distribuidores, generadores distribuidos renovables y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, en lo que corresponda.

El artículo 3 indica que: “El objeto de esta norma es establecer las disposiciones que deben cumplir los Generadores Distribuidos Renovables y los Usuarios autoprodutores con excedentes de energía, para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables” (CNEE, 2008, pág. 269).

En los últimos 4 años, la diversificación de la matriz energética ha hecho que las distribuidoras estén interesadas en mejorar el precio a sus consumidores, contratando y promoviendo las energías renovables. Por lo tanto, los usuarios denominados autoprodutores, tienen la oportunidad a través de utilizar energías renovables, inyectar energía a la red donde están interconectados.

También es importante analizar dichos usuarios desde el punto de vista del distribuidor, ya que este debe cumplir y hacer cumplir al autoprodutor ciertos requisitos de seguridad para el mantenimiento y operación de la red.

1.2. Referencias empíricas

La generación de energía a través de sistemas fotovoltaicos se ha impulsado desde hace más de dos décadas en Latinoamérica. Son varios países los que han dispuesto orientar

sus esfuerzos tanto técnicos como económicos para la implementación de este tipo de sistemas. Las aplicaciones han sido diversas y su tecnología se ha hecho más eficiente. Esta tecnología ya ha sido utilizada en otros países; basta con ver el entorno energético regional, por ejemplo, países como Costa Rica, México, Chile y Argentina tienen actualmente en operación proyectos de electrificación de centros educativos por medio de sistemas fotovoltaicos, contribuyendo a mejorar los índices de acceso a la energía de los centros educativos.

1.2.1. Modelos en la región latinoamericana

A través del proyecto Luces Para Aprender del Ministerio de Educación Pública - MEP- y de la Organización de Estados Iberoamericanos -OEI- en Costa Rica, se ha desarrollado en ocho escuelas del área rural un proyecto concreto de electrificación en los centros educativos. Este proyecto, que desarrolla la electrificación por medio de sistemas de energía por paneles fotovoltaicos, fue ejecutado en 2017 y puesto en operación en 2018, con el propósito de satisfacer y garantizar las condiciones básicas de la enseñanza en los centros educativos. (ANER, 2017, p.1)

Se destaca que Costa Rica siguió impulsando este proyecto y expandiéndolo a otras zonas rurales, por lo que es un país pionero en la región Centroamericana, utilizando el potencial de la energización rural por energías renovables.

“Este proyecto, se alinea con el marco de las metas educativas 2021, con miras a mejorar el acceso y la calidad de la educación pública, ofreciendo mejores oportunidades a los estudiantes, aumentando la calidad educativa y acceso a la tecnología” (Mora, 2017, p.1).

Las regiones de la provincia fueron las beneficiadas de estos proyectos, específicamente el área rural de la zona costera de Limón, Costa Rica. La implementación de los sistemas fotovoltaicos ha sido de beneficio para la comunidad educativa.

Complementariamente, el proyecto de electrificación de centros educativos rurales es fundamental, tanto para los docentes como para los estudiantes; debido a que les permite contar con acceso a la electricidad y a la tecnología, lo que dinamiza el aprendizaje y brinda acceso a otras posibilidades de conocimiento. (ANER, 2017, p.2)

En la región latinoamericana también se han realizado proyectos de esta índole en el sector energético. Los gobiernos conscientes de brindar seguridad energética a sus países y con una creciente demanda del servicio eléctrico, han despertado el interés de diversificar la matriz energética.

A. Argentina

Ha impulsado políticas públicas para proyectos de electrificación por sistemas fotovoltaicos en las áreas rurales dentro de las provincias. En ese sentido (Ruocco, 2019) afirma: “En junio de 2019 se realizó el Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales de Argentina, siendo beneficiadas 141 escuelas de las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Mendoza y Tucumán con sistemas fotovoltaicos” (p.2).

Si bien más del 95% de los habitantes de este país suramericano cuentan con red eléctrica, la realidad es que quienes viven en zonas alejadas de los grandes centros urbanos suelen tener problemas para acceder a este servicio.

Con este proyecto, desde 2019 las escuelas cuentan con acceso a la energía. “Este es un hecho relevante y auspicioso, teniendo en cuenta la crisis generada por las tarifas eléctricas” (Ruocco, 2019, p.3). Esto demuestra que Argentina se suma a los países que han optado por medidas de implementación de tecnología fotovoltaica aportando a centros educativos rurales.

En Argentina ya se han realizado varias instalaciones de este tipo en el ámbito estatal. Se destaca la instalación de paneles solares en el edificio de la Legislatura Porteña, en la Ciudad de Buenos Aires, cuyo objetivo fue generar una parte de la electricidad básica para asegurar su funcionamiento.

Este tipo de experiencia puede formar parte de un proyecto más extensivo que sirvió para impulsar otras iniciativas en otros edificios públicos, como escuelas, hospitales. Los proyectos de energía fotovoltaica ayudan a saldar una deuda social en las escuelas del interior en un escenario de creciente desigualdad.

En el siglo XXI, la falta de atención a la demanda de electricidad, un servicio indispensable para una buena calidad de vida no está cubierta en muchos establecimientos educativos rurales, es sin dudas, una de razones por las cuales se incrementa la vulnerabilidad social. (Rigoz, 2019, p.2)

Por lo tanto, es en escenarios de este tipo, donde se hace evidente que la diferencia en la calidad educativa contribuye a la desigualdad entre regiones urbanas y rurales de un mismo país. En las reuniones internacionales se discuten temas de índole energético con el objetivo de impulsar la sostenibilidad de los proyectos.

En la III Cumbre Empresarial de las Américas, que tuvo lugar en Perú en el 2017, uno de los temas centrales fue El uso sostenible de los recursos naturales y la inversión en energías renovables son imperativos para satisfacer la demanda de América Latina y el Caribe. En esta reunión se destaca la participación en proyectos de energía solar de varios países de América latina que proporcionan lecciones para la región. (ANER, 2017, p.7)

B. Chile

El mercado eléctrico de Chile ha experimentado un crecimiento significativo. La calidad del recurso solar, la estabilidad regulatoria y la disponibilidad de los contratos de compraventa de energía con las empresas privadas autorizadas por la Comisión Nacional de Energía de Chile, son la base normativa para que los proyectos de energía solar sean viables, y el financiamiento esté disponible para bancos locales e internacionales. La CNE (2008) afirma:

Desde la emisión de la Ley de Energías Renovables No Convencionales en 2008, la capacidad solar instalada ha aumentado de cero en 2008 a más de 1.6 GW al

2017. Dando paso a fortalecer la confianza de inversionistas tanto chilenos como internacionales a la implementación de proyectos semejantes. (p.12)

C. México

“El desafío principal para los desarrolladores de proyectos en materia de energía solar ha sido la competitividad del mercado, lo que permite rendimientos bajos, que dependen del acceso a financiación de largo plazo” (CFE, 2018, p.14).

Por lo tanto, este país tiene un marco regulatorio revisado para incentivar la energía renovable. El carácter no probado de la nueva regulación mexicana no ha limitado la bancabilidad de los proyectos solares, a través de contratos de compraventa de energía con la Comisión Federal de Electricidad o con empresas privadas solventes.

D. Brasil

La Agencia Brasileña de Regulación de la Electricidad a través de licitaciones de energía ha estimulado con éxito el desarrollo de la energía eólica, pero la energía solar ha tenido un lento desarrollo. El riesgo es afectado por temas políticos, económicos y regulatorios, por lo tanto, frena el crecimiento.

Además, debido a los problemas económicos de Brasil, el financiamiento tradicional a largo plazo de los bancos comerciales no está disponible a tasas que hagan viable los proyectos. Los desarrolladores solares, con contratos de compra de energía ganados en las licitaciones de energía, han buscado financiamiento del Banco de Desarrollo de Brasil, ya que proporciona tasas de interés subvencionadas y otros términos favorables. (ANEEL, 2018, p.16)

“El compromiso de la región latinoamericana con la inversión en energías renovables parece fuerte. La expansión hacia mercados jóvenes es clave para promover la energía solar en América Latina y el Caribe” (Robberechts, 2020, p.6).

Múltiples países de América Latina y el Caribe, beneficiados por sus recursos y un marco regulatorio avanzado, han experimentado un rápido crecimiento en proyectos de energía

solar, durante los últimos años. Los proyectos a escala de servicios públicos tienden a percibirse comercialmente viables y reciben financiamiento privado, mientras la generación de energía fotovoltaica aumenta.

1.2.2. Metodologías de estimulación de proyectos fotovoltaicos en Centroamérica

Guatemala tiene vigente el Decreto Ley 52-2003 por medio del cual se crea un incentivo para proyectos de energía renovable. Éste dispone de incentivos en la forma de exenciones fiscales, que incluyen la exención del impuesto a las importaciones sobre equipo y servicios durante la fase de implementación y una exención fiscal del impuesto sobre los ingresos del proyecto los primeros 10 años de operación. El Decreto también dispone de 10 años de exención fiscal sobre inversiones en energía renovable para las empresas comerciales y agrícolas.

“Las subastas de contratos de energías limpias están aumentando en 2018 y se estima un mayor despliegue de estas energías en el futuro. Además de un incremento sustancial de las inversiones en energía solar en Centroamérica” (Ventura, 2018, p.8).

Los esfuerzos implementados anteriormente han dado resultados de éxito. En Guatemala se instaló en enero de 2014 un proyecto de energía solar por 50 MW ubicado en el municipio de Chiquimulilla y en mayo de ese mismo año inició operaciones otro proyecto solar de 5 MW en Zacapa.

1.2.3 Escenarios de implementación

Se observa que en la región centroamericana y también localmente, los proyectos de generación de energía con sistemas solares fotovoltaicos han ido surgiendo cada vez más. Tanto los proyectos de la iniciativa privada como de la iniciativa pública pueden verse potencializados utilizando nuevas tecnologías de generación energética desde distintos puntos de vista técnico-económicos, característicos de estas dos iniciativas de proyecto.

Guatemala necesita empoderar a las comunidades del área rural con proyectos que estimulen la mejora de las actividades básicas, que fomenten bienestar, la creación de fuentes de empleo y mejora en la productividad. En ese sentido, la educación es un eslabón básico para el desarrollo de toda comunidad, por lo que los proyectos de electrificación son necesarios para su fortalecimiento y permitir que se brinde educación más tecnificada.

Es fundamental para la sociedad guatemalteca enfrentar los requerimientos implícitos para el desarrollo sostenible. Aunque el país es signatario de los acuerdos internacionales correspondientes a la Agenda ODS 2030, es necesario el involucramiento de la población en general y principalmente de iniciativas públicas y privadas para lograr mejoras en los entornos económico, social y ambiental de Guatemala.

A. Publica

Gustavo Suárez, exdirector del programa del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) “Producción más Limpia”, comentó que la política del Gobierno contempló la creación de incentivos económicos y de financiamiento a instituciones gubernamentales y privadas para generar energía limpia.

“La política nacional también establece la concientización para generar ahorros en materia prima, insumos y energía, así como instrumentaliza los incentivos fiscales y económicos. La inversión en energía solar puede patrocinarse por medio de esta política”. (MARN, 2014, p. 5)

Por otro lado, para generar proyectos de iniciativa pública, de electrificación con energía fotovoltaica en las áreas rurales de Guatemala, primero se debe analizar técnicamente. Por ejemplo, resolver el cuestionamiento específico sobre: ¿Cuánta energía pueden producir los paneles solares? La clave para responder se basa en una serie de factores que inciden directa e indirectamente en el resultado, por ejemplo, la ubicación del proyecto y la época del año.

Para conocer el potencial de radiación fotovoltaica en el lugar de interés para la investigación, se visitó la página web de la Agencia de Satélites de Estados Unidos analiza por medio de software los mapas de radiación solar (Anexo No.1). Con esta herramienta tecnológica se puede saber exactamente el nivel del potencial solar que se puede captar por los sistemas de generación de energía fotovoltaica dependiendo de la ubicación geográfica. Específicamente, analizando el área rural del municipio de Nueva Concepción, Escuintla se determinó que es una de las mejores áreas en Guatemala para proyectos con potencial para generar la energía solar.

Según el listado controlado de escuelas oficiales elaborado por el Ministerio de Educación de Guatemala -MINEDUC-, en el municipio de Nueva Concepción Escuintla, existen 135 centros educativos de carácter público, que brindan el servicio de educación a estudiantes de nivel preprimario, primario, básico y diversificado. (MINEDUC, 2020, p.2)

Todos los centros educativos demanda el servicio de energía eléctrica como parte de los servicios fundamentales para el desarrollo de las actividades académicas con los estudiantes.

B. Privado

En el ámbito privado también se han realizado proyectos con tecnología solar fotovoltaica para producir energía. Por ejemplo, en 2019 la empresa privada Kimberly-Clark ha ejecutado la electrificación con sistemas fotovoltaicos de su centro de distribución y área administrativa ubicada en la zona 12 del municipio de Guatemala.

Díaz (2019), gerente de energía de Kimberly-Clark Latinoamérica afirma:

El proyecto es el de mayor capacidad de generación eléctrica, entre todos los países que integran la región de Latinoamérica de la compañía. El sistema está constituido por 461 paneles solares y estos son capaces de producir en promedio 250.6 MWh anuales, la energía equivalente al consumo anual promedio de 70 casas en el municipio. (p.8)

En operación este proyecto desde agosto de 2019 y proyecta recuperar en corto tiempo la inversión realizada para la construcción del sistema solar fotovoltaico. Además, se alinea con los objetivos que la empresa tiene en reducir el impacto ambiental en cada uno de los procesos. Cornejo (2019), gerente general de la empresa, tienen como estrategia reducir en un 20% sus emisiones de dióxido de carbono para el año 2022.

1.3. La electrificación para promover el desarrollo económico

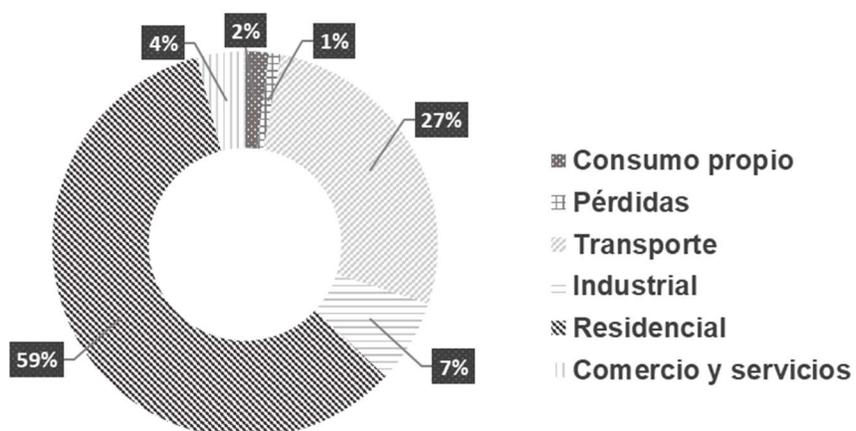
“La electrificación de la economía y de la sociedad en los próximos años será un elemento clave para avanzar en los objetivos de descarbonización.” (Serrano, 2018, pág. 9)

Los índices de electrificación son representados con variables que están relacionadas con el desarrollo de las comunidades. Actuar en la mejora de eficiencia en la generación y consumo de electricidad es una medida costo efectiva en un plazo temporal manejable; las estadísticas sostienen que la electrificación puede ser considerada como un requisito para aumentar la productividad y la generación de empleo, promover mejores niveles de vida a través de la salud, la educación y comunicación.

Según la CNEE (2018) “el consumo total de energía a nivel nacional se segmenta por sectores de la economía, que representan diferentes actividades relacionadas al desarrollo económico.” (p.65)

La gráfica No.1 muestra el consumo energético por sector en Guatemala para 2018.

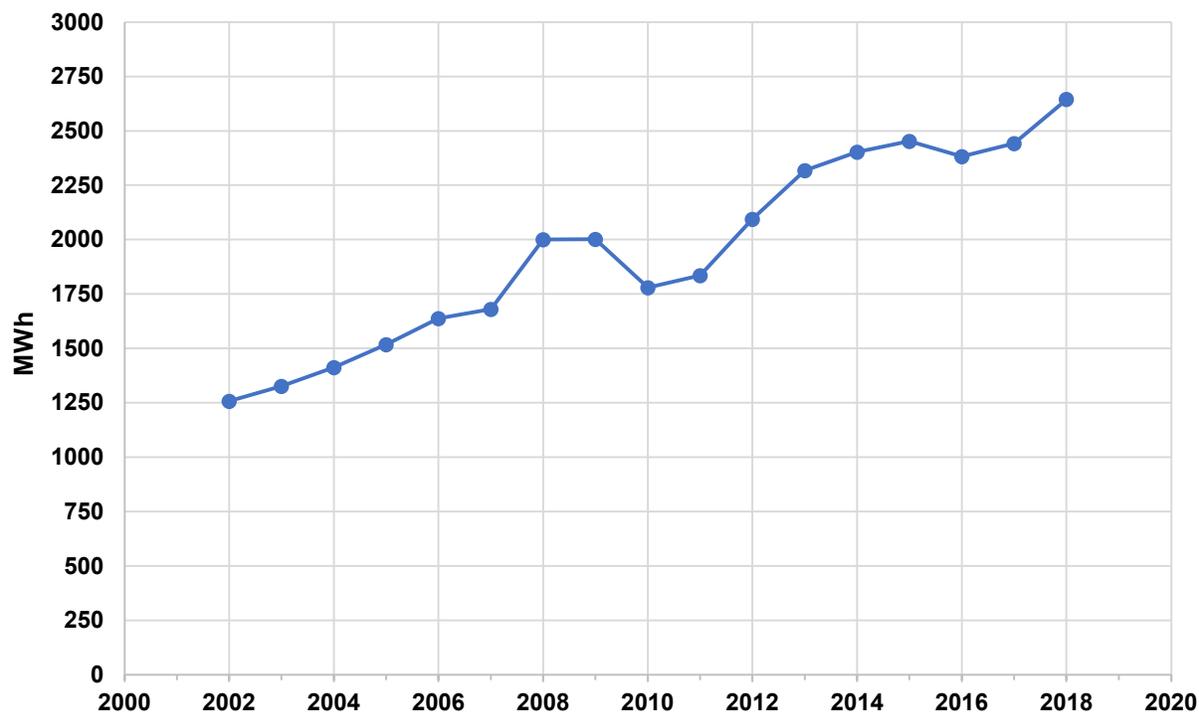
Gráfica 1. Guatemala: consumo energético por sector, 2018.



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del MEM, Informe estadístico, 2018.

El sector residencial figura con el mayor porcentaje de la demanda de energía del país, siendo los dispositivos electrónicos y electrodomésticos el componente de mayor crecimiento de carga energética. El aumento de vivienda vertical en las áreas urbanas, principalmente en los municipios del departamento de Guatemala, ha incrementado sustancialmente la demanda de energía en el sector residencial. El uso de energía para cocción de alimentos, confort de temperatura, aire acondicionado y la iluminación son los principales consumos de energía en el área urbana.

Gráfica 2. Guatemala: consumo de energía eléctrica por el sector residencial, a nivel nacional, en MWh. Período 2000-2018



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del MEM.

La curva de consumo de energía en el sector residencial a nivel nacional representa los datos históricos desde el 2002 hasta el 2018. De esta información se conjetura que las tendencias de consumo de energía eléctrica reportan crecimiento, considerando que han existido períodos de tiempo específicos que presentan consumos menores respecto a los años anteriores. Sin embargo, es interesante analizar que este consumo de energía no es igual en todos los departamentos y municipios de Guatemala.

Tabla 1. Guatemala: estructura de la frecuencia de consumo de electricidad, sector residencial. Datos en %. Período 2018-2019

Departamento	0 a 10 kWh	11 a 100 kWh	101 a 200 kWh	201 a 300 kWh	Mayor a 301 kWh
Alta Verapaz	21.8%	61.7%	13.5%	2.9%	0.1%
Baja Verapaz	23.9%	61.5%	12.1%	2.4%	0.0%
Chimaltenango	11.7%	65.6%	20.2%	2.5%	0.0%
Chiquimula	18.6%	62.0%	15.8%	3.5%	0.0%
El Progreso	15.6%	64.2%	17.5%	2.6%	0.1%
Escuintla	9.5%	45.8%	40.8%	3.8%	0.1%
Guatemala	10.1%	39.7%	43.0%	7.0%	0.2%
Huehuetenango	20.9%	70.2%	7.6%	1.2%	0.0%
Izabal	18.6%	54.8%	21.0%	5.5%	0.1%
Jalapa	13.8%	70.3%	13.5%	2.4%	0.0%
Jutiapa	14.3%	67.8%	15.4%	2.5%	0.1%
Petén	15.5%	60.6%	19.5%	4.3%	0.1%
Quetzaltenango	15.5%	67.8%	14.4%	2.3%	0.0%
Quiché	22.0%	66.7%	9.6%	1.6%	0.0%
Retalhuleu	13.0%	63.0%	20.6%	3.4%	0.1%
Sacatepéquez	7.6%	41.0%	46.7%	4.6%	0.1%
San Marcos	19.8%	66.8%	11.2%	2.2%	0.0%
Santa Rosa	13.7%	63.1%	20.1%	3.1%	0.0%
Sololá	12.3%	69.6%	15.3%	2.7%	0.1%
Suchitepéquez	11.7%	65.2%	19.8%	3.2%	0.1%
Totonicapán	17.8%	69.3%	11.1%	1.8%	0.0%
Zacapa	19.6%	57.7%	16.8%	5.8%	0.1%

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del MEM, Plan indicativo de electrificación rural, 2020.

Es importante resaltar, a partir de los datos de la tabla No.1, que los departamentos que tienen municipios con mayor índice de desarrollo local tienen mayor frecuencia de usuarios con consumo de energía mayor; por ejemplo, los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez. Por lo tanto, se interpreta que el consumo de energía en estos departamentos está vinculado directamente con el desarrollo económico de sus habitantes.

En lo que refiere a la educación, el acceso a la electrificación permite ampliación de tiempo disponible para el estudio en jornadas vespertinas, el desarrollo de tecnología dentro de los salones de clase, la transmisión de conocimientos por medio de las telecomunicaciones y acceso a la educación a distancia.

En general, la necesidad del servicio de electricidad es colateral al acceso de internet para acceder a la educación en las condiciones de crisis como las del año 2020, que obligaron a las personas al confinamiento y cuarentena.

En el caso específico de Guatemala, el Censo Nacional de Población realizado en 2018, reveló que el 29.3% de personas en el país usan el servicio de internet. El resultado indica que un total de 3.672.979 personas censadas a partir de los 7 años usa internet, además, solo 566,736 hogares disponen del servicio de internet residencial. (INE, 2018)

Esta es una descripción en general de las implicaciones del acceso a la energía eléctrica. Las personas en las regiones más pobres tienen menos probabilidades de estar conectadas, al igual que las poblaciones que viven en zonas remotas o rurales. Y en muchos casos, la conectividad puede ser endeble, además que los cierres de espacios públicos han cortado el acceso de internet para muchos.

“En Guatemala algunos establecimientos educativos que no cuentan con suficientes recursos para dar clases en línea han optado con crear perfiles en redes sociales para compartir las tareas con padres de familia y estudiantes” (MINEDUC, 2020, p.4).

La opción resulta útil para quienes tienen la posibilidad de tener un teléfono inteligente con internet, pero, aunque esta sea una herramienta aparentemente habitual, la realidad demuestra que no todos tienen acceso.

La integración de las energías renovables supone un doble reto: la necesidad de reforzar la red eléctrica y evitar la intermitencia de las redes para favorecer el consumo, brindando la seguridad energética que se cita en la Política Energética. Los gobiernos en muchos países ofrecen incentivos financieros y fiscales, para que los costos iniciales de sistemas fotovoltaicos sean más accesibles. (Padilla, 2018, p.99)

1.4. Indicador: consumo de energía

La demanda y la oferta totales de energía en Guatemala ha mostrado crecimiento sostenido en los últimos años. La demanda comprende además del consumo de energía nacional, la exportación de energía hacia el Mercado Eléctrico Regional (MER) comprendido por los países centroamericanos. La oferta de energía comprende la generación instalada localmente y la importación proveniente de México principalmente. (CNEE, 2020)

La tabla No.2 muestra la evolución del mercado de electricidad del 2015 al 2019, mediante datos globales. La demanda de energía eléctrica ha superado los 12,800 GWh. Restándole las exportaciones (2,171.3 GWh) se tiene la energía consumida localmente total con 10,676 GW.

Tabla 2. Guatemala: producción y consumo de energía eléctrica reportada por el Mercado Mayorista. Datos en GWh. Período 2015-2019.

Datos Generales	2015	2016	2017	2018	2019
Producción de Energía (GWh)	10,886.67	11,624.82	12,381.28	13,348.12	13,342.59
Energía producida SIN	10,301.87	10,877.91	11,489.90	12,522.39	12,228.23
Energía importada total	584.79	746.92	891.38	825.73	1,114.36
Consumo de Energía (GWh)	10,485.38	11,167.50	11,876.17	12,875.35	12,847.80
Energía consumida localmente total	9,398.17	9,832.70	10,018.41	10,374.97	10,676.46
Energía exportada total	1,087.22	1,334.80	1,857.76	2,500.38	2,171.35

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de la CNEE, informe estadístico, 2020.

El consumo nacional de energía es la demanda total de energía menos las exportaciones hacia el MER, en otras palabras, el consumo nacional es la energía que ingresa al sistema económico. A esta variable también se le conoce como demanda interna bruta.

Partiendo de ese concepto, se entiende que el consumo de energía eléctrica mide la producción de las centrales eléctricas y de las plantas de cogeneración menos las pérdidas ocurridas en la transmisión, distribución y transformación y el consumo propio de las plantas de cogeneración. El consumo energético depende principalmente de la tasa de crecimiento demográfico y del nivel de ingresos per cápita.

Es evidente que el acceso al servicio de energía es un factor determinante para mejorar el bienestar de las comunidades, dándoles oportunidad de mejorar servicios de salud, educación, transporte, productividad y generación de empleo. Los ejemplos citados son extremos, sin embargo, Guatemala se encuentra en el medio de esos extremos.

Guatemala es un país en vías de desarrollo, un reflejo de ello es el consumo de energía per cápita, para 2018 cada habitante consume un equivalente de 590 kWh, que está por debajo de la media mundial (3,132 kWh), de manera particular queda por debajo de México (2,157 kWh), Argentina (3,075 kWh) y Chile (3,880 kWh). (sieLAC-OLADE S. d., 2019)

Este dato permite a nivel de país, establecer una aproximación de la cantidad de electricidad que una persona, sin importar su edad o su aporte a la economía consume.

El consumo de la energía per cápita de un país tiene su explicación en las características de la economía, incluyendo factores como el crecimiento económico, la distribución del ingreso, la amplitud de la pobreza y aspectos relacionados con la geografía, el clima y la ubicación de las ciudades y los centros industriales.

Por aparte, el precio de la energía, regulado por la CNEE, va a depender de otros factores, por ejemplo, la tarifa según el nivel de consumo, la tasa de alumbrado público, la tasa de transmisión de energía, el costo de generación, entre otros. Además, dependiendo la variación del precio internacional de petróleo, también se ve afectado el costo de generación de energía con fuentes no renovables (hidrocarburos).

1.5. Generación Distribuida Renovable

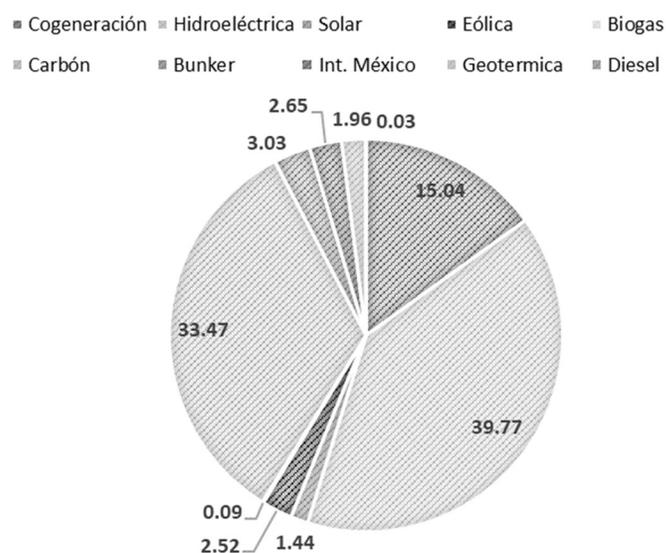
Una de las causas del cambio climático es la utilización de combustibles fósiles, por lo que en la actualidad se promueve implementar a gran escala la utilización de fuentes de energía renovables para contrarrestar el cambio climático, esto se puede confirmar con el Convenio Internacional firmado por varios países en París 2015. (sieLAC-OLADE O. L., 2019)

Las bondades de las fuentes que producen energía con recursos renovables, es que no emiten cantidades significativas de gases de efecto invernadero (GEI) y que, mediante su uso adecuado, la fuente de energía es renovable en un tiempo corto, no así los combustibles fósiles.

El concepto de fondo es que la transformación de la matriz energética de los países a fuentes renovables y mejoras en eficiencia energética se va produciendo de forma gradual, conforme las mejoras tecnológicas, la reducción de costos y el marco normativo y regulatorio que sustenta esta transición. (Urizar, 2016, p.87)

La matriz energética de Guatemala ha cambiado en cantidad y tipos de generación de energía. A partir del 2015 se ha dado un incremento en la participación de tecnologías renovables, específicamente solar fotovoltaica y eólica. La CNEE presenta un reporte de los cambios en la matriz energética, indicando la participación en porcentajes de cada uno de los tipos de generación en Guatemala.

Gráfica 3. Guatemala: matriz energética, en porcentajes de fuentes de generación, 2018.



Año	Cogeneración	Hidroeléctrica	Solar	Eólica	Biogas	Carbón	Bunker	Int. México	Geotermica	Diesel
2018	15.04	39.77	1.44	2.52	0.09	33.47	3.03	2.65	1.96	0.03

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CNEE, 2019.

Los recursos variables de energía incluyen los más convencionales recursos renovables, tales como la energía hidroeléctrica, así como nuevas fuentes, que tienden a ser intermitentes, pero que se pueden predecir con información predictiva, tales como la eólica y la solar fotovoltaica.

En otras palabras, la mayoría de las energías renovables son variables, como consecuencia directa de los ciclos naturales de estas fuentes. En el caso particular de la cogeneración, también es un recurso variable, ya que depende de los ciclos anuales de zafra en los ingenios azucareros, pues utilizan el bagazo (residuo) de la caña de azúcar como combustible para la generación de energía.

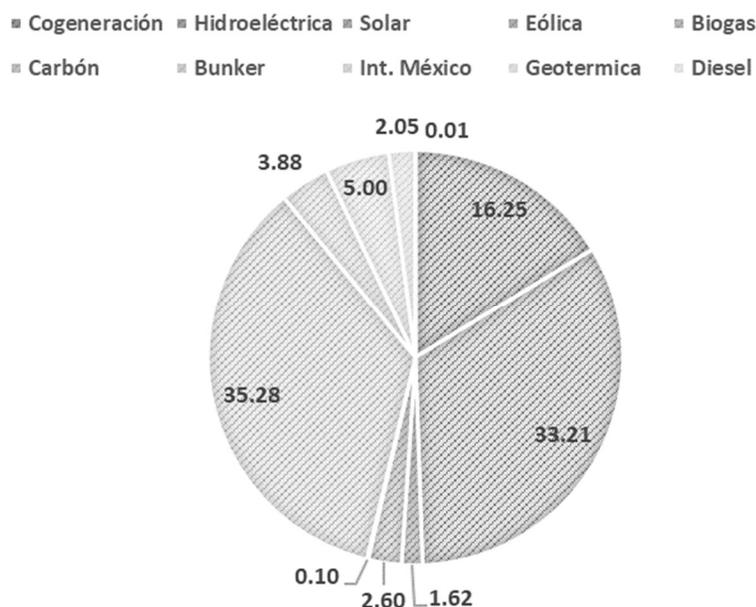
En Guatemala, la matriz energética ha cambiado en los últimos años. El porcentaje de participación de las energías renovables ha aumentado. Los proyectos de este tipo de generación se han hecho más conocidos, tanto en beneficios económicos, sociales y ambientales. La sociedad ha sido más perceptiva hacia los beneficios de estos proyectos. Además, los gobiernos han dado oportunidad a más proyectos de energía renovable. Guatemala ha sido el único país de la región que no ha enfrentado racionamientos desde que se implementó la reforma energética en 1996.

Urizar (2016) afirma:

La matriz eléctrica es de las mejores diversificadas de la región, encontrándose la participación de todas las formas de energía renovable y no renovable, y se logró incorporar casi todas las tecnologías (solar-fotovoltaica, eólica) y se retomó el desarrollo de sus recursos hidráulicos, consiguiendo revertir la dependencia de combustibles fósiles importados para generación hacia un predominio de los recursos renovables con los beneficios económicos y medio ambientales que ello representa. (p.79)

La CNEE presentó un reporte estadístico de la matriz energética en el 2019.

Gráfica 4. Guatemala: matriz energética por fuente de generación, en %. 2019.



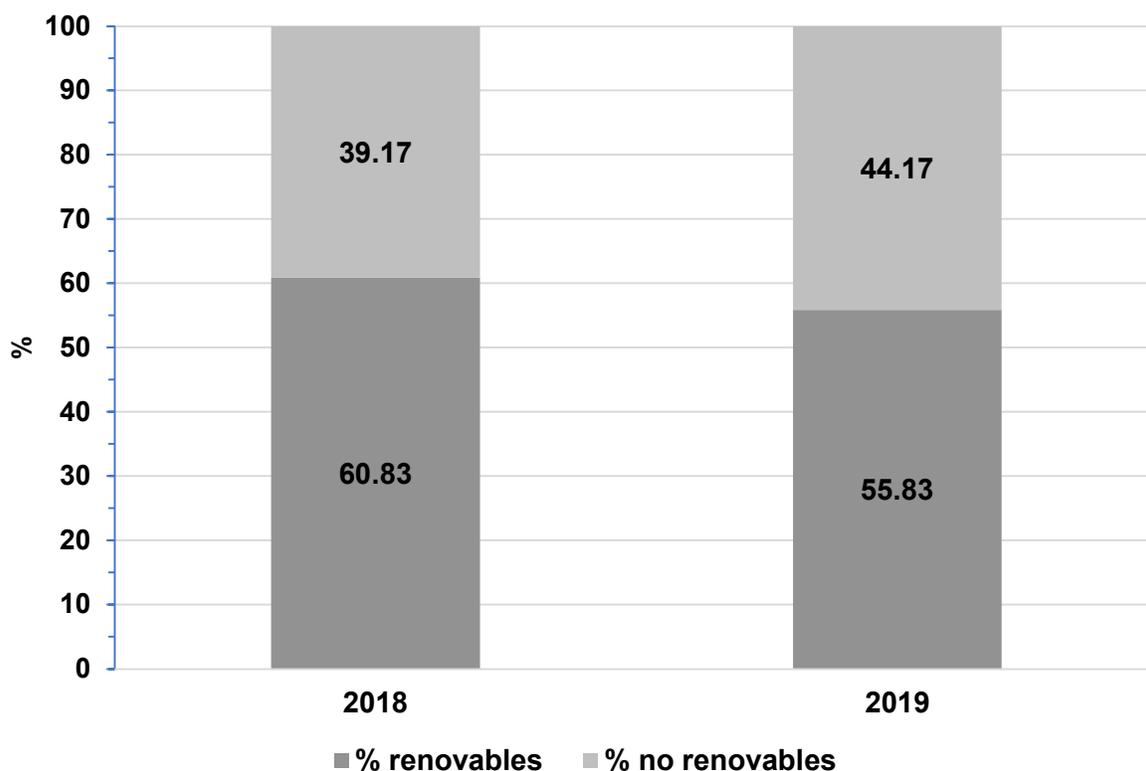
Año	Cogeneración	Hidroeléctrica	Solar	Eólica	Biogas	Carbón	Bunker	Int. México	Geotermica	Diesel
2019	16.25	33.21	1.62	2.60	0.10	35.28	3.88	5.00	2.05	0.01

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CNEE, 2019.

El total de energía generada se ha incrementado en los últimos años. En el año 2015, el total generado fue de 9,098 GWh, incrementándose para el año 2019 a un valor aproximado de 12,892 GWh. De igual forma que la energía total generada, el consumo total se incrementó en el período de análisis, llegando para el 2019 a un consumo de 9,495 GWh. (CNEE, 2020)

Durante el período del 2015 al 2019, el 59%, en promedio, de la energía producida fue con recursos renovables. Siendo el año 2017 donde la participación de energías renovables fue la más alta (67.1%). Por otro lado, el año con menor aporte de recurso renovable fue el 2015 (55.3%) debido al bajo aporte hidroeléctrico. Para el año 2019 la energía generada con tecnología renovable, específicamente solar fotovoltaica y eólica, representa un 4.2%, incremento un 8% respecto al año 2018. (CNEE, 2020)

Gráfica 5. Guatemala: generación por tipo de recurso, en %. Período 2018-2019



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CNEE, 2020.

En los últimos años la evolución en el aporte energético de las centrales Horus (solar-fotovoltaico), San Antonio el Sitio (eólico) y Viento Blanco (eólico) ha sido significativa en la diversificación de la matriz energética del país. Han surgido más proyectos de generación de energía con fuentes renovables en departamentos como Alta Verapaz, Quetzaltenango, Santa Rosa y Escuintla.

Paralelamente, se define como generación distribuida a la electricidad producida localmente, en donde es consumida. La generación es determinada por cantidad de potencia, conectada o no al sistema interconectado nacional. Por ejemplo, una comunidad aislada podría invertir en un sistema solar fotovoltaico y construir su propio mini sistema centralizado completamente desconectado del sistema interconectado nacional. (Koberle, 2012)

Actualmente Guatemala tiene vigente una ley que incentiva a los proyectos de energía renovable: el Decreto Ley 52-2003, Congreso de la República, Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, y su propósito es orientar la economía nacional para lograr la utilización de los recursos energéticos renovables mediante la promoción del desarrollo de proyectos de energía renovable, estableciendo así los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto.

Esta ley otorga incentivos fiscales a las entidades individuales y jurídicas que realicen proyectos de energía con recursos energéticos renovables, siendo éstos: exención de derechos arancelarios para las importaciones, sobre equipo y servicios durante la fase de implementación, y una exención fiscal sobre los ingresos del proyecto los primeros diez años de operación. Incluyendo el impuesto al valor agregado -IVA-, exención del pago del impuesto sobre la renta -ISR-, exención del Impuesto a las empresas mercantiles y agropecuarias -IEMA-.

Medina (2016) afirma:

La Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) elabora la estimación del gasto tributario, renuncia fiscal derivada del otorgamiento de todo tipo de exenciones y exoneraciones tributarias. De acuerdo con el referido documento de la SAT, se considera gasto tributario a la pérdida de ingresos fiscales que hubieren sido producidos por la formalización del hecho generador definido en las leyes tributarias. (p.85)

Según la información del Sistema de Contabilidad Integrada (SICOIN) del Ministerio de Finanzas Públicas de Guatemala: "El gasto público en energías, en su componente de energías renovables solo para el año 2014 fue de USD. 23.2 millones". (ICEFI, 2016)

Consecuentemente, esta ley causa ciertos beneficios para los que fue creada. Promover la generación de energía renovable permite la reducción de la emisión de CO₂ en el proceso de generación eléctrica. Además, ampliaría la matriz energética nacional, dando acceso a áreas que no tienen acceso en este momento al recurso energético. Cumpliendo con las proyecciones de la Política Energética de Guatemala y con los tratados y convenios firmados internacionalmente, en materia ambiental.

Otros potenciales beneficios de incentivos fiscales son la mayor recaudación fiscal por una posible mayor inversión y crecimiento, la posibilidad de crear nuevos puestos de trabajo, posible aprovechamiento de externalidades positivas. La búsqueda de inversión extranjera directa (IED) específicamente en el sector energético, también ha sido motivante para la creación de esta ley. (Jiménez y Podestá, 2009, p. 30)

Desde el punto de vista económico y social, las comunidades marginales percibirían del bienestar por el servicio eléctrico; y en este caso la viabilidad de lograr una organización social para genera energía renovable económicamente accesible es prometedora y de ayuda para la comunidad. Por otro lado, lo que ya gozan del servicio de energía también tendría opciones de elección en suministro a precios menores.

Luego, según Acuerdo Gubernativo 211-2005, se creó el Reglamento de La Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, donde se indica las condiciones adecuadas para la calificación y aplicación concreta de los incentivos establecidos en la Ley.

La urgencia que se establece en el artículo primero de esa Ley radica en el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables, de tal forma que el órgano competente estimule, facilite y cree las condiciones para fomentar la inversión. Consecuentemente es necesario interpretar la aplicabilidad de la Ley a proyectos a pequeña escala (menores a 5 MW), por ello, el MEM como encargado de calificar los proyectos como aptos para los incentivos fiscales, debe realizar una calificación técnico ambiental y no de escala.

Acorde a esto, no todos los incentivos son aplicados para proyectos de pequeña escala, por ejemplo, el ISR ya que no generan una renta que respalde este impuesto, sin embargo, en la fase de pre-inversión, estos proyectos podrán beneficiarse de la exención de derechos arancelarios para las importaciones.

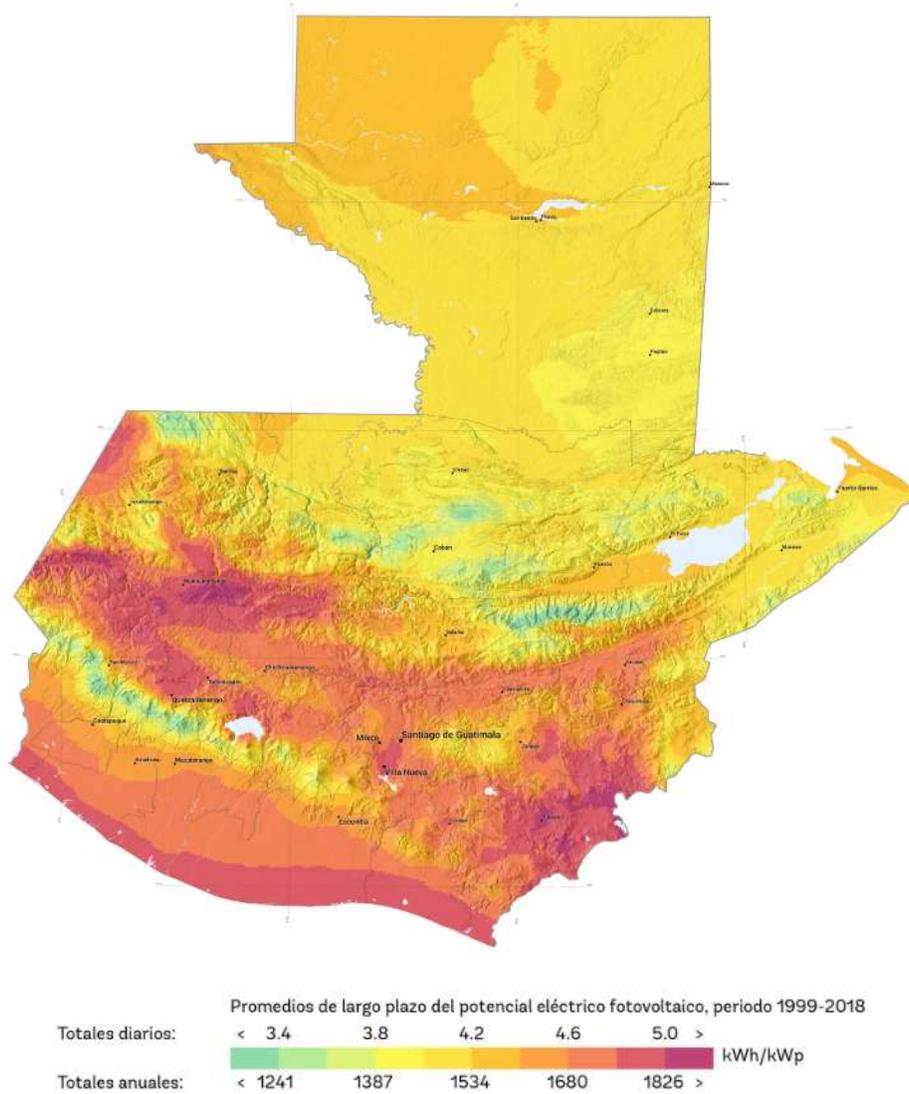
La generación fotovoltaica es una fuente de generación energética con un alto potencial a futuro. Pues la ubicación geográfica de la región y específicamente del país, ayuda a recibir altos niveles de radiación de rayos ultravioleta del sol, tal como muestra el

siguiente mapa de radiación solar en Guatemala 2018. Esta radiación fotovoltaica es materia prima para la transformación de energía eléctrica.

El apoyo de las instituciones del mercado eléctrico nacional a la generación de energía renovable ha crecido con los años en Guatemala. La CNEE promulgó la Resolución 268-2010 que permite que los generadores distribuidos renovables -GDRs- obtuviesen contratos de largo plazo más allá del mercado *spot*, de tal forma que puedan celebrar acuerdos de compra de energía con distribuidores o grandes consumidores, bajo términos que garanticen un retorno de inversión técnico económico a largo plazo.

La gráfica No.6 muestra un mapa del potencial eléctrico solar fotovoltaico (FV) estimado para Guatemala. Representa el promedio del total diario/anual de la producción eléctrica potencial de una planta solar. El cálculo de la electricidad solar potencial se basa en datos de recurso solar de alta resolución y software de modelado FV. Tiene en cuenta la radiación solar, la temperatura del aire y el terreno para simular la conversión energética y las pérdidas en los módulos FV y otros componentes de la planta FV. Para mayor detalle referirse al anexo No.1.

Gráfica 6. Guatemala: mapa de recurso solar, 2019.



Fuente: Mapa de Recurso Solar Guatemala, El Banco Mundial, Global Solar Atlas, 2020

1.5.1. Normas Técnicas aplicadas a la generación de energía renovable

La norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable -NTGDR- y usuarios autoprodutores con excedentes de energía establece las disposiciones generales que deben cumplir los generadores distribuidos renovables y los distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables.

Esta norma define que la Generación Distribuida Renovable, es la producción de electricidad a partir de tecnologías que utilizan recursos renovables (energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasa), que se conectan a las redes del sistema de distribución y cuyo aporte de potencia neta es menor o igual a 5 MW. (CNEE, 2008)

La NTGDR es de aplicación obligatoria para distribuidores, generadores distribuidos renovables y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, en lo que corresponda. Los beneficios de esta normativa es que promueve y facilita la instalación y operación de centrales de generación menores o iguales a 5 MW, que utilizan recursos renovables, permitiendo que éstas se puedan conectar a las redes de distribución en voltajes de 13.8 y 34.5 KV.

1.6. La electrificación y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS-, fueron adoptados formalmente por la Asamblea General de las Naciones Unidas en Nueva York en 2015, y se propuso que los mismos se convirtieran en la Agenda de Desarrollo Mundial para el período comprendido de 2015 a 2030. Los ODS son fruto del acuerdo alcanzado por los Estados Miembros de las Naciones Unidas y se componen de una Declaración, 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 metas. Los Estados Miembros han convenido en tratar de alcanzarlos para 2030 con el propósito de combatir la pobreza, la desigualdad y el cambio climático, haciendo énfasis en las necesidades de la población más vulnerable (ONU, 2016).

En la declaración oficial, 193 países alrededor del mundo, incluida Guatemala, se comprometieron a promover la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, una agenda que da continuidad a los Objetivos del milenio ODM, pero que incorpora otras dimensiones del desarrollo relacionadas con el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental, con lo que se configura una visión integrada del desarrollo que es aplicable a todos los países, independientemente de su nivel de desarrollo.

Concretamente en los ODS 4 y 7, particularmente en los temas de garantizar la educación inclusiva y garantizar el acceso a energía asequible, la electrificación tiene importancia especialmente en los campos de desarrollo social de las comunidades rurales, donde existe escaso acceso a la educación integral de calidad, promoviendo la prosperidad y ayudando a reducir las brechas de desigualdad.

En ese sentido, el proyecto de diagnóstico del potencial de electrificación de centros educativos con sistemas de energía fotovoltaicos se alinea directamente con el cumplimiento de dos de los objetivos de desarrollo sostenible planteados por la ONU siendo estos:

El objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos: En este objetivo se especifica en uno de sus puntos: construir y adecuar instalaciones escolares que respondan a las necesidades de los niños y las personas discapacitadas y tengan en cuenta las cuestiones de género, y que ofrezcan entornos de aprendizaje seguros, no violentos, inclusivos y eficaces para todos (ONU, 2016).

El otro objetivo es el número 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Imperantemente el diagnóstico del potencial de la electrificación de centros educativos rurales desarrolla a plenitud este objetivo, en el que en uno de sus puntos especifica que para el año 2030, se aumente la cooperación internacional a fin de facilitar el acceso a la investigación y las tecnologías energéticas no contaminantes, incluidas las fuentes de energía renovables, la eficiencia energética y las tecnologías menos contaminantes en comparación con los combustibles fósiles, y

promover la inversión en infraestructuras energéticas y tecnologías de energía no contaminante.

Esto impulsa la ampliación de la infraestructura y mejora con tecnología el servicio de electrificación sostenibles para los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, en consonancia con sus respectivos programas de desarrollo social.

Guatemala como país miembro de la ONU, está comprometida a desarrollar proyectos que contribuyan y promuevan el avance en cada uno de los indicadores para lograr alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Aun así, las posibilidades económicas de cada país miembro son distintas y se presentan en distintas situaciones que limitan el desarrollo; por lo que cada país debe impulsar su agenda para trabajar en los puntos más críticos, de mayor importancia y urgencia, y así mejorar el bienestar de sus habitantes.

1.7. La educación en Guatemala

Tener acceso a la educación es básico para el desarrollo de todo ser humano. La Constitución de Guatemala indica que los habitantes tienen el derecho de recibir la educación inicial, preprimaria, primaria y básica, dentro de los límites de edad que fije la ley.

Para esto, el Estado a través del Ministerio de Educación (Mineduc), tiene centros educativos distribuidos en todo el territorio nacional. Los cuales deben estar equipados con recursos materiales, humanos y de toda índole en educación, para el estricto cumplimiento de su mandato constitucional.

Idealmente, los centros educativos deben contar con servicios básicos indispensables para la población que los ocupa. A medida que el centro educativo tenga más y mejores servicios, las personas se sentirán más a gusto en la percepción de cumplir diariamente con su necesidad de tener acceso a educación. (Villareal y Olmedo, 2015, pág. 47)

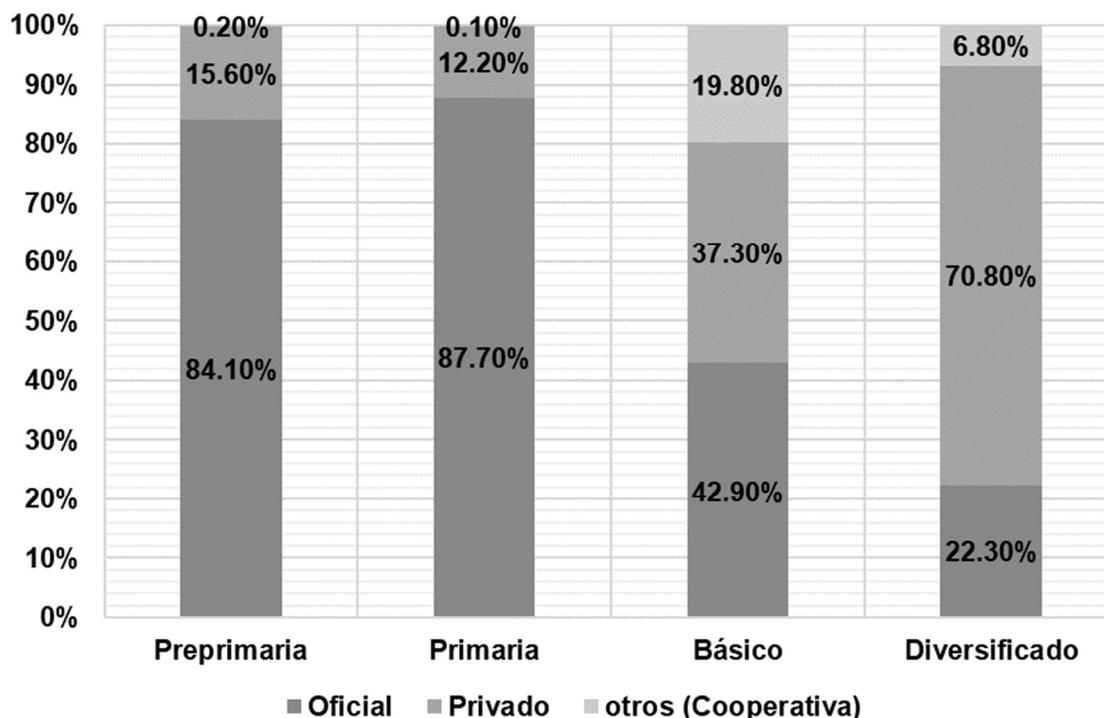
La educación ocurre en diferentes contextos, puede presentarse en diferentes formatos o formas y puede variar de contenido, pero el objetivo siempre es el mismo.

Actualmente la tasa neta de cobertura del sistema educativo en Guatemala es diferente según los niveles. Esta es la relación que existe entre la parte de la inscripción inicial que se encuentra en la edad escolar hasta la edad correspondiente y la población en edad escolar correspondiente. La tasa neta de cobertura en el año 2019 en preprimaria fue 51.1%, en primaria 77.5%, en ciclo básico 42.4% y en diversificado 24.0%. (Mineduc, 2020)

De acuerdo con estos datos, la deserción se agrava en las áreas rurales del país, en donde hacen falta escuelas e institutos, la calidad docente no es la óptima y los servicios básicos no se cumplen para todos los alumnos, aunque otros factores son la pobreza, problemas sociales y la migración.

La proporción de la matrícula total en el sector público es 84.1% en preprimaria, 87.7% en primaria, 42.9% en básico y 22.3% en diversificado. En este último ciclo, la proporción de la matrícula total en el sector privado es mayor que en los demás sectores: 70.8%. Es de resaltar que la matrícula del ciclo básico es cubierta en 19.8% por el sector cooperativa.

Gráfica 7. Guatemala: proporción de la matrícula total nacional, año 2019.



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Mineduc, Anuario Estadístico, 2019.

“El sistema educativo de Guatemala en 2019 tenía inscritos a 4,102,511 niños en todos los niveles y sectores tanto públicos como privados. Distribuidos en 49,449 establecimientos, de los cuales, 32 mil 624 son públicos”. (Mineduc, 2020)

El artículo 66 de la Ley Nacional de Educación establece que es responsabilidad del Mineduc garantizar la calidad de educación que se imparte en todos los centros educativos del país, tanto públicos, privados y por cooperativa. La calidad de la educación se relaciona con diversas variables, pero puede ser entendida como el logro de que los estudiantes aprendan lo que se supone deben aprender al cabo de determinados ciclos o niveles y grados. (Dirección General de Evaluación e Investigación Educativa, 2018)

Además, el Mineduc (2020) afirma que:

Guatemala debe aumentar la cobertura en todos los niveles educativos, principalmente en aquellos en donde se tienen bajos índices y que inciden en los

deficientes resultados de rendimiento académico. Según la evaluación realizada a nivel nacional por el Mineduc a los estudiantes de último grado de carrera para medir sus destrezas tanto en matemáticas como en lectura, los resultados indican que, en los 4,300 establecimientos participantes, de los cuales se evaluaron 116,314 estudiantes, únicamente el 33.0% logro el nivel en lectura, mientras que el resultado de logro en matemáticas fue de 11.0%. (p.7)

Los desafíos en lograr los aprendizajes esperados persisten según los resultados de las evaluaciones que se realizan a los estudiantes graduandos. El porcentaje de estudiantes que alcanzan los niveles de desempeño satisfactorio y excelente en las pruebas nacionales de lectura y matemática muestran que la calidad educativa ha empeorado y es baja.

Se debe proponer una infraestructura educativa que tenga impacto directo en la satisfacción de las necesidades de los estudiantes y en donde todos los miembros de la comunidad educativa sean la prioridad.

Hanushek y Woessmann (2008) refieren que ya se ha demostrado que la productividad y el crecimiento económico de largo plazo dependen de la calidad del capital humano de una sociedad, necesario para impulsar la innovación y adaptar nuevas tecnologías.

Por lo que estimular la creación de recurso humano en toda la población no sólo promueve el crecimiento económico en general, sino que también mejora la distribución del ingreso y genera oportunidades para que los habitantes de áreas rurales mejoren su situación. Sin embargo, cuando un porcentaje importante de la población no es recurso humano capacitado, puede obstaculizar el crecimiento económico y la reducción de la pobreza del país.

1.7.1. Asistencia escolar en el municipio de Nueva Concepción, Escuintla.

El recurso humano capacitado es clave para el desarrollo de cada comunidad. El conocimiento hace que las personas desarrollen habilidades que son de utilidad a la sociedad.

Desafortunadamente no todas las personas tienen las mismas oportunidades de acceder al sistema y recibir educación. La falta de asistencia escolar es una variable clave para el análisis de cómo está la educación en cierta región o comunidad. En el caso específico de interés, el municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla. El porcentaje de asistencia escolar muestra una idea de la disponibilidad de recurso humano capacitado que se tiene al año 2018.

Tabla 5. Guatemala: datos de asistencia escolar población de 7 años o más, Municipio de Nueva Concepción, Depto. De Escuintla. Año 2018.

Municipio	Población de 7 años o más	Asistencia escolar		%	
		Asiste	No Asiste	Asiste	No Asiste
Nueva Concepción	61,150	14,826	46,324	24.2%	75.8%

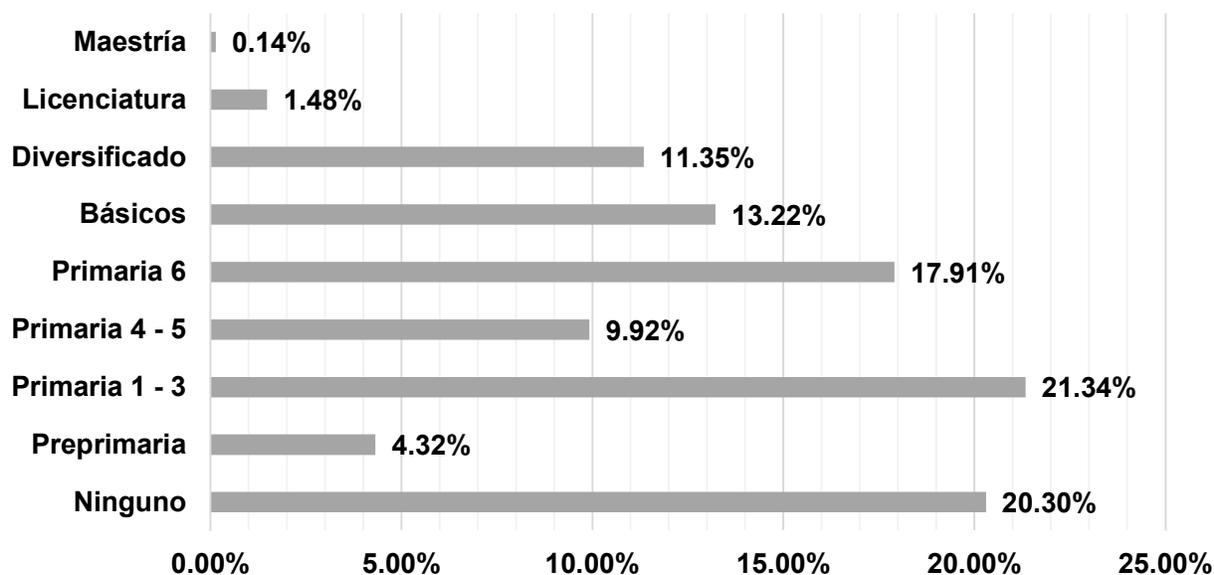
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del INE, Censo 2018.

Estos datos indican que, el porcentaje de asistencia escolar de la población de 7 años o más, ni siquiera el 25.0% ha asistido a los centros educativos a recibir educación, según el Censo Nacional de Población en 2018.

“En cuanto al índice de alfabetismo, los habitantes del municipio representan un 83.6%, este valor es menor al índice de alfabetismo del departamento de Escuintla, 86.9%, pero es mayor al indicado en regiones del oriente y noroccidente del país”. (INE, 2018)

Los siguientes datos dan una idea clara de la situación educativa que las personas de Nueva Concepción tienen. El nivel educativo de la población de 4 años y más, segmentado en los niveles y por rangos de grados a nivel primario.

Gráfica 8. Guatemala: nivel educativo. Municipio de Nueva Concepción, Depto. De Escuintla, en %. Año 2018.



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del INE, Censo 2018.

Esta radiografía de la educación indica que existe actualmente un gran porcentaje de personas que no alcanzan ni siquiera un nivel básico de educación. Únicamente el 17.9% de la población termina la educación primaria. Un dato más crítico indica que existe un 21.3% de la población que solo llega hasta tercer grado de primaria.

“Es importante hacer énfasis en que la calidad de la educación repercute en otras variables de desarrollo en las comunidades. Así mismo, el escaso acceso a las oportunidades que recibir educación, limita a las personas a tener un mejor bienestar”. (Aceña, 2019)

Fortalecer el sistema educativo actual es clave para reducir la cantidad de personas que no alcanzan un nivel mejor nivel educativo. Según la gráfica No.8, actualmente existe un 20.3% de la población de este municipio, o sea una de cada cinco personas, que no recibe ningún nivel de educación.

El propósito de este proyecto son los centros educativos públicos. A continuación, se especifica la cantidad de centros educativos públicos existen en el municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla.

Tabla 6. Guatemala: establecimientos por nivel y sector, Municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla. Año 2019.

Nivel	Establecimientos por nivel	Establecimientos sector oficial	Establecimientos sector privado	Establecimientos sector cooperativa
Preprimaria	88	82	6	0
Primaria	95	81	14	0
Básico	30	7	12	11
Diversificado	22	2	19	1
Total	235	172	51	12

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Mineduc, Anuario Estadístico, 2019.

En este municipio, del total de alumnos inscritos el 76.4% asisten al sector oficial, siendo el nivel de educación primaria el que mayor cantidad de alumnos está cursando en 2019. Es importante notar el bajo porcentaje que representan los alumnos cursando nivel diversificado en el sector público, esto hace énfasis en la escasa cobertura y asistencia en este nivel educativo.

Tabla 7. Guatemala: inscripciones por nivel y sector, Municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla. Año 2019.

Nivel	Inscritos en total	Inscritos sector oficial	Inscritos sector privado	Inscritos sector cooperativa
Preprimaria	3,383	3,208	175	0
Primaria	9,922	9,089	833	0
Básico	3,326	1,641	636	1,049
Diversificado	1,735	98	1,310	327
Total	18,366	14,036	2,954	1,376

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Mineduc, Anuario Estadístico, 2019.

2. Marco Teórico

Al plantear el presente proyecto, se describieron las razones por las que un centro educativo podría optar por una alternativa de generación de energía por medio de sistemas fotovoltaicos y los beneficios que se pueden obtener a partir de la operación de éste. Se hizo énfasis en la necesidad de que los centros educativos tengan acceso al servicio de energía eléctrica y el aporte al índice de electrificación que se puede tener.

En esta investigación se propone, como resultado de la experiencia de proyectos de generación fotovoltaica en varios países de Latinoamérica, proponer una alternativa de generación de energía y acceso a la electrificación de centros educativos en el área rural, atendiendo que a lo largo de los años el Mineduc ha determinado que el estado de estos centros no es el óptimo para garantizar un pleno desarrollo de las actividades académicas.

Es importante destacar que, si no se ejecutan proyectos de electrificación con sistemas de generación distribuida renovable (fotovoltaicos), la comunidad educativa, principalmente estudiantes y docentes seguirán disponiendo de condiciones precarias en los servicios de educación, resultando en un sistema educativo limitado y de mala calidad en las comunidades rurales de Guatemala.

Este trabajo en todos sus aspectos y fases se soporta en el marco regulatorio y normativo referente a la electrificación vigente en la legislación de Guatemala.

2.1. Política energética del Ministerio de Energía y Minas

La política energética de Guatemala establece que, el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala -MEM-, consciente de la importancia de la energía eléctrica como motor del desarrollo del país y en su calidad de institución oficial del sector energético del país, ha identificado la necesidad de impulsar la política pública en este ámbito y apoyar a la utilización de energías renovables, amigables con el medio ambiente para el consumo nacional. (MEM, 2020)

Esta política establece, dentro de sus prioridades, la conservación del ambiente y el manejo racional de los recursos naturales y su asociación con los objetivos de desarrollo sostenible. Adicionalmente, se mencionan los desafíos que enfrenta el Gobierno para mejorar la matriz energética, en función de los intereses nacionales. De esa cuenta el Gobierno ha identificado acciones estratégicas relacionadas con el sector energía, entre las cuales se pueden citar: (MEM, 2017)

- a) Fortalecer el Estado en su capacidad de respuesta y recuperación, ante los efectos del cambio climático y fenómenos geológicos e hidrometeorológicos, lo cual implica una adecuada gestión del riesgo, la generación de conocimiento y la capacidad de invertir recursos.
- b) Incrementar la participación de la energía renovable en la matriz energética.

Además, la política busca impulsar espacios de diálogo y generación de proyectos interinstitucionales que permitan gestionar, dentro del marco legal y regulatorio, las iniciativas de desarrollo social y económico, con lo cual se busca garantizar una visión integral en su implementación, seguimiento y evaluación.

En ese sentido, la Dirección General de Electricidad (DGE) es la unidad encargada del MEM, que vela específicamente por el análisis, desarrollo y ejecución de proyectos que busca ampliar y expandir el sistema nacional interconectado, a fin de que la energía llegue hasta las comunidades más lejanas del territorio nacional. La DGE ha impulsado la realización de políticas que ayuden a mejorar los índices de electrificación.

2.1.1. Mercado eléctrico nacional

El mercado eléctrico de Guatemala está compuesto por diversos actores que, trabajan en sinergia, complementando y cumpliendo las funciones correspondientes para el funcionamiento óptimo del sector eléctrico nacional. Es importante citar las entidades y participantes que interfieren en este ámbito para comprender el funcionamiento del mercado eléctrico nacional, estas son reguladas en su mayoría por la Ley General de Electricidad.

Entre los principales actores del mercado eléctrico nacional están: el MEM como ente rector del mercado eléctrico, sujeto al organismo ejecutivo del gobierno de turno; la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) como ente regulador del mercado; y la Administración del Mercado Mayorista (AMM) como coordinador y operador principal del servicio de energía en todo el país.

Además de los mencionados, el mercado eléctrico nacional se complementa con las comercializadoras de energía, las distribuidoras, las empresas eléctricas municipales, empresas de transmisión, generadoras privadas y el Instituto Nacional de Electrificación (INDE).

En consecuencia, estos actores tienen un papel importante para el desarrollo de la Política Energética, en donde los actores con influencia alta tendrán incidencia como corresponsables atendiendo acciones de diálogo y socialización a las comunidades acerca de los beneficios de los proyectos energéticos, otros atendiendo la coordinación interinstitucional para incentivar la compra de recursos energéticos seguros y a precios razonables, así como fortalecer las oportunidades de negocio y la optimización operativa del mercado energético.

Es importante recalcar que un actor del mercado es el sector privado, ya que estimula la inversión en el sector energético del país, así como para la divulgación de información de interés para dichos sectores y para las comunidades de influencia de proyectos de este tipo.

Para 2016, las inversiones privadas han crecido hasta el punto de representar más del 80.0% del mercado de generación y más del 90.0% del mercado de distribución. La capacidad instalada incremento en más del 280.0% con la privatización de 828 MW a 3,752.2 MW, que es la capacidad instalada actual casi el doble de la demanda máxima gracias a lo cual el riesgo de racionamiento se ha eliminado y el índice de electrificación ha aumentado, más adelante se detallara este valor. (Urizar, 2016, pág. 79)

La participación directa del Estado en el mercado eléctrico, aparte de ser el ente regulador a través de la CNEE, solamente existe en cuanto a la participación de las empresas eléctricas municipales (EEM) y a las funciones de transmisión y generación de energía eléctrica del Grupo INDE, ETCEE y EGEE, ambas propiedades del Estado.

Sin embargo, de conformidad con el artículo 119 de la Constitución Política de la República, es obligación fundamental del Estado orientar la economía nacional para lograr la utilización de los recursos naturales, adoptando medidas que sean necesarias para su aprovechamiento en forma eficiente, en virtud de que el desarrollo de los recursos energéticos renovables es de interés público, así como otorgar incentivos, conforme con la ley, a las empresas industriales que se establezcan en el interior de la República.

Por lo tanto, es necesario un marco regulatorio que brinde certeza jurídica para realizar inversiones en el sector de energía; para ello, son necesarias instituciones fuertes e independientes del sistema político, que aseguren certeza en las decisiones y brinden confianza para atraer más y mejores inversiones en el desarrollo del sistema nacional interconectado.

“Los usuarios también son parte del mercado eléctrico nacional, y representan un porcentaje de consumo importante dentro de la demanda nacional de energía. En Guatemala el consumo de energía residencial representa el 59.3% de la demanda total”. (MEM, 2020, p. 24)

Para la planificación de proyectos de electrificación es importante considerar que, dentro del conjunto de usuarios, existe cierto segmento de la población que manifiestan ser afectados en sus intereses colectivos debido a la ejecución de proyectos de generación, transmisión o distribución de energía; estos grupos los constituyen la población civil organizada, por ejemplo, ambientalistas, consejos de desarrollo urbano y rural, entre otros.

2.2. Marco regulatorio

La Política Energética plantea ciertos desafíos, dentro de los que están el proporcionar soluciones que aporten al desarrollo sostenible del mercado energético de Guatemala.

Entre estos desafíos se encuentran principalmente: los altos precios de los energéticos y su volatilidad; el cambio climático y necesaria reducción de la contaminación ambiental; la promoción de la seguridad y el autoabastecimiento energético; el acceso a recursos para inversión; y el uso eficiente y racional de los recursos energéticos.

A este panorama se le suma la demanda mundial de energía que, según estadísticas internacionales registradas por la Agencia Internacional de Energía -AIE-, proyectan un crecimiento de la demanda mundial de energía de 32.0% al 2030. (AIE, 2019).

Es por esto por lo que crece la importancia de los proyectos generadores de energía renovable, con el fin de aportar a los objetivos planteados de la Política Energética de Guatemala.

Debido al interés específico de este proyecto de electrificación con sistemas fotovoltaicos, se citan las normativas pertinentes a la generación con fuentes renovables y que aplican en la regulación y operación de este tipo de recursos energéticos en Guatemala.

2.2.1. Marco regulatorio para la generación de energía renovable

La Ley General de Electricidad establece que corresponde a la CNEE, entre otras funciones, emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico y fiscalizar su cumplimiento, así como las disposiciones y normativas para garantizar el libre acceso y uso de las redes de distribución, de acuerdo con lo dispuesto en la ley y sus reglamentos.

Según la ley General de Electricidad y su reglamento, los distribuidores están obligados a permitir la conexión a sus instalaciones y efectuar las modificaciones o ampliaciones necesarias para permitir el funcionamiento del generador distribuido renovable, para lo cual deberá determinar la capacidad del punto de conexión y las ampliaciones necesarias de sus instalaciones.

El Congreso de la República de Guatemala (1996) indica en la Ley General de Electricidad: “La CNEE emitirá las disposiciones generales y la normativa para regular las condiciones de conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable de conformidad con la ley (p.3).”

Asimismo, dispone que la CNEE evalúe la pertinencia del alcance de las modificaciones y de las ampliaciones de las instalaciones de los distribuidores para la conexión del generador distribuido renovable, así como su respectivo costo y los beneficios por la mejora en la calidad del servicio de distribución y por la reducción de pérdidas.

La CNEE emitió la Resolución CNEE-171-2008, en la cual aprobó la *Norma Técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la Generación Distribuida Renovable –NTGDR-* y los *Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía*, con el objetivo de establecer las disposiciones generales que deben cumplir los generadores distribuidos renovables y los distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables. Siendo la Resolución CNEE- 171-2008 la base de disposiciones generales que luego se adaptan a la actualidad.

En 2014, la CNEE con base en leyes y normativa citadas, en ejercicio de las facultades y atribuciones que le confiere la Ley General de Electricidad y su reglamento, resuelve emitir la norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía.

2.3. Índice de cobertura eléctrica

El índice de acceso a la energía se refiere al número de usuarios que tiene acceso a ese servicio, ya sea conectado a la red que forma parte del sistema de electricidad del país o por medio de sistemas aislados como paneles solares o microrredes (con micro hidroeléctricas). Por aparte, existe otro indicador llamado índice de cobertura eléctrica que se refiere solo a los usuarios conectados a la red de sistema nacional eléctrico del país.

“Este indicador se refiere al número de viviendas (usuarios que están conectados al servicio de energía eléctrica), con respecto al número total de viviendas de una región determinada, y es expresado en porcentaje (%)”. (MEM, 2019)

El procedimiento para el cálculo de este índice consiste en determinar el número de viviendas a nivel país, para lo cual se toma de base la información proporcionada por Instituto Nacional de Estadística -INE-. Con relación al número de usuarios que poseen energía eléctrica, se solicita a cada una de las empresas distribuidoras y empresas eléctricas municipales que prestan el servicio de distribución final de electricidad, la cantidad de usuarios atendidos a diciembre de un año determinado.

Finalmente, el cálculo se consolida dividiendo la cantidad de usuarios con energía eléctrica dentro del total de viviendas, el índice se expresa en porcentaje.

2.3.1. Electrificación a nivel mundial

Los factores de riesgo que pesan sobre el suministro de energía son en primer lugar los relacionados con los riesgos industriales y los fenómenos naturales que ponen a prueba la fortaleza de la infraestructura. Luego están los factores económicos, por ejemplo, la dependencia de las importaciones de energía concentrada en pocos proveedores, las estrategias de los agentes económicos, las prácticas de poder de mercado, el predominio del capital extranjero en las actividades del sector energía, así como la debilidad de las instituciones para una buena gobernanza. (Padilla, 2018, pág. 15)

De acuerdo con esto, la manera en la que los países buscan garantizar la electrificación es variada y multidimensional, pues dependen de la naturaleza, magnitud, diversidad y disponibilidad de recursos. Las respuestas también dependen del balance energético en su matriz de generación, la organización de los mercados, la disponibilidad de medios de intervención del Estado, las políticas de desarrollo, los objetivos estratégicos, las estructuras sociales, la historia y la cultura.

Con respecto al acceso a la electricidad a nivel internacional, según la base de datos de energía sostenible para todos del marco de seguimiento mundial liderado de forma conjunta por el Banco Mundial, la Agencia Internacional de la Energía y el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía. Para el año 2018, el índice de cobertura eléctrica era 88.9%. A nivel América Latina y el Caribe, el índice de electrificación es 98.1%, por ejemplo, los países como Argentina tienen 100%, Chile 100%, México 99.9%, Costa Rica 99.6% y Honduras 86.5%. (Banco Mundial, 2020)

Guatemala no está lejano a la media de países en Latinoamérica al presentar una cobertura del 88.9%, lo que significa que el plan ha tenido un relativo éxito en cuanto a la cobertura del servicio de energía, sin embargo, aún existen zonas que pueden ser beneficiadas con este servicio.

2.3.2. Electrificación en Guatemala

“Para 2020, Guatemala alcanzó una cobertura eléctrica del 88.9%. A la fecha, aún hay departamentos que presentan índices de cobertura por debajo del 80%”. (MEM, 2020)

En los índices de cobertura y acceso a la electricidad por cada departamento del país, Alta Verapaz presenta el índice más bajo en cuanto a acceso a la electricidad, siendo este de 64.6%. En el otro extremo, Guatemala es el departamento con mayor cobertura eléctrica, alcanzado más del 99% en 2019.

Tabla 3. Guatemala: índice de cobertura eléctrica por departamento, año 2020.

No.	Departamento	Índice de electrificación
1	Guatemala	99.5%
2	Sacatepéquez	99.4%
3	Escuintla	97.2%
4	Chimaltenango	96.6%
5	Quetzaltenango	96.1%
6	Sololá	95.4%
7	Totonicapán	95.0%
8	Suchitepéquez	93.8%
9	Retalhuleu	93.7%
10	El Progreso	92.8%
11	Santa Rosa	91.3%
12	Jutiapa	91.3%
13	San Marcos	90.3%
14	Zacapa	88.9%
15	Jalapa	87.2%
16	Huehuetenango	81.9%
17	Chiquimula	81.5%
18	Izabal	80.2%
19	Quiché	80.0%
20	Baja Verapaz	76.8%
21	Petén	75.3%
22	Alta Verapaz	50.3%

Fuente: Elaboración propia, con base en datos del MEM, 2020.

“El gobierno deberá establecer los principios y directrices que permitan crear planes, estrategias y acciones que permitan garantizar las condiciones de suministro a los aproximadamente 1.5 millones de guatemaltecos que no cuentan con el servicio de energía eléctrica”. (CNEE, 2020)

Esta iniciativa debe ser un trabajo interinstitucional liderado por el MEM que analice y proponga las acciones necesarias para la correcta implementación de la Política de Electrificación Rural.

La inversión en electrificación del área rural es primordial para continuar con el objetivo de incrementar la cobertura y llevar el servicio a más comunidades. Aun cuando el

desarrollo eléctrico se ha dejado principalmente al mercado, todavía hay áreas importantes que el gobierno debe plantear.

El Programa de Electrificación Rural (PER) que administra el INDE y el Fondo de Electrificación Rural (FER) del MEM, son mecanismos que financian la expansión de las líneas de transmisión del PER y dan la posibilidad de tener suministro de energía mediante tecnologías no tradicionales en las comunidades rurales. (MEM, 2019)

Estos son mecanismos a los que debe darse continuidad. Con estas acciones la seguridad energética en Guatemala mejorará en la medida que la apertura a la inversión en generación distribuida renovable se vaya concretando en inversiones e infraestructura.

2.4. Sistemas de generación fotovoltaica

“La energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar”. (Pascual, 2019)

Carta, Calero, Colmenar y Castro (2009) afirman:

El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares. Sin embargo, la tecnología ha avanzado en este campo desarrollando nuevos materiales policristalinos de mayor eficiencia en la conversión de energía eléctrica. (p.120)

De acuerdo con Pascual (2019), “existen cuatro subsistemas, también llamados elementos de un sistema eléctrico fotovoltaico, para instalaciones con carácter general. Estos son el subsistema de captación, almacenamiento, regulación y conversión” (p.29).

El concurso de todos, o de parte de ellos variará en función de las diferentes configuraciones que existen, los dos grupos principales son las instalaciones autónomas y las instalaciones conectadas a red.

2.4.1. Tipos de paneles para un sistema eléctrico fotovoltaico.

Los tipos de paneles solares cristalinos son el tipo más común de panel fotovoltaico. La tecnología ha estado en el mercado por más de 50 años y fue desarrollada por primera vez para la alimentación de energía de satélites. Son capaces de tener hasta 20% de eficiencia. La mayoría de estas tecnologías son muy fiables y producen resultados similares en términos de eficiencia de la generación de energía. Existen dos variedades: paneles monocristalinos y paneles policristalinos. (Kamaruzzaman, 2019)

Los paneles monocristalinos, son los más eficientes disponibles en la actualidad, ya que producen más energía por metro cuadrado, pero pueden costar más que otros tipos. Los paneles policristalinos, son un poco menos eficientes en producción de energía, sin embargo, son más baratos que los monocristalinos.

Los de capa fina o paneles flexibles son muy baratos, pero también son más ineficientes, sólo un 10%, al requerir más área por Watt producido. Lamentablemente su durabilidad a largo plazo a menudo se cuestiona. Son menos costosos ya que requieren menos cantidad del material activo. La mayor parte de la investigación y desarrollo de celdas solares actualmente se está centrando en las tecnologías de película delgada.

Es importante considerar para el diseño de un sistema fotovoltaico, que tecnología conviene utilizar, ya que se pueden tener limitaciones financieras que no permitan optar por los paneles más eficientes, por lo tanto, debe ser un balance adecuado entre eficiencia y precio de la tecnología a implementar en el sistema.

2.4.2. Tipos de instalaciones fotovoltaicas.

Toda instalación fotovoltaica debe empezar su diseño conociendo los requerimientos a la cual va a estar operando. Estos requerimientos son básicamente la ubicación, la potencia pico instalado y la demanda de energía a suplir. (Aparicio, 2016, pág. 85)

Una instalación fotovoltaica aparenta ser muy sencilla, sin embargo, no debe confundirse dificultad con sofisticación; su correcta instalación procura evitar problemas de seguridad, caídas de tensión, ubicación de equipos, entre otros. Estos problemas deben solucionarse bajo las necesidades específicas de la aplicación en la cual se realiza la instalación.

De forma general existen dos tipos de instalaciones fotovoltaicas: las autónomas y las conectadas a la red del sistema nacional (Kaundinya, 2009). Existe la posibilidad de que se presenten inconvenientes en la ejecución de cualquiera de estas, frecuentemente se debe verificar que la instalación cumpla con los estándares de seguridad indicados por el fabricante y por la empresa técnica especialista responsable de la instalación.

a. Instalación fotovoltaica autónoma

Este tipo de instalación se mantiene aislada de la red eléctrica nacional. Son instalaciones que generan energía para determinado grupo de usuarios, con una demanda de energía definida, por lo que no requieren estar conectadas a la red de distribución.

La cantidad de energía en instalaciones autónomas es normalmente para bajas demandas de energía consumida por los usuarios, por lo que no compensa invertir el coste de la conexión a la red de distribución, o para los que sería muy difícil conectarlos por las distancias en la ubicación y falta de accesibilidad del sector en el que se localizan.

En las instalaciones fotovoltaicas autónomas es necesario un sistema de almacenamiento de la energía generada para garantizar la continuidad de la erogación en los momentos en los que no es producida por los paneles fotovoltaicos. Este sistema de almacenamiento guarda en una serie de acumuladores recargables, también baterías, dimensionadas de manera que garanticen la autonomía para los períodos de tiempo en los que el sistema no produce energía, por ejemplo, durante las noches.

b. Instalación fotovoltaica conectada a la red

“Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red son utilizadas en ubicaciones donde sí existe accesibilidad para conexión a la red eléctrica nacional de distribución. Estas instalaciones pueden ser tan grandes como lo permitan los recursos disponibles para ejecutar la instalación” (Castillo, 2020, p.75).

Existen dos modos en la operación de estas instalaciones, en una la energía es inyectada a la red de distribución, y es vendida a la empresa distribuidora encargada de comercializar la energía eléctrica. El elemento indispensable para esta acción es un contar bidireccional, el cual se detallará más adelante. En el otro modo de operación se utiliza la energía generada directamente del sistema fotovoltaico para el consumo de los equipos conectados.

Tal como lo indica Castillo (2020):

Estas instalaciones tienen la ventaja de que la producción de electricidad se realiza precisamente en el período de tiempo en el que la curva de demanda de energía aumenta, es decir durante el día cuando la radiación solar es mayor, siendo importantes la cantidad de vatios generados de esta forma. (p.82)

Además, los sistemas conectados a la red pueden funcionar perfectamente sin requerir un sistema de acumuladores recargables (baterías) debido a que durante el período en que no se genera energía eléctrica con la radiación solar puede consumir la energía de la red de distribución conectada. Se indica el diagrama de operación en el anexo No.5.

Sin embargo, deben considerarse otro tipo de elementos para la conexión, operación y mantenimiento. Las protecciones deben ser obligatorias en este tipo de instalación, para que no exista ningún inconveniente con la instalación y su operación normal. Todo proyecto de generación de energía mediante una fuente alternativa, por ejemplo, paneles solares, debe apegarse a las directrices, atendiendo regulaciones de la empresa eléctrica local y de la CNEE. (CNEE, 2008)

2.4.3. Costo por vatio (Watt) de paneles solares.

El costo por vatio (watt) de paneles solares por país (\$/w) es una manera de comparar los costos de generar electricidad con energía solar. La idea es que sea un indicador que permita una fácil comparación; así se toman en cuenta todos estos costos en varios países de Latinoamérica, y para que sea estándar, se utiliza como punto de referencia su valoración en dólares de Estados Unidos de América. En otras palabras, refleja cuántos dólares habría que gastar para comprar un panel solar capaz de producir un vatio de electricidad.

El cálculo se obtiene dividiendo el costo total del panel entre la cantidad de vatios (watts) de potencia máxima o pico (Wp) que puede producir. Para los costos se deben considerar los siguientes factores:

- No incluyen IVA.
- Todos los precios son en dólares de Estados Unidos de América (USD).
- La variación depende de la ubicación de cada país, lo cual genera distintos costos de fletes, aranceles e impuestos.
- La variación depende de la oferta y demanda de cada país. Aunque esto también depende de la estructura de mercado.
- Existen diferentes marcas las cuales tienen diferentes niveles de calidad y por lo tanto diferentes niveles de precios.
- Para el análisis se clasificó de acuerdo con los tipos de paneles: Monocristalinos, Policristalinos y Flexibles. En los dos primeros se utilizaron dos rangos de potencia, de 140-160W y de 240-260W. Para el caso de los flexibles únicamente se utilizó el rango de 100-120W. (Alcubierre, 2019)

En este caso se enfoca únicamente al costo que implica adquirir un panel, dejando a un lado lo que implica todo el sistema y la instalación.

La siguiente tabla indica el costo de los paneles solares por watt de potencia para algunos países de Latinoamérica, los datos fueron obtenidos a través de una investigación realizada por el Centro de Estudios Medio Ambientales y Energías

Renovables -CEMAER- (2019), considerando los costos promedio de distintas marcas y tipos de paneles solares.

Tabla 4. Latinoamérica: costo promedio por watt de paneles solares por país. Datos en \$/W. 2019.

lugar	Monocristalinos		Policristalinos		Flexibles
	140-160w	240-260w	140-160w	240-260w	100-120w
México	0.79	0.87	0.79	0.67	1.22
Colombia	1.63	1.35	1.23	1.04	1.57
Chile	0.88	1.10	0.98	1.07	3.18
Argentina	2.07	1.72	2.41	1.80	3.30
Ecuador	1.11	1.30	1.23	1.20	3.01
Perú	1.07	1.06	1.15	1.15	2.92
Centroamérica	1.25	1.04	1.25	0.94	2.06

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del CEMAER, Alcubierre, 2019.

Estos datos muestran una orientación respecto al cambio de precios según la tecnología del panel solar. Además, se toma como referencia para comparar los precios respecto a otros países de la región.

Particularmente para el análisis económico, se debe considerar el costo del sistema fotovoltaico, los sistemas varían en función de su construcción, configuración y marca. El tipo, la calidad de panel, el tamaño y la cantidad también afectan el costo de una instalación.

Los fabricantes de sistemas fotovoltaicos establecen los precios en función de la eficiencia y tiempo de vida útil. Los que mantienen su eficacia por un mayor periodo de tiempo suelen tener un costo inicial mayor. Los costos pueden variar incluso entre una misma marca a pesar de tener la misma potencia.

2.4.4. Dimensionamiento de los componentes.

Un sistema de generación fotovoltaica se dimensiona cada uno de sus componentes que lo constituyen a partir de conocer las necesidades del consumo que el usuario requiere cubrir.

Todo proyecto debe seguir una serie de actividades y pasos para formular y diseñar el plan de acción. A continuación, se indican los detalles básicos que deben considerarse para realizar una instalación fotovoltaica, pueden existir otros detalles que no se mencionan en el presente documento, debido a que las características de este tipo de proyectos cambian de acuerdo con un sin número de factores como la ubicación geográfica, consumo del usuario, recursos económico disponible, entre otros.

a. Requerimiento en kilovatios-hora a suministrar

Es necesario determinar el requerimiento de energía que se desea suministrar. Se debe determinar la cantidad de carga total especificada en kilovatios-hora que el usuario suplirá con la instalación fotovoltaica. En ese sentido, no se puede continuar con el proceso de diseño sino se sabe por completo que es lo que se necesita.

Para determinar la carga total, es necesario evaluar la cantidad de y que equipos eléctricos se van a conectar al sistema. Luego, hacer una suma de consumo energético de potencia eléctrica especificada en vatios (watts), o bien en kilovatios (kW).

La cantidad de paneles fotovoltaicos está directamente relacionada con la carga total a suministrar, pues estos tienen una potencia nominal absoluta que determina su potencial máximo de energía a generar.

b. Selección de tecnología en paneles fotovoltaicos

Aunado a limitaciones de recursos económicos, los proyectos de energía fotovoltaica deben proyectar su operación buscando la máxima eficiencia. Sin embargo, no todas las tecnologías de transformación fotovoltaica son iguales. Como se indicó anteriormente, existen tipos de tecnología principalmente, estos son paneles monocristalinos y paneles policristalinos. (Kamaruzzaman, 2019)

Además, existe una variedad de marcas, potencias, tamaños, precios de paneles fotovoltaicos. Lo importante es lograr encontrar el panel adecuado para garantizar el suministro de energía que suministre las necesidades del usuario y que se adecúe al espacio físico disponible. Se pueden utilizar diferentes tamaños y potencias de paneles fotovoltaicos para lograr el máximo aprovechamiento del área disponible y la máxima generación de energía eléctrica.

c. Área disponible para la instalación

El espacio físico disponible para la instalación fotovoltaica debe ser una ubicación que cumpla con el requerimiento técnico de abastecimiento de radiación solar máxima disponible, además del posicionamiento adecuado para la optimización del tiempo de radiación directa sobre los paneles.

En ese sentido, debe ser un área en la que no existan sombras que perjudiquen la generación de energía eléctrica al bajar el rendimiento de transformación de los paneles. Además, es fundamental delimitar el área para la instalación y así garantizar sus condiciones de operación, rendimiento y seguridad para el sistema y para los usuarios.

2.5. Infraestructura Educativa

Se requiere una infraestructura educativa adecuada en los centros educativos para que el estudiantado desarrolle las competencias básicas y otras requeridas para la culminación exitosa de los distintos niveles educativos, se requiere una serie de elementos facilitadores, entre los cuales se incluye la infraestructura educativa. Desde esta óptica, la infraestructura es un factor importante que aporta a la calidad educativa.

Los servicios de apoyo son esenciales para el desarrollo de las actividades educativas. Así, las condiciones de infraestructura educativa necesarias incluyen los servicios de: agua potable, desagüe o alcantarillado, servicios sanitarios en buenas condiciones, recolección de basura, energía eléctrica, teléfono, conexión a internet, entre otros.

Además de los servicios de apoyo, el centro educativo debe tener áreas físicas diseñadas para ejecutar específicamente actividades de enseñanza en particular, así como otras para servicios básicos, tales como: aulas, sanitarios, cocina, comedor, biblioteca, laboratorio de computación y espacio al aire libre, entre otros.

“En el ámbito de las tecnologías de la información se tiene un gran rezago, puesto que, de una muestra de veintisiete mil centros educativos, sólo tres mil tienen acceso a laboratorios de computación”. (Mineduc, 2020)

Según Aceña (2019) el documento la metodología consta de cuatro dimensiones que pueden resultar muy útiles de tomar en cuenta al momento de implementar tecnología en el aula, con miras a su evaluación de impacto. En forma resumida, las cuatro dimensiones son:

1. Disponibilidad de TIC: en esta dimensión se contabilizan los entornos de uso de las TIC, los dispositivos que se emplean, la ratio de computadores por alumnos, la conectividad y el uso del software.
2. Organización para el uso de las TIC: se hace un análisis de la gestión del cambio hacia las TIC, en los trabajos administrativos y de organización del centro, y en el proyecto educativo.
3. Formación de docentes en el uso de las TIC: se mide la formación digital de los docentes y el acceso a materiales educativos digitales.
4. Presencia de las TIC en las prácticas pedagógicas: se indaga en los objetivos pedagógicos que se plantean los docentes, las estrategias.

El uso de las TIC en los centros educativos es la puerta hacia una nueva metodología educativa, orientada al desarrollo del aprendizaje virtual y la pedagogía a distancia.

En ese sentido, es necesario diseñar proyectos de mejora de la infraestructura; proveer a los centros educativos con una fuente de electrificación estable y confiable, así como proveer recursos tecnológicos en el aula, para que estos recursos sean potencializados y usados como herramienta pedagógica.

En ese sentido, el Mineduc junto con la Agencia de Cooperación Alemana GFW, desarrollaron el manual de criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos, orientada a los tomadores de decisión, planificadores, evaluadores, constructores y supervisores de proyectos de infraestructura educativa.

Ese manual es una guía básica para aplicar las normas de diseño de instalaciones de los centros educativos de Guatemala, con el objetivo de garantizar que se proveerá de espacios físicos confortables, saludables y seguros para la población educativa, garantizando con ello la optimización de los recursos en el sector Educación, propiciando el óptimo desarrollo de las actividades educativas. (Mineduc y Cooperación Alemana KFW, 2016)

En lo que respecta al tema de electrificación, iluminación e instalaciones eléctricas, la guía indica varios criterios a seguir, los cuales a continuación se hacen referencia. Estos criterios dependen de varios factores, por ejemplo: la cantidad de alumnos, la ubicación del centro educativo, el nivel educativo que se imparte, entre otros.

El tamaño del edificio escolar varía de acuerdo con las características de cada nivel educativo, modalidad y máxima población educativa por atender, con el fin de mantener los niveles de operatividad del centro escolar y la calidad en el proceso enseñanza-aprendizaje. Para el dimensionamiento mínimo se debe utilizar los valores establecidos por el Mineduc en la siguiente tabla.

Tabla 8. Guatemala: superficie mínima que construir por educando según nivel educativo. En m².

Nivel	Preprimaria	Primaria	Básico	Diversificado
Área construida (m ² /alumno)	4	5	7	8

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Mineduc, Criterios Normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales. P.30.

La cantidad de aulas y lugares que el centro educativo tenga determinará el tamaño de la instalación eléctrica que requiere. La cantidad de aulas, servicios complementarios, el

nivel educativo, son algunos criterios básicos para determinar la cantidad de energía que el centro educativo demanda.

Para todos los espacios en los centros escolares debe proyectarse la iluminación artificial como obligatoria. A pesar de que la iluminación natural ayuda ciertamente durante la jornada diurna, aun así, es necesario la iluminación artificial para que la iluminación sea adecuada. En la jornada nocturna es la única fuente de iluminación.

Los niveles de iluminación que se indican se entienden como valores mínimos en servicio. Con el fin de tomar en cuenta la depreciación de la iluminación por envejecimiento de lámparas y acumulación de polvo, el nivel inicial de iluminancia o el cálculo teórico de las luminarias debe superar en un 25.0% los valores indicados en la siguiente tabla.

Tabla 9. Guatemala: niveles de iluminación visual por ambiente de acuerdo con los criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales, Mineduc. En luxes.

Tipo de ambiente	Nivel de iluminación (luxes)
Aulas multigrado	400 – 500
Aulas de nivel preprimario y primario	200 – 400
Aulas de nivel medio	250 – 500
Aula de proyecciones	200 – 400
Laboratorio de computación	400 – 500
Laboratorio de ciencias	400 – 600
Biblioteca	300 – 400
Circulación peatonal (pasillos)	150
Oficinas de apoyo	300
Dirección	300
Sala de docentes	300
Servicios sanitarios	150
Bodegas	150
Cafetería	200

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Mineduc, Criterios Normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales. P.33.

El cálculo luminotécnico responde a la necesidad de iluminación para el desarrollo de cada una de las distintas actividades en los espacios escolares. La iluminación debe cumplir los requerimientos siguientes: distribuida uniformemente en todos los puntos del espacio, debe ser difusa, evitarse conos de sombra, reflejos, deslumbramientos y asegurarse un nivel mínimo del 150 luxes en áreas de circulación. (Mineduc y Cooperación Alemana KFW, 2016)

Por aparte, un sistema de servicio auxiliar es el suministro de agua. Partiendo del proyecto de electrificación fotovoltaica, se debe considerar el equipo hidráulico (bomba de agua) necesario para el suministro del agua. Por lo tanto, ahora se procede a indicar las principales acotaciones para tener en cuenta en todo diseño para centros educativos públicos.

Para el cálculo del sistema indirecto de distribución, utilizando una bomba de agua eléctrica es necesario determinar la cantidad de agua requerida. La dotación de agua es el caudal de agua requerido por jornada en un centro escolar. Esta varía de acuerdo con la población máxima de educandos que se atienden, número de educadores, personal administrativo y de servicios, nivel educativo, número de jornadas y normas municipales. (Aceña, 2019, p.64)

“La dotación de agua no debe ser menor a 50 litros por educando, por día y por jornada. Para asegurar la dotación de agua continua, debe integrarse al diseño una cisterna o tanque elevado que garantice la dotación de agua.” (Mineduc y Cooperación Alemana KFW, 2016)

En todo proyecto es necesario atender las disposiciones del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), según Acuerdo Gubernativo 113-2009 y su guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano.

Continuando con la instalación eléctrica en centros educativos públicos, para el diseño de los sistemas o redes de iluminación y fuerza es necesario considerar lo siguiente:

1. La acometida eléctrica se diseña e instala de acuerdo con las normas establecidas por la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (EEGSA), la CNEE y/o empresas locales distribuidoras de energía, y las ordenanzas municipales jurisdiccionales sobre el tema. Es necesario dejar la instalación prevista de 120/240 voltios para su posterior utilización. (Mineduc y Cooperación Alemana KFW, 2016)
2. Cada circuito de iluminación debe admitir un máximo de carga de 1,000 vatios. Si la carga requerida es mayor, hay que agregar circuitos adicionales al tablero y balancear las cargas.
3. Cada circuito de fuerza debe admitir un máximo de carga de 1,500 vatios. Si la carga requerida es mayor, es necesario que se coloquen circuitos adicionales al tablero y balancear las cargas.

Tabla 10. Guatemala: cantidad de tomacorriente por ambiente de acuerdo con los criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales, Mineduc.

Tipo de ambiente	Tomacorrientes 120v, monofásicos	Altura de instalación (m)
Aulas multigrado	4	0.3
Aulas de nivel preprimario	4	1.3
Aulas de nivel primario y nivel medio	4	0.3
Aula de proyecciones	6	0.3
Laboratorio de computación	1 por cada 4 máquinas	0.3
Laboratorio de ciencias	8	0.3
Biblioteca	4	0.3
Circulación peatonal (pasillos)	1 por cada 50 m ² de patio	0.3
Oficinas de apoyo	4	0.3
Dirección	4	0.3
Sala de docentes	1 por cada 3 m. lineales	0.3
Servicios sanitarios	1	1.2
Bodegas	2	1.2
Cafetería	4	0.3

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos del Mineduc.

Estos datos son una guía que indica la cantidad mínima recomendada por la institución oficial del Estado en temas educativos. Habrá centros educativos que por razones de limitación económica no tengan la cantidad indicada para cada ambiente.

Teniendo en cuenta lo anterior, la distribución de energía en las instalaciones del centro educativo se lleva a cabo a partir de un tablero principal localizado en el centro donde mayor carga tiene el sistema, a través de circuitos. Los circuitos y tableros deberán tener cierta flexibilidad para realizar adiconamiento de unidades más adelante.

En caso de no contar con una fuente de abastecimiento de electricidad al momento de construir el centro educativo, se puede, entonces, considerar un proyecto de energía

mediante una fuente alternativa, por ejemplo, paneles solares, atendiendo regulaciones de la empresa eléctrica local y de la CNEE.

2.6. Análisis socioeconómico de Nueva Concepción

Para tener un contexto básico sobre la ubicación de la investigación, a continuación, se desarrolla un resumen del contexto socioeconómico del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla, basado en información oficial registrada en el censo nacional al año 2018.

El municipio de Nueva Concepción tiene una estructura productiva basada en las actividades agrícolas, cultivos anuales (granos básicos), permanentes (caña de azúcar, pastos). Estas actividades productivas son las que generan la mayor parte de la dinámica productiva, por lo que es importante conocer la lógica de funcionamiento para ver las limitaciones y potenciales de la misma. Dentro de la economía doméstica rural las especies menores aportan considerables ingresos económicos al hogar y alimentos para el auto consumo, según el inventario de la municipalidad local.

Respecto al mercado local, los productores de granos básicos no cuentan con una estructura de comercialización que les posibilite obtener mejores precios por su producción.

Las principales actividades económicas del municipio no generan oportunidades económicas sostenibles para la mayoría de la población, debido a que estas actividades generan un mercado laboral limitado, temporal, con poca exigencia de calificación de la mano de obra, de baja remuneración y empleos poco productivos. Por lo tanto, es importante identificar otras actividades con potencial de crecimiento, a fin de que se impulsen verdaderos motores de desarrollo en el municipio.

En la tabla No. se presenta un resumen de datos que contempla el análisis socioeconómico del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla, según fuentes oficiales.

Estos datos resaltan un marco de información respecto a las características del municipio de manera que se visualice la forma en que los habitantes viven actualmente según sus indicadores socioeconómicos. Aun así, es importante notar que estos indicadores a partir de marzo 2020 pueden ser diferentes de manera negativa, ya que la pandemia pudo haber afectado aún más la manera en que las personas del municipio viven.

Tabla 11. Nueva Concepción, Escuintla: resumen análisis socioeconómico, 2020.

Indicador	Valor	Fuente
Gestión Municipal (0 a 100)	32.55	Segeplan, 2019.
Agua y saneamiento (% hogares)	33.4%	INE, 2018.
Déficit habitacional (% hogares)	54.5%	INE, 2018.
Usuarios de internet (% población)	11.0%	INE, 2019.
Tasa de pobreza (% población)	61.2%	INE, 2018.
Gasto público Salud per cápita	Q62.25	MINFIN, 2019.
Gasto público Educación per cápita	Q928.80	MINFIN, 2019.
Desnutrición crónica (niños<5 años)	21.1%	MSPAS, 2016.
Tasa neta de cobertura educativa (todo nivel)	74.6%	MINEDUC, 2019.
Alumnos por Docente (todo nivel)	11.72	MINEDUC, 2019.
Capacitados como % de la PEA	19.7%	INTECAP, 2019.
% logro Mate y Lectura (graduandos)	3.6%	MINEDUC, 2019.
Carga tributaria (% PIB local)	3.6%	SAT, 2019
Inversión (% presupuesto local)	30.2%	MINFIN, 2019.
% de la PEA afiliada al IGSS	10.7%	IGSS, 2019.
Afiliados al IGSS por patrono particular	33.23	IGSS, 2019.
Ingreso Medio como % sueldo formal	80.1%	IGSS, 2019.
Depósitos como % PIB per cápita	19.9%	SIB, 2019.
Cartera de créditos (% PIB local)	16.7%	SIB, 2019.
Productividad local (PIB por km ²)	Q594,709.96	FUNDESA, 2019.
Remesas como % del PIB	16.0%	BANGUAT, 2019.
Costo iniciar un negocio (% PIB)	18.3%	<i>Doing Business</i> , 2019.
Fuerza Laboral Servicios (% PEA)	2.9%	IGSS, 2019.
Tiempo iniciar un negocio (días)	15	<i>Doing Business</i> , 2019.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de fuentes oficiales.

2.7. Teoría sobre la evaluación financiera

El estudio de la evaluación económica es la parte fundamental de toda la secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto. Es importante conocer primero el método de análisis que se empleará para comprobar la rentabilidad económica del proyecto.

El dinero disminuye su valor real con el paso del tiempo, a una tasa aproximadamente igual al nivel de inflación vigente. Esto implica que el método de análisis empleado debe tomar en cuenta este cambio de valor real del dinero a través del tiempo. (Baca Urbina, 2010, p.120)

Por lo tanto, se analizaron los siguientes indicadores financieros para determinar si los resultados de las proyecciones del proyecto son de beneficio para el inversionista o no; Así determinar si el proyecto es financieramente viable o no. En el capítulo 4 se desarrolló los cálculos de estas variables para cada escenario planteado.

A. Valor Actual Neto (VAN)

Este indicador financiero es parte importante del análisis financiero del proyecto y el resultado es determinante para la toma de decisiones para realizar la inversión. Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros permite colocar todos esos flujos de efectivo en la actualidad de manera que se puedan comparar en términos del dinero de hoy.

Para realizar este cálculo es necesario conocer el período de tiempo al cual se aplica la tasa de descuento y así encontrar el valor presente de los flujos. El período de tiempo muchas veces es considerado en años, tomando en cuenta el ciclo de vida del proyecto.

Siempre que se hagan comparaciones de dinero a través del tiempo deben hacerse en un solo instante, usualmente el tiempo cero o presente, y siempre debe tomarse en

cuenta una tasa de interés, pues ésta modifica el valor del dinero conforme pasa el tiempo.

Cuando se quieren pasar cantidades futuras al presente se usa una tasa de descuento, llamada así porque descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente, y a los flujos traídos al tiempo cero se les llama flujos descontados. Se suman los flujos descontados en el presente y se resta la inversión inicial, equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los costos necesarios para producir esas ganancias, en términos de su valor equivalente en este momento o tiempo cero. (Baca Urbina, 2010, p.208)

Gráfica 7. Ecuación Valor Actual Neto.

$$P = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

Fuente: Evaluación de proyectos, Bacca Urbina, 2010.

Para aceptar financieramente los resultados de un proyecto las ganancias deben ser mayores que los desembolsos, lo cual dará por resultado que el VAN sea mayor que cero. Si el VAN es cero, significa que los costos son igual que las ganancias, evaluados en el valor presente. Finalmente, si el resultado indica un VAN negativo, esto indica que las ganancias son menores que los costos del proyecto, por lo que no es aceptable.

El valor del VAN es inversamente proporcional al valor de la tasa i aplicada, en caso de que se pida un gran rendimiento a la inversión, es decir, si la tasa mínima aceptable es muy alta, el VAN fácilmente se vuelve negativo, y en ese caso se rechazaría el proyecto.

B. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Este indicador financiero es la tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Si el VAN es positivo, significa que se obtienen ganancias a lo largo de los cinco

años de estudio por un monto igual a la Tasa de rendimiento mínimo aceptado aplicada más el valor del VAN. (Baca Urbina, 2010, p.209)

Es claro que si el VAN es cero sólo se estará ganando la tasa de descuento aplicada, o sea la Tasa de rendimiento mínimo aceptada, aunque no se está generando ganancia, un proyecto podría aceptarse con este criterio, ya que se está ganando lo mínimo requerido como rendimiento.

Con este dato se acepta el proyecto, pero ahora interesa conocer cuál es el valor real del rendimiento del dinero en esa inversión. Para saber lo anterior se usa la ecuación indicada en la gráfica No.7 y se deja como incógnita la i . Se determina hasta que la tasa i iguale la suma de los flujos descontados a la inversión inicial P . Tal denominación permitirá conocer el rendimiento real del proyecto.

La tasa interna de rendimiento supone que el dinero que se gana año con año se reinvierte en su totalidad. Por lo tanto, se trata de la tasa de rendimiento generada en su totalidad en el interior del proyecto por medio de la reinversión. Es importante que este indicador financiero se analice juntamente con los resultados del VAN del proyecto, ya que solo el valor de la TIR puede no ser un método determinante para evaluar si el proyecto es económicamente viable. Además de estos, se deben analizar otros métodos que brindan más aristas de datos para así tomar mejores decisiones.

C. Análisis Beneficio/ Costo

El análisis de la relación beneficio/costo compara directamente los beneficios y los costos de un proyecto para definir su viabilidad económica.

Para calcular la relación B/C se halla primero la suma de todos los beneficios descontados, traídos al presente, y se divide sobre la suma de los costos también

descontados. Deben ser analizados ambos en el valor presente dada la temporalidad del resultado. (Van Horne, 2010, p.335)

Para saber si un proyecto es viable bajo este enfoque, se debe considerar la comparación de la relación B/C con el valor unitario. De la siguiente manera:

Si la relación B/C es mayor que 1, esto indica que los beneficios son mayores a los costos. En consecuencia, el proyecto debe ser considerado atractivo para la inversión.

Si la relación B/C es igual a 1, significa que los beneficios igualan a los costos. No hay ganancias. Existen casos de proyectos que tienen este resultado por un tiempo y luego, dependiendo de determinados factores como la reducción de costos, pueden pasar a tener un resultado superior a 1.

Si la relación B/C es menor que 1, muestra que los costos superan a los beneficios. En consecuencia, el proyecto no debe ser considerado atractivo para la inversión.

Sin embargo, dos proyectos de diferentes magnitudes pueden tener como resultado el mismo índice, pero con montos distintos. Como herramienta teórica este índice es válido, pero siempre hay que considerar las magnitudes para saber el tamaño del proyecto. Para esto es necesario analizar los otros indicadores financieros, como el VAN y la TIR. Entonces en su conjunto ya se puede tener una idea clara de los resultados financieros del proyecto.

D. Retorno de la inversión

El retorno sobre la inversión es una razón financiera que compara el beneficio o la utilidad obtenida en relación con la inversión realizada. (Van Horne, 2010)

También llamado periodo de recuperación representa una herramienta para analizar el rendimiento que el proyecto tiene desde el punto de vista financiero. Para calcularlo de

la manera más simple, se debe cuantificar todos los flujos de efectivo esperados (beneficios financieros) resultados de cada año durante la vida proyectada, luego se resta el monto total de costos de inversión y finalmente se divide en el monto total de costos de inversión. El resultado indica la cantidad de años que el proyecto toma para retornar los costos de inversión a los inversionistas.

Es el método formal más simple y, hasta donde se sabe, el más antiguo para evaluar proyectos de presupuestación de capital. El tiempo total, incluyendo la fracción de un año si es apropiada, que toma recuperar la cantidad original invertida es el periodo de recuperación. (Besley, Scott y Brigham, Eugene, 2006, p.365)

$$\text{ROI} = (\text{beneficios} - \text{inversión}) / \text{inversión}$$

E. Escenarios de sensibilización

Estos escenarios también son llamados pronósticos financieros, estos permiten que el administrador financiero anticipe los hechos antes de que ocurran, en particular la necesidad de obtener fondos del exterior. Es importante considerar que cualquier variación de las proyecciones puede alterar los resultados de alguna manera. Por lo tanto, crear escenarios de sensibilización de variables, hace que el análisis del proyecto considere situaciones que cambien los resultados esperados.

Para esta investigación se realizaron tres escenarios de proyección: el escenario original (actual), un escenario optimista y un escenario pesimista. Para esto se cambia la variable de tasa de costo de oportunidad de capital de operaciones activas de 8.0% inicialmente para el escenario original. Luego se cambia a 6% para el escenario optimista, quiere decir que esta tasa apoya los resultados del proyecto en forma positiva. Finalmente se cambia a 15% para el escenario pesimista, la cual afecta de forma negativa los resultados del análisis financiero del proyecto. Con esa información el analista del proyecto puede comparar con sumo cuidado los hechos reales con el plan y hacer los ajustes necesarios.

2.8. Teoría de análisis ambiental

“El término medio ambiente, de manera general se puede entender como el sistema natural o transformado en que vive la humanidad, con todos sus aspectos sociales y biofísicos y las relaciones entre ellos”. (Herrero, 2000)

La protección ambiental se demuestra especialmente en cada uno de los miles de toma de decisiones que afectan a un territorio. Notablemente desde el año 2015, en el acuerdo de París, se hace un esfuerzo a nivel mundial por alinear los objetivos de protección del medio ambiente.

Esa actitud cotidiana, en las pequeñas y grandes cosas, junto con marcar globalmente el ambientalismo en las actividades, hace surgir el concepto de impacto ambiental. Durante mucho tiempo este término fue acuñado para los temas de contaminación; luego el concepto se hizo extensible a especies animales, vegetales y a ecosistemas.

Según Fernández – Vítora (1993), define ampliamente el impacto ambiental como la alteración significativa de los sistemas naturales y transformados y de sus recursos, provocada por acciones humanas. Por tanto, los impactos se expresan en las diversas actividades y se presentan tanto en ambientes naturales como en aquellos que resultan de la intervención y creación humana. Fernández – Vítora utiliza la siguiente clasificación de los impactos según el atributo indicado. (p.584)

A. Carácter del impacto

Define el sentido del cambio producido por una acción del proyecto sobre el ambiente, respecto al estado previo a esta acción. Éste puede ser:

- Impacto benéfico o positivo (+): consideración positiva respecto al estado previo de la acción del proyecto.
- Impacto dañino o negativo (-): consideración negativa respecto al estado previo a la acción del proyecto.
- Impacto neutro (n): consideración neutral

B. La magnitud del impacto

Califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental producido sobre un determinado recurso o elemento del ambiente. Expresada en porcentajes, entre los siguientes rangos:

- Muy alta (80-100%)
- Alta (60-79%)
- Media (40-59%)
- Baja (20-39%)
- Muy baja (0-19%)

C. Certidumbre del impacto

Se refiere a su probabilidad de ocurrencia y se estima mediante juicio de expertos.

- Cierto: c
- Probable: p
- improbable: i
- desconocido: d

D. Tipo de impacto

Se refiere al modo de producirse el efecto de la acción sobre los elementos o características ambientales. En este sentido puede ser:

- Impacto primario (Pr). Es el que tiene una incidencia inmediata en algún factor ambiental.
- Impacto acumulativo (Ac). Aquel que, al prolongarse en el tiempo, la acción del agente inductor incrementa progresivamente su gravedad al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la acción causante del impacto.
- Impacto sinérgico (Sn). Este se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes o acciones supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente. Se incluye también aquellos que con el tiempo induce la aparición de otros nuevos.

E. Reversibilidad del impacto

Tiene en cuenta la posibilidad, dificultad o imposibilidad de retornar en forma natural a la situación anterior a la acción. Se clasifica como:

- Efecto reversible: las condiciones originales reaparecen al cabo de cierto tiempo.
- Efecto irreversible: la sola acción de los procesos naturales es incapaz de recuperar las condiciones originales.

F. Duración del efecto

- Efecto temporal: se presenta en forma intermitente o continuada sólo mientras dura la actividad.
- Efecto permanente: se presenta en forma continuada más allá de la duración de la actividad del proyecto. Puede también ser permanente si tiene un efecto intermitente, pero sin final.

3. Metodología

La metodología contiene la explicación en detalle de qué y cómo se hizo para resolver el problema de la investigación relacionado con la aplicación de sistemas de energía fotovoltaica para mejorar el acceso a la electrificación de escuelas rurales del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla.

Esta investigación se caracterizó por ser mixto, ya que se analizó cuantitativamente las variables técnicas de generación, consumo de energía y costos asociados; sin embargo, también dispone de análisis cualitativo en cuanto a variables de índices de electrificación del lugar indicado, con el fin de conceptualizar el desarrollo de proyectos de energía con aplicaciones en centro educativos dentro del marco regulatorio nacional.

Por otro lado, la investigación es de tipo descriptivo exploratorio ya que se enfocó en el análisis técnico-económico del potencial que tienen los sistemas de generación fotovoltaica en su instalación y operación, analizando dos tamaños de centros educativos públicos del municipio de Nueva Concepción del departamento de Escuintla como parte de la muestra, y se amplió el entendimiento de estos proyectos, a partir de enriquecer el análisis con información teórica de carácter normativa y técnica que implica un sistema fotovoltaico.

Las fuentes de datos son de tipo secundario, haciendo investigación exhaustiva de diversas fuentes bibliográficas, reportes de proyectos semejantes, y análisis de informe de resultados en otros países. Además, se contactó a empresas especialistas en proyectos de electrificación con sistemas fotovoltaicos para obtener diversos puntos de vista y experiencias que enriquezcan el desarrollo de la investigación.

Luego de aplicada las técnicas de investigación determinadas, las cuales se especifican en el método científico, se determinó el dato de cuánto necesita de energía cada centro educativo y su relación de costos, y como segundo elemento, cómo se incrementaría el índice de electrificación de los centros educativos.

La unidad de análisis en la investigación son 42 centros educativos públicos de educación primaria en el área rural del municipio de Nueva Concepción del departamento de

Escuintla. El Mineduc en su portal de información a través de la búsqueda de establecimientos, informa que la cantidad de establecimientos que contemplan las características requeridas son 81 en total.

“Actualmente, la municipalidad de este lugar no tiene sistemas alternativos de generación de energía y tampoco tiene planes a corto plazo, ni políticas municipales respecto a este tema” (Muni Nueva Concepción, 2017, p.3).

Complementariamente, el análisis técnico - científico ahonda en los potenciales resultados técnicos que se pueden obtener con los sistemas fotovoltaicos planteados, determinando así, valores numéricos, que se utilizarán para hacer proyecciones y de esa forma determinar el potencial técnico y económico.

Para la estructuración de la información, la misma se categorizó para facilitar el análisis de datos. Los centros educativos del área delimitada se analizaron con técnicas estadísticas con la selección simple de una muestra representativa, dando prioridad a los centros educativos que tengan mayor cantidad de alumnos, pues el potencial es más representativo en estos casos.

3.1. Definición del problema

La ausencia o interrupción en el servicio de energía eléctrica en muchas comunidades rurales, debido a largas distancias, difícil acceso, escasos recursos económicos y falta de infraestructura, reduce el desarrollo educativo de los estudiantes afectando el contexto social y económico de sus comunidades y de la sociedad guatemalteca en general.

Uno de los problemas más frecuentes en los centros educativos del área rural, es la falta de energía eléctrica. Canto (2019) refiere que al menos 5,000 escuelas en todo el país no cuentan con el servicio de energía eléctrica además de la ausencia de otros servicios básicos como el agua. Incluso indica que existen más de 20,000 edificios escolares en el país, de los cuales una gran parte registran daños en infraestructura y falta de servicios.

Cada vez más la red eléctrica se expande a varios lugares de la República de Guatemala, por lo que el MEM ha hecho los esfuerzos en conjunto con las instituciones pertinentes para la ejecución de planes de expansión de la distribución y la cobertura eléctrica. Sin

embargo, existen aún muchas comunidades que están alejadas de los centros de desarrollo en varios municipios.

Estas comunidades se ven aisladas del acceso a servicios, como la energía eléctrica, lo que afecta no solo a las viviendas sino también a los centros educativos de estas comunidades. Ya sea por factores como la distancia, la ausencia de caminos de acceso, o que los planes de electrificación priorizan algunas otras zonas departamentales.

“En septiembre del 2019 la Dirección Departamental de Educación no realizó el pago del servicio del consumo de energía durante tres meses. De continuar con la deuda, otros 177 centros educativos públicos serán incorporados al proceso de suspensión del servicio” (Energuate, 2019).

Esto demostró que la administración de los centros educativos ha tenido problemas de escasos recursos económicos. El servicio de electrificación de los centros educativos también se ve limitado por causas económicas y administrativas.

“La dirección departamental de educación señala que es un atentado contra los derechos de la niñez y adolescencia suspender el servicio de energía eléctrica, por lo que se debe solucionar esta situación” (Aceña, 2019, p.15).

De acuerdo con esas premisas, la energía eléctrica es necesaria para la operación adecuada de los centros educativos, debido a que afecta desde la iluminación de los salones de clases hasta el acceso a servicios de alimentación, salubridad e higiene del personal, alumnos y docentes.

El problema es que se tienen limitaciones en el acceso y uso de energía eléctrica en los centros educativos rurales, limitando la utilización de equipo electrónico para mejorar la calidad de la educación. A partir de lo anterior, se evaluó el acceso y el uso de la energía eléctrica en los centros educativos rurales que se tiene actualmente, debido a que algunos presentan problemas administrativos financieros para garantizar el uso continuo del servicio, y otros más aun no tienen el servicio. Además, se evaluó el potencial que existe en el municipio para aplicar la alternativa fotovoltaica para la generación eléctrica.

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo general

Realizar una propuesta de solución integral y eficiente de generación de energía en los centros educativos del área rural del municipio de Nueva Concepción del departamento de Escuintla, con el propósito de mejorar los servicios básicos que beneficien al desarrollo educativo de los estudiantes, y por ende mejoren su calidad de vida.

3.2.2. Objetivos específicos

1. Establecer las necesidades de suministro eléctrico y los costos del sistema fotovoltaico para los centros educativos rurales del municipio de Nueva Concepción del departamento de Escuintla, detallados por cantidad de aulas en el centro educativo.
2. Determinar las características técnicas de los sistemas de generación de energía por paneles fotovoltaicos, que serían necesarios para los centros educativos del área rural del municipio de Nueva Concepción del departamento de Escuintla, a partir de las características generales del centro educativo.
3. Especificar los beneficios económicos, sociales y ambientales que podrían obtenerse por la implementación de sistemas de generación de energía fotovoltaica en los centros educativos del área rural del municipio de Nueva Concepción del departamento de Escuintla.

3.3. Hipótesis

La hipótesis planteada es: La instalación de sistemas de energía fotovoltaica mejoran el acceso y continuidad de la electrificación en las escuelas rurales del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla.

La hipótesis alternativa es que la instalación de los sistemas de energía fotovoltaica no representa ningún beneficio económico, técnico ni ambiental en los centros educativos rurales del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla.

La hipótesis descansa en la condición que la electrificación tiene una importante influencia sobre el desarrollo humano, puesto que este permite implementar sistemas que incrementen el bienestar, por lo que es necesario fortalecer a las comunidades rurales para que estas le puedan dar un uso eficiente, teniendo esto como beneficio la integración de mejores técnicas de enseñanza, la tecnificación de los centros educativos, mejorar instalaciones y por ende aumentar su calidad educativa.

El desarrollo de la educación conlleva beneficios sociales, como la oferta de mano de obra capacitada, mejora de salarios, acceso a mejores bienes, entre otros. Sin embargo, la presente investigación no comprobará lo indicado anteriormente.

3.3.1. Especificación de variables

Variable dependiente: se analizó como unidad de estudio el potencial de generación eléctrica por medio de sistema de generación fotovoltaica en centros educativos rurales. Esta variable será medida directamente con los datos técnicos de ingeniería del fabricante, analizados en las condiciones ambientales del lugar indicado.

Variable independiente: se analizó el índice de electrificación que se puede obtener en los centros educativos del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla.

Se supondrá que el nivel de desarrollo y bienestar de los estudiantes será mejor por la cantidad de equipos eléctricos y electrónicos que podrán instalarse en el centro educativo, a partir de la disponibilidad y continuidad de la energía generada por el sistema fotovoltaico. Cuantitativamente es la cantidad de kilovatios disponibles en la instalación.

Además, con esta se podrá acceder o mejorar otros sistemas periféricos, por ejemplo, una bomba de agua que aportaría a la higiene y salubridad en el centro educativo, la iluminación aportaría a optimizar la percepción de los alumnos, si se estudia con una luz adecuada la capacidad de concentración puede ser mejor, por lo que el proceso de aprendizaje será de manera óptimo. Finalmente, la instalación de proyectores y

laboratorios de computación abrirán nuevas alternativas de enseñanza tanto para los docentes como para los alumnos y posiblemente aumentará el número de centros educativos con acceso a internet en el municipio indicado.

3.4. Método científico

La estrategia de razonamiento lógico que se utilizó en la investigación es el deductivo, usando principios generales para llegar a un análisis y conclusión específica.

La investigación se desarrolló de lo general a lo específico. Para esto se estudian 2 casos de sistemas de generación fotovoltaicos que ya están en operación para determinar detalles de operación, instalación y aplicación, a través de entrevistas a empresas usuarios de estos sistemas de energía. Se analiza el potencial de generación de energía de estos y se comprende la forma en que aportan a la electrificación. Además, se estudian 2 casos a nivel de empresas privadas especialistas en sistema fotovoltaico, para determinar la experiencia que se ha tenido en el diseño, instalación y operación de estos.

Para poder comprobar la hipótesis se recurrió a la elaboración de un estudio comparado utilizando un modelo de análisis de aspectos técnicos y económicos sobre la implementación del sistema de electrificación por paneles fotovoltaicos. Además, se compara como se ha hecho en proyectos semejantes en otros países, por ejemplo, Estados Unidos, además países de la región latinoamericana, como Costa Rica, Argentina y México.

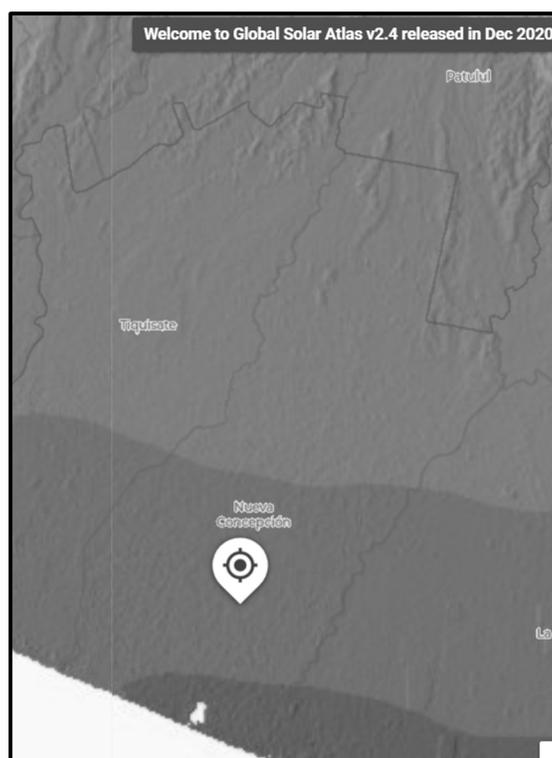
3.5. Período histórico

El período histórico en la que se ha realizado la investigación es en el último trimestre del año 2020. Durante octubre, noviembre y diciembre. Es importante recalcar que este año ha sido atípico, afectado en todo sentido por la pandemia de COVID-19. Los efectos que se pueden percibir en el desarrollo de la investigación son los centros educativos sin presencia de alumnos y personal docente, por el aislamiento y distanciamiento social impuesto. La opinión de los directores en los centros educativos pudo haber sido sesgada por la situación.

3.6. Ámbito geográfico de la investigación

La investigación esta específicamente enfocada en el área rural del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla. Por área rural se refiere a las aldeas, trochas y caseríos del municipio, en los cuales se ubicaron los centros educativos en análisis. En total son 17 aldeas y 30 caseríos entre estas 17 trochas, según la administración municipal de Nueva Concepción. La Gráfica No.8 muestra la ubicación y coordenadas de la trocha de El Tigre, como posición central del área rural del municipio. A partir de esta ubicación se empiezan las demás trochas, por lo que es una buena referencia.

Gráfica 8. Ubicación Área rural, municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla, año 2020.



Escuintla

14.015092°,-091.367971°
unnamed road, Escuintla, Guatemala
Time zone: UTC-06, America/Guatemala [CST]

Fuente: Mapa de Recurso Solar Guatemala, El Banco Mundial, Global Solar Atlas, 2020.

3.7. Universo y tamaño de muestra

Para el análisis estadístico, se realizó una consulta de datos en el portal web del Mineduc, se filtró por características y se determinó que la cantidad de establecimientos que contemplan las características de nivel escolar primario, plan matutino, mixtos y de carácter oficial no privados, son en total 81. A partir de estos, según la tabla No.11, se determinó como muestra a 42 centros educativos en el área rural del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla, y estar en el rango entre 10 a 250 estudiantes. (Listado a detalle ver Anexo No.7)

Se delimitó la población para generalizar resultados y establecer parámetros. La selección de la muestra se hizo a partir de un procedimiento aleatorio simple.

Tabla 11. Datos y cálculo del tamaño de la muestra.

<u>Formula de Tamaño de Muestra</u>		
	$n = \frac{Z^2 \times P \times (1 - P) \times N}{P(1-P)Z^2 + (N-1)E^2}$	
<u>Descripción</u>	<u>Variable</u>	<u>Valor Seleccionado</u>
Tamaño de Muestra	n=	?
Población	N=	81
Proporción anticipada	P	80%
Margen de Error	E	9%
Nivel de Confianza	90%, 95% or 99%	95%
Z score	Z	1.96
n=		39
Presunción de malos datos		5%
Muestra total		41

Fuente: Elaboración propia, sobre la base Taha, 2012.

3.8. Técnicas de investigación aplicada

La investigación es de tipo mixto ya que tiene enfoque cuantitativo y cualitativo. El enfoque cualitativo es partir de datos e información de referencia de empresas privadas especialistas en sistema fotovoltaico y análisis de las variables en los centros educativos de la región indicada; el enfoque cualitativo se da a partir de conocimiento de la

percepción que los involucrados tienen de los proyectos de generación fotovoltaica, lo cual se utilizó como herramienta metodológica la entrevista de expertos y cuestionarios a los directores de los centros educativos seleccionados de la muestra. Se espera que mejorarán en la cantidad de energía disponible, en la continuidad del servicio y un aumento del índice de electrificación.

Se recurre a otras técnicas de recolección de datos como la observación, cuestionarios en línea (Anexo No.2) y entrevistas (Anexo No.3) tanto a los expertos de empresas privadas como a los directores de los centros educativos anteriormente citados.

En definitiva, tener una base de información, recolección de experiencias y el estudio de casos fue determinante para el proceso de la investigación. Los casos de éxito ayudan como referencia en aspectos tanto técnicos como económicos y sociales del desarrollo óptimo de proyectos de generación fotovoltaica y sus aplicaciones.

Se utiliza una clasificación y categorización para ordenar la información. La estructura de la investigación es para llevar un mejor control de los datos y así orientar el análisis del conocimiento de forma adecuada.

3.8.1. Técnicas de investigación de campo

Para realizar la presente investigación también se utilizaron fuentes de datos primarios, siendo los principales los cuestionarios a directores de centros educativos.

Se estableció comunicación con los directores de los centros educativos por vía telefónica y por correo electrónico. Se les explicó el motivo de la investigación y el marco general del trabajo. Se les explicó el procedimiento y se llenó el cuestionario, explicando cada pregunta. El cuestionario se compone de dos secciones: Infraestructura del centro educativo y acceso y uso de energía. Cada sección se compone de 10 preguntas, siendo en total 20 preguntas.

Con el cuestionario se conoció de forma general la descripción del centro educativo, a través de cada pregunta, indicando aspectos de la construcción como cantidad de aulas, material de las paredes, suelo, techo; también se incluyeron aspectos relacionados al acceso a servicios como el agua, energía, internet, servicios sanitarios, entre otros.

El cuestionario es una herramienta que ayudó a caracterizar los centros educativos, principalmente en la cantidad de involucrados: maestros, director y alumnos.

Además, también se realizaron entrevistas a expertos con la intención de conocer información de primera mano directamente de las personas que llevan a cabo los procesos de diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos, se realizaron varias entrevistas en profundidad mediante la técnica de opinión de expertos en la que se entrevistan a 3 sujetos de opinión. Estas fueron orientadas a identificar criterios relevantes.

Para el procesamiento de la información se tuvo en cuenta 5 variables sujetas de estudio:

- a. Sistemas de mantenimiento y duración de los sistemas fotovoltaicos.
- b. Costo de instalación.
- c. Diferenciación entre los sistemas fotovoltaicos y la energía eléctrica de la red.
- d. Personal especializado para la administración.
- e. Producción de energía fotovoltaica.

Se diseñó la tipología de los sujetos de opinión de expertos, los que tienen las siguientes características:

- a. Experiencia de 2 años de gerencia o jefatura o haber trabajado en proyectos de energía de instalación de energía.
- b. Conocimientos de los sistemas fotovoltaicos.
- c. Con nivel académico universitario con especialidad en ingeniería.
- d. Con experiencia en planificación y diseño de instalaciones de energía para entidades públicas o privadas.

De acuerdo con la relevancia de las respuestas se tuvo en cuenta las valoraciones lo que permitirá establecer resultados para la construcción de conclusiones. Además, en la entrevista se trataron temas correspondientes a la organización, así como sus objetivos, los procesos y de su experiencia profesional dentro de la organización, entre otros.

Durante las entrevistas se plantearon una serie de preguntas elaboradas con el fin de enriquecer la investigación con información de fuentes primarias, estas preguntas se pueden ver en el anexo 3. La recolección y análisis de datos se realizó por medio de anotaciones y bitácoras por caso, observación, puntos de vista de los involucrados y de los usuarios.

En dicho anexo se detalló las respuestas de cada uno de los 3 profesionales entrevistados. Es importante destacar que cada uno de ellos tiene diferentes puntos de vista según su experiencia, sin embargo, coincidieron en varios aspectos fundamentales en proyectos de energía solar, una de ellas es el optimismo que se tiene respecto a los proyectos de energía solar de cara al futuro en el corto plazo, pues según sus comentarios la tendencia está en pleno crecimiento, tanto a nivel nacional como sus percepciones a nivel internacional.

También, se evaluaron casos de empresas especialistas en sistemas fotovoltaicos dentro de ellas: *Ekipment Solar*: es una empresa establecida en Quetzaltenango, se dedica a la venta, renta y mantenimiento de maquinaria para la construcción e industria, brindan asesoría técnica y profesional. En su rama de energía solar, tienen varios proyectos ya ejecutados y operando. Principalmente de iluminación y bombeo solar. Se ha consultado con el departamento técnico sobre criterios de diseño, instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.

Además, han indicado varios ejemplos de los proyectos que han realizado en los últimos 3 años, principalmente en el área rural en el occidente de Guatemala. Por ejemplo, en agosto de 2020 realizaron la instalación de un sistema fotovoltaico para la extracción de agua con una bomba eléctrica, en la municipalidad de Catarina, San Marcos.

Se consultó a *Ekipment Solar* por el diseño requerido para el sistema fotovoltaico en los centros educativos, según los requerimientos planteados a partir de los datos obtenidos de la caracterización y la información de los cuestionarios realizadas a los usuarios (directores) de los centros educativos. Además, *Ekipment Solar* ha compartido asesoría, información y experiencias como guía para la planeación correcta del sistema fotovoltaico.

Además, se conversó con la empresa *Smart Projects* que es una empresa fundada en 2009 y luego de 11 años de operación ha diversificado las líneas de negocio brindando asesoría, instalación y mantenimiento en diferentes áreas a las cuales se enfocan. Su línea de productos principal son los sistemas de energía fotovoltaica; proveen sistemas aislados y conectados a la red. Según su portafolio de proyectos, han diseñado principalmente sistemas de iluminación para empresas privadas.

Se ha requerido a *Smart Projects* la asesoría y diseño del sistema solar fotovoltaico adecuado para los centros educativos, según los requerimientos establecidos a partir del análisis de resultados y caracterización de los centros educativos. Además, con el apoyo de su departamento de ingeniería, se ha realizado un análisis de radiación solar por software. Para conocer el nivel de radiación promedio en la ubicación previamente establecida: área rural del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla.

Finalmente, se contactó a un centro educativo usuario de sistemas fotovoltaicos ya operando, por medio de cuestionarios en línea o por vía telefónica. Este lugar cumple con la característica de ser usuario activo de sistemas fotovoltaicos. Conociendo cómo se ha modificado la utilización de la energía después del proyecto de generación fotovoltaica.

El Colegio Evelyn Rodgers ubicado en el Km. 16.5, Finca el Porvenir, Aldea Don Justo, en el municipio de Fraijanes, departamento de Guatemala. Desde octubre del 2014, la junta directiva decidió instalar un sistema solar fotovoltaico conectado a la red para suministrar energía a todas las instalaciones del colegio. El objetivo era alinearse con la

idea de ser una institución que enseña a los alumnos el cuidado al medio ambiente, por lo tanto, es un ejemplo que se alinea a los valores que transmiten en el colegio.

Según Rodgers (2020), director del centro educativo, afirma:

La idea es hacer sostenible el campus, con tecnologías que reducen el impacto al medio ambiente. El proyecto se compone de 342 paneles fotovoltaicos y fue instalado por la empresa *Advanced Energy*; el sistema genera en promedio mensualmente 6,000 kWh de energía, tomando en cuenta que unos meses hay más radiación solar y en otros menos. (p.2)

Este proyecto fue pionero en el año 2014 para centros educativos, ya que fue uno de los primeros en invertir en la instalación de un sistema fotovoltaico. A partir de esto, el colegio tiene la popularidad de estar siempre en busca de nuevos proyectos e ideas innovadoras que aporten al desarrollo y aprendizaje de sus alumnos y de la comunidad educativa.

Adicionalmente se discutió con la empresa *Smart Projects Guatemala*, ubicada en la zona 12 de la ciudad Guatemala. Según el gerente general, Carlos Orantes, fundador de la empresa en 2009, se decidió invertir en un sistema solar fotovoltaico conectado a la red de la distribuidora EEGSA. Esta decisión tiene ya 5 años de estar operando, con el fin de hacer ver a los clientes que visiten las instalaciones de la empresa el funcionamiento de un sistema de dichas características. Luego de los primeros 3 años y meses, se ha demostrado que el sistema fotovoltaico ya retorno la inversión.

Smart Projects ahora tiene como ejemplo su sistema e invita a sus clientes potenciales a conocer sus instalaciones. Un detalle importante que se pudo verificar en las facturas de energía eléctrica es que el ahorro es de hasta un 95.0%. Ya que en la factura se cobran cargos fijos por distribución que no son deducibles del total de la energía inyectada a la red.

3.8.2 Técnicas de investigación documental

La investigación se afianzó con la información necesaria que se encuentra en informes y reportes documentales emitidos por varias instituciones nacionales e internacionales. Por ejemplo, la Política de Energía de Guatemala emitida por el MEM, informes anuales de la CNEE, estadísticas relacionadas con el tema de educación en Guatemala emitidas por el INE, reportes de actividades y estadísticas del Mineduc y otras instituciones que generan información relevante y relacionada al tema de esta investigación.

Además, para el análisis comparativo se consultó la información disponible en portales de internet relacionados a proyectos afines implementados en otros países de la región Latinoamérica con la tecnología de generación fotovoltaica. Esto ayuda a complementar y sustentar la información investigada de las fuentes mencionadas. También el estudio de casos por medio de documentos, manuales de fabricante, bitácoras y bibliografía extensa para la profundidad y comprensión de los datos.

Para obtener información cuantitativa acerca de la ejecución de los proyectos que se llevan a cabo en las empresas, el consumo de energía que tienen los dispositivos eléctricos a conectarse en un centro educativo, así como los requerimientos básicos de los centros educativos en materia de energía, se efectuó una investigación en cada uno de los elementos que componen un proyecto de este tipo. Los datos están basados en la búsqueda de información sobre tendencias, comportamientos y criterios aplicados sobre un hecho registrado documentalmente.

Específicamente para los paneles fotovoltaicos y sus accesorios se tuvo el apoyo documental de las 2 empresas especialistas, facilitando información técnica de diseño, instalación y operación. En referencia del consumo de energía que tienen los dispositivos eléctricos se consultó fuentes bibliográficas y manuales de fabricantes.

Por último, respecto a los requerimientos básicos de centros educativos se revisó bibliografía e información referencial por tamaño de centro educativo en otras aplicaciones y registros del Mineduc. Se logró compilar información básica y general para el cálculo de índices representativos para la gestión de la investigación.

4. Análisis y discusión de resultados

4.1. Resultado de las encuestas a los centros educativos

Partiendo de la herramienta utilizada, el cuestionario ayudó a caracterizar los centros educativos, principalmente en la cantidad de involucrados. Los resultados producto de las encuestas constituye el marco de referencia para al análisis y diseño de las soluciones al problema.

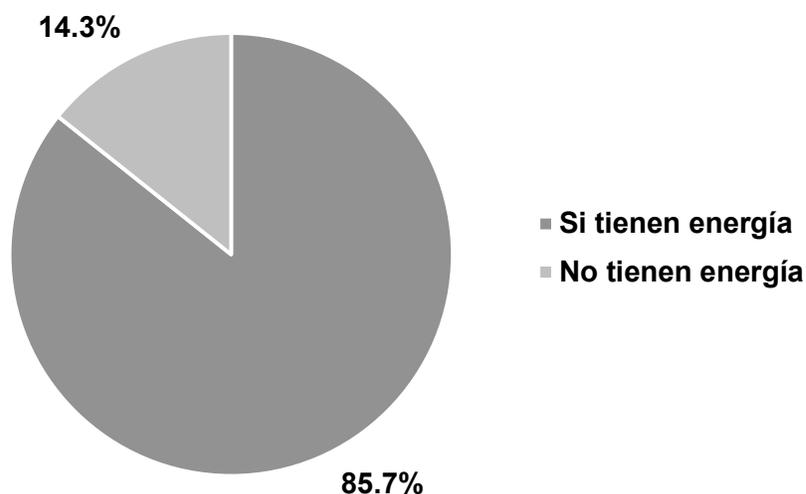
4.1.1. Cantidad de centros educativos con electrificación.

Con los resultados obtenidos en el cuestionario, se pudo conocer la cantidad de centros educativos que disponen actualmente de acceso a energía eléctrica.

La gráfica No. 9 muestra que 6 de los 42 centros educativos no tienen acceso a la energía eléctrica, esto es equivalente al 14.3%. Estas comunidades educativas ven limitadas sus actividades académicas debido a la ausencia de este servicio. Además, los resultados muestran que a partir la falta de electrificación también se ven afectados otros servicios básicos como servicios sanitarios dignos y otros servicios complementarios educativos como el uso de computadoras, por lo menos para directivos y docentes.

Entre los resultados cabe destacar que son los centros educativos más grandes, y con mayor población estudiantil, los que tienen el acceso al servicio de energía eléctrica. Sin embargo, también existen centros educativos que a pesar de que tienen acceso al servicio, tienen problemas administrativos y/o económicos que afectan en la continuidad del servicio.

Gráfica 9. Porcentaje de acceso a electricidad en los centros educativos oficiales del municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla- Año 2020.



Fuente: Elaboración propia con base a resultados de encuesta a centros educativos, 2020.

4.1.2. Cantidad de alumnos por centro educativo.

El siguiente resultado a analizar es la cantidad de alumnos que tienen los centros educativos. Esta información ayudó a tener clara la idea de que tamaño de centro educativo es el más representativo en la muestra estadística de la región. Además, la información permitió definir los dos tamaños de escuela para los cuales se diseñarán los sistemas de electrificación fotovoltaica, evitando los extremos con sistemas muy pequeños o demasiado grandes, que no sean aptos para resolver el problema en la mayoría de los centros educativos.

En primer lugar, se definieron por rangos de 30 alumnos desde 0 hasta 270 alumnos, es decir se crearon 9 intervalos. Luego, se organizaron los centros educativos por la cantidad de estudiantes indicada previamente por el director del centro educativo, y se contabilizó este dato según el rango en el cual concuerde dicha cantidad.

De acuerdo con la tabla No.11, en el área objeto de estudio existen 12 centros educativos que tienen entre 91 y 120 alumnos inscritos, siendo estos los centros educativos más representativos, equivalentes a un 28.5% de la muestra.

Tabla 11. Cantidad de centros educativos por rango de cantidad de alumnos: resultados encuesta a centros educativos oficiales. Municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla, año 2020.

Rango de cantidad de alumnos	Cantidad de centros educativos	%
0-30	3	7.1%
31-60	4	9.5%
61-90	11	26.2%
91-120	12	28.6%
121-150	5	11.9%
151-180	2	4.8%
181-210	0	0.0%
211-240	2	4.8%
241-270	3	7.1%
Total	42	100.0%

42	Datos
119.9	Media
94.3	Moda
98.0	Mediana
97.9	desviación estándar

Fuente: Elaboración propia con los resultados de encuesta a centros educativos, 2020.

El segundo rango más representado es de los centros educativos que tienen entre 61 y 90 alumnos inscritos, en este rango hay 11 equivalentes al 26.2% de la muestra. Entre estos dos tamaños de centro educativo, alcanzan el 54.8% del total de la muestra.

La muestra permite concluir que el tamaño medio de los alumnos es de 119.9 estudiantes, la moda es 94.3, por lo que en términos calculados el número de estudiantes que más se repite en la muestra es de 94 estudiantes. Complementariamente el valor mediano es de 98 estudiantes. Todos estos datos están dentro del rango de 91 a 120 alumnos y es el que mayor porcentaje representa.

Así la información permite concluir que la mayor parte de los centros educativos tienen entre 61 y 120 estudiantes inscritos, por lo que se estima que se diseñarán dos sistemas fotovoltaicos adecuados para cubrir las necesidades de electrificación para las cantidades de salones, sanitarios, servicios adicionales que cumplan para esta cantidad de estudiantes.

El primer sistema fotovoltaico se llama "Tipo A" y será para los centros educativos de hasta 90 estudiantes y el segundo sistema llamado "Tipo B" será para centros de hasta 120 estudiantes. Adicional a estos datos se debe considerar los posibles crecimientos proyectados a futuro, según el criterio del diseño del sistema.

Más adelante, en este capítulo se desarrolló específicamente el diseño de ambos sistemas, indicando cada aspecto técnico y económico que involucra su implementación, así como sus características y límites técnicos.

4.1.3. Número de aulas.

Actualmente 19 de los 42 centros educativos tiene entre 3 y 4 aulas, equivalentes al 45.3% del total, siendo el rango de aulas con mayor representación. El segundo rango con más frecuencia, 10 centros educativos, es entre 5 a 6 aulas, equivalente a 23.8% del total. Por lo tanto, estos dos tamaños representan en conjunto más del 69.1%.

Tabla 12. Número de aulas por centro educativo: resultados encuesta a centros educativos oficiales. Municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla, año 2020.

Rango de cantidad de aulas	Cantidad de centros educativos	%
1 a 2	4	9.5%
3 a 4	19	45.2%
5 a 6	10	23.8%
7 a 8	4	9.5%
9 a 10	0	0.0%
11 a 12	1	2.4%
13 a 14	1	2.4%
15 a 16	1	2.4%
17 a 18	2	4.8%
Total	42	100.0%

42.0	Datos
5.8	Media
5.7	Moda
4.1	Mediana
4.0	Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia, resultados de encuesta a centros educativos, 2020.

La media de los datos es 5.8 y representa el valor promedio de aulas por centro educativo. La moda calculada es de 5.7 aulas y la mediana es de 4.1 aulas.

Los datos muestran que la mayor cantidad de los centros educativos tienen entre 3 y 4 aulas y una segunda porción mayoritaria tiene entre 5 y 6 aulas, esto muestra que los centros educativos analizados se pueden clasificar en dos rangos mayoritarios

Los resultados reafirmaron la necesidad de proponer el diseño de dos sistemas fotovoltaicos adecuados para cubrir las necesidades de electrificación, siendo uno para los centros educativos de 4 aulas (sistema tipo A) y otro para los centros educativos para 6 aulas (sistema tipo B).

4.1.4. Cantidad de sanitarios.

Entre los servicios básicos de todo centro educativo están los sanitarios para uso de todas las personas que pertenecen a cada comunidad educativa. Los resultados muestran que actualmente 17 de los 42 centros educativos tiene entre 3 y 4 sanitarios, equivalente al 40.5% del total, siendo el rango de sanitarios con mayor representación en la estadística. El segundo rango con más frecuencia, en 9 centros educativos, es entre 5 a 6 sanitarios, equivalente a 21.4% del total. Es importante notar que un tercer rango con frecuencia de 8 centros educativos tiene entre 7 y 8 sanitarios. Por lo tanto, estos tres tamaños representan en conjunto más del 80.0%.

Tabla 13. Número de centros educativos clasificados por rango de sanitarios en el Municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla, año 2020.

Rango de cantidad de sanitarios	Cantidad de centros educativos	%
1 a 2	3	7.1%
3 a 4	17	40.5%
5 a 6	9	21.4%
7 a 8	8	19.0%
9 a 10	0	0.0%
11 a 12	1	2.4%
13 a 14	3	7.1%
15 a 16	1	2.4%
17 a 18	0	0.0%
Total	42	100.0%

42.0	Datos
5.7	Media
6.3	Moda
4.7	Mediana
3.3	Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia, resultados de encuesta a centros educativos, 2020.

La información también muestra que el número medio de sanitarios es de 5.7, mientras que la moda calculada alcanza 6.2, representando el valor teórico más observado en la muestra de datos. Finalmente, la mediana es de 4.7.

Los datos también muestran que la mayor cantidad de los centros educativos tienen entre 3 y 4 sanitarios y una segunda porción mayoritaria tiene entre 5 y 6 sanitarios, que también tiene relación directa con los resultados de la tabla No.12.

Partiendo de estos resultados, se considera apropiado el diseño de dos sistemas fotovoltaicos adecuados para cubrir las necesidades de electrificación para 4 sanitarios (sistema tipo A) y para 8 sanitarios (sistema tipo B).

4.1.5. Cuota mensual promedio por pago de energía eléctrica.

La información obtenida permite concluir que el 85.7% de los centros educativos del municipio de Nueva Concepción, del departamento de Escuintla tienen acceso a la electrificación. Esto es equivalente a 36 centros educativos del total de la muestra analizada.

En la tabla No.14 se presenta la información de la clasificación del número de centros educativos clasificados por rango de pago mensual, en intervalos de Q.100.00 que van desde los Q.100.00 mensuales hasta Q.800.00 mensuales. La cantidad más alta de centros educativos son 15, equivalente a 41.6%, todos ellos con acceso a energía y con un rango de pago medio mensual de energía entre Q.401.00 a Q.500.00, siendo este rango representativo para el sistema tipo B, según la caracterización descrita en los anteriores párrafos.

La segunda mayor cantidad de centros educativos, que son 10, equivalente a 27.7% del total, se ubican en el rango de Q.301.00 a Q.400.00 de pago mensual en energía, siendo, este rango representativo para el sistema tipo A.

Tabla 14. Clasificación de los centros educativos oficiales del municipio de Nueva Concepción, del departamento de Escuintla, por rango de pago mensual del servicio de energía eléctrica. Datos en quetzales, año 2020.

Rango de pago mensual en Q.	Cantidad de centros educativos	%
100 a 200	0	0.0%
201 a 300	6	16.7%
301 a 400	10	27.8%
401 a 500	15	41.7%
501 a 600	2	5.6%
601 a 700	2	5.6%
701 a 800	1	2.8%
801 a 900	0	0.0%
901 a 1,000	0	0.0%
Total	36	100.0%

Fuente: Elaboración propia, resultados de encuesta a centros educativos, 2020.

4.2. Propuesta de solución integral de generación de energía fotovoltaica: tipo A y tipo B

Para el diseño de las instalaciones se utilizó como base el manual de criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos, desarrollado por el Mineduc junto con la Agencia de Cooperación Alemana KFW.

Este es una guía básica para aplicar las normas de diseño de instalaciones de los centros educativos de Guatemala, con el objetivo de garantizar que se proveerá de espacios físicos confortables, garantizando con ello la optimización de los recursos en el sector Educación, propiciando el óptimo desarrollo de las actividades educativas. (Mineduc y Cooperación Alemana KFW, 2016)

Además, la cantidad de iluminación y consumo de energía está directamente relacionado a los resultados anteriores referentes a cantidad de aulas por centro educativo, por lo que

primero se determina el nivel de iluminación y luego el consumo de energía total requerido para el sistema tipo A y B.

4.2.1. Requerimientos de diseño.

Se le denomina dimensionado o diseño de un sistema solar fotovoltaico a una serie de procesos de cálculo que logran optimizar el uso y la generación de la energía eléctrica de origen solar, realizando con un balance adecuado entre ellas, desde los puntos de vista técnico y económico. (CONELEC, 2008, p.17)

El primer aspecto que se debe considerar a la hora de realizar el diseño es el consumo racional de la energía. Para conocer cuánta energía eléctrica se requiere en el objetivo a electrificar, se deben tener en cuenta las características eléctricas de los equipos a alimentar y el tiempo de empleo por parte del usuario del sistema. A partir de esto, se hace necesario conocer o estimar la corriente y la tensión o voltaje de trabajo de los equipos instalados y el número de horas diarias de trabajo, teniendo en cuenta las posibles ampliaciones que en el futuro se hagan en la instalación proyectada.

Como segundo aspecto para tener en cuenta en el diseño y no de menos importancia está la disponibilidad en el sitio de instalación del recurso solar.

4.3. Análisis de la radiación solar para el diseño

Carta, Calero, Colmenar y Castro (2009) afirman que:

La radiación solar es la energía emitida por la superficie del sol que se propaga en todas las direcciones mediante ondas electromagnéticas proporcionadas por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del sol durante la fusión. Una parte de la radiación del sol es reflejada en la atmósfera, lo que se absorbe es la radiación solar terrestre que llega efectivamente a la superficie de la tierra, lógicamente una cantidad menor que la que se tiene en el exterior de la atmosfera. (p.125)

Esto significa que la radiación solar cambia dependiendo de la hora del día, del día del mes y del mes del año; es decir, cambia cuando varían las condiciones atmosféricas como nubosidad, vapor de agua, gases, partículas, entre otras.

La siguiente tabla muestra la radiación solar en kWh/m² por día en cada uno de los meses en el municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla, durante el año 2020.

Tabla 15. Nivel de Insolación por mes. Municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla, año 2020.

Mes	Insolación en Escuintla
	(Kwh/m ² por día)
Enero	6.04
Febrero	6.70
Marzo	7.11
Abril	7.05
Mayo	6.24
Junio	5.95
Julio	6.33
Agosto	6.30
Septiembre	5.63
Octubre	5.78
Noviembre	5.80
Diciembre	5.71
Promedio	6.22

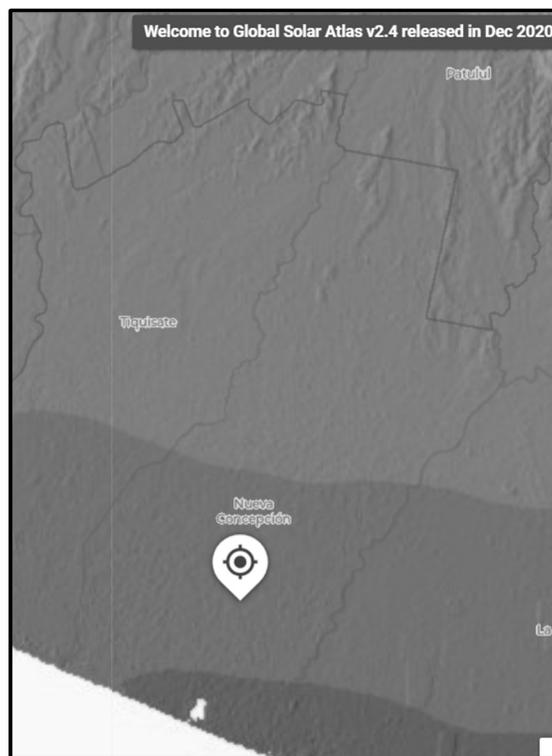
Fuente: Elaboración propia, con base en los datos de la Agencia Espacial de Estados Unidos, NASA, 2020.

En la ubicación del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla se registra una insolación global promedio anual de 6.23 kWh/m² por día durante el 2020, valor obtenido a través del software de información del Global Atlas Solar de Guatemala.

Las coordenadas geográficas exactas para la ubicación son 14.015092°, -091.367971° (ver gráfica No.10) muestra la ubicación y coordenadas de la trocha de El Tigre, como posición central del área rural del municipio. La altitud sobre el nivel del mar es 16 metros. La temperatura promedio del aire es 27.5 °C. Para estos parámetros y ubicación el ángulo óptimo de posición de los módulos de paneles solares sobre la superficie es de 18 grados.

La radiación solar cambia dependiendo de la hora del día, del día del mes y del mes del año. Esta variable es determinante para evaluar las proyecciones de la cantidad de energía que se puede obtener de un sistema fotovoltaico, y determinar el potencial que el proyecto tiene. Entre mayor cantidad de energía se pueda generar, es mejor para el proyecto en términos de eficiencia del sistema. (Carta et al., 2009, p.126)

Gráfica 10. Mapa de insolación. Municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla, año 2020.



SITE INFO ^			
Map data		Per day ▾	
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	4.874	kWh/kWp per day ▾
Direct normal irradiation	DNI	5.597	kWh/m ² per day ▾
Global horizontal irradiation	GHI	5.970	kWh/m ² per day ▾
Diffuse horizontal irradiation	DIF	2.041	kWh/m ² per day ▾
<input checked="" type="checkbox"/> Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	6.232	kWh/m ² per day ▾
Optimum tilt of PV modules	OPTA	18 / 180	°
Air temperature	TEMP	27.5	°C ▾
Terrain elevation	ELE	16	m ▾

Fuente: Mapa de Recurso Solar Guatemala, El Banco Mundial, Global Solar Atlas, 2020

La ventaja de esta ubicación (Gráfica No.10) para el análisis de proyectos fotovoltaicos es que el índice de radiación global es considerado alto durante la mayoría de los meses en el año. Esto gracias a factores como la cercanía al océano Pacífico, la altitud a nivel del mar, la ubicación respecto al Ecuador, entre otros. Esto impacta directamente con el potencial que este tipo de proyectos puede generar. Nueva Concepción, así como otros municipios del departamento de Escuintla tienen oportunidades potenciales para generar energía con sistemas fotovoltaicos de manera eficiente.

En la tabla No.16 se describió el nivel de radiación global durante las horas del día, en diferentes meses del año. Claramente los horarios donde más energía se capta son entre 8:00 am. y 5:00 pm., una curva con forma de campana durante ocho horas, que alcanza el máximo a medio día. Además, los meses donde mayor radiación se recibe son los meses de verano, desde diciembre hasta mayo, cuando el cielo tiene menos nubosidad y los rayos impactan en mayor porcentaje sin dispersiones que atenúen la radiación solar.

Tabla 16. Nivel de Insolación por hora por mes. Municipio de Nueva Concepción, Depto. de Escuintla, año 2020.

Hora	Nivel de insolación directa por hora por mes [Kwh/m ²]											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00 - 01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01:00 - 02:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02:00 - 03:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03:00 - 04:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04:00 - 05:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05:00 - 06:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06:00 - 07:00	0.26	0.48	1.09	1.15	1.02	1.41	1.28	1.19	1.22	1.43	1.44	0.95
07:00 - 08:00	4.28	4.15	3.90	2.99	2.21	2.79	2.93	2.85	2.83	3.41	4.46	4.62
08:00 - 09:00	6.32	6.09	5.47	4.34	3.33	3.78	4.12	3.96	3.86	4.62	5.91	6.29
09:00 - 10:00	7.40	7.18	6.55	5.37	4.14	4.43	5.00	4.96	4.64	5.21	6.69	7.26
10:00 - 11:00	7.98	7.83	7.10	5.82	4.51	4.84	5.49	5.50	5.11	5.31	6.90	7.77
11:00 - 12:00	8.23	8.07	7.50	6.06	4.88	4.96	5.66	5.74	5.25	5.47	6.92	7.95
12:00 - 13:00	8.37	8.30	7.80	6.41	5.34	5.29	5.98	5.91	5.44	5.71	7.04	7.95
13:00 - 14:00	8.33	8.28	7.71	6.27	5.29	5.61	6.18	5.88	5.40	5.64	7.06	7.89
14:00 - 15:00	7.76	7.79	7.07	5.51	4.53	4.76	5.42	5.23	4.66	4.88	6.40	7.35
15:00 - 16:00	6.84	6.78	5.93	4.24	3.27	3.34	4.11	3.87	3.17	3.58	5.23	6.30
16:00 - 17:00	5.34	5.22	4.22	2.63	1.83	1.97	2.57	2.38	1.76	1.99	3.37	4.57
17:00 - 18:00	1.93	2.58	2.09	1.11	0.75	1.09	1.30	1.21	0.69	0.44	0.53	1.12
18:00 - 19:00	0.00	0.10	0.09	0.05	0.03	0.19	0.25	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
19:00 - 20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20:00 - 21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21:00 - 22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:00 - 23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00 - 24:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia con base en los datos del Recurso Solar Guatemala, El Banco Mundial, Global Solar Atlas, 2020

4.4. Diseño del sistema fotovoltaico del centro educativo tipo A

Se diseñó con los servicios de apoyo en infraestructura educativa: energía eléctrica, bomba para agua potable y servicios sanitarios con iluminación y agua. Además de los servicios de apoyo, el centro educativo debe tener áreas físicas diseñadas para ejecutar específicamente actividades de enseñanza en particular.

Las áreas que puede contemplar un establecimiento educativo público para el diseño del centro educativo deben incluir una organización de las diferentes áreas:

1. Área educativa: se diseña con 4 aulas teóricas y un laboratorio de computación.
2. Área administrativa: se diseña con la dirección y una sala de docentes.
3. Área de servicio: se diseña con 4 servicios sanitarios y una cocina/cafetería.
4. Área de circulación: incluye los pasillos y plaza al aire libre, sin indicar área.

Específicamente, el área por ambiente se define según el requerimiento mínimo por alumno, según el grado de estudio, en este caso primaria, indicado en la tabla No.8. El flujo luminoso por luminaria es indicado según información técnica del fabricante de luminarias indicado en el Anexo No.4.

En la tabla No.17 se indica el nivel de iluminación, expresado en luxes, se encuentra con la siguiente ecuación:

$$\text{Nivel de iluminación [luxes]} = \frac{\text{flujo luminoso [lumenes]} \times \text{cantidad de luminarias}}{\text{área a iluminar [m}^2\text{]}}$$

Luego, se determina el total de iluminación y se indica si cumple con el requerimiento de iluminación indicado en el manual de diseño según el Mineduc. A partir de la cantidad total de luminarias necesarias se indica la potencia total solo por iluminación.

En la tabla No.18 se especifica los detalles técnicos de cada elemento que representa carga para el sistema. Se indica el requerimiento de energía y potencia de todos los elementos que se conectan al sistema de energía. La energía se indica en unidades kWh y la potencia nominal se indica en kW.

Para determinar el consumo de energía que el sistema fotovoltaico debe dar suministro, es necesario conocer las horas de uso que tendrá cada uno de los elementos conectados, además los días al mes que estos operan. En este caso el sistema opera de lunes a viernes, en jornada diurna de 07:00 de la mañana a 14:00 horas en la tarde. El sábado y domingo no tendrán consumo de energía, sin embargo, el sistema fotovoltaico continuará inyectando energía a la red eléctrica a través del contador bidireccional.

La potencia nominal indicada para cada elemento es una característica técnica prevista por el fabricante de cada uno. El factor de operación indica en porcentaje la utilización del equipo, en todos los elementos se especifica con valor uno. Previendo el caso extremo de simultaneidad de operación.

La cantidad de equipos se determina por el tamaño del sistema tipo A. La cantidad de luminarias se determina en la tabla No.17. Mientras que los demás equipos son indicados por los espacios previstos. Para el laboratorio de computación se prevén 10 computadoras, y dos computadoras adicionales, una para la dirección y otra para la sala de maestros.

Se diseñó para una bomba de agua de 1 HP de potencia, indicada para el flujo de agua necesario para el número de personas en el centro educativo.

Los equipos de cocina/ cafetería se tomó en cuenta una refrigeradora de 5-8 pies cúbicos, un horno microondas de 1.5 pies cúbicos, un dispensador de agua fría y caliente, y una licuadora residencial, todas las especificaciones técnicas de consumo de energía y potencia fueron indicadas por los fabricantes, según los modelos estándar.

Para el sistema tipo B, más grande, se requirieron otras cantidades de equipo. Por lo tanto, el consumo de energía es mayor al sistema tipo A.

Tabla 17. Nivel de Iluminación para sistema Tipo A, con base en los datos de manual de diseño arquitectónico Mineduc.

Tipo de ambiente	Cantidad de ambientes	Área por ambiente (m ²)	Área total a iluminar (m ²)	Cantidad de luminarias LED por ambiente	Flujo luminoso por luminaria LED (lúmenes)	iluminación total (luxes)	Requerimiento de nivel de iluminación (luxes)	Dentro del rango	Potencia por luminaria (w)	Potencia total (w)
Aulas de nivel primario	4	60	240	5	4,000	333	200 - 400	Sí	40	800
Laboratorio de computación	1	60	60	6	4,000	400	400 - 500	Sí	40	240
Circulación peatonal	1	sin definir	sin definir	1	900	150	150	Sí	12	12
Dirección	1	25	25	2	4,000	320	300	Sí	40	80
Sala de docentes	1	25	25	2	4,000	320	300	Sí	40	80
Servicios sanitarios	4	4	16	1	900	225	150	Sí	12	48
Cocina / cafetería	1	80	80	4	4,000	200	200	Sí	40	160
Consumo de potencia total (w)										1,420

Fuente: Elaboración propia con base en los datos de manual de diseño arquitectónico, Mineduc, 2016.

Tabla 18. Requerimientos de energía y potencia para sistema Tipo A.

No. (1)	Equipos (2)	Potencia Nominal [kW] (3)	HRS uso/día (4)	Días uso/mes (5)	Factor de Operación (6)	Consumo mensual [kWh/mes]	Consumo mensual energía por equipo [kWh/mes] (7)	Cantidad de equipos (8)	Total consumo mensual energía [kWh/mes] (9)=(7)x(8)	Total consumo mensual potencia [kW/mes] (10)=(3)x(8)
1	Ventilador de techo 56"	0.078	8	22	1	13.73	13.73	1	13.73	0.078
2	Bebederero agua fría/caliente	0.650	8	22	1	114.40	114.40	1	114.40	0.650
3	Refrigeradora 5-8 pies ³	0.132	8	22	1	23.23	23.23	1	23.2	0.132
4	Horno micondas 1.5 pies	1.000	0.3	22	1	6.60	6.60	1	6.6	1
5	Licuadaora residencial	0.576	0.15	22	1	1.90	1.90	1	1.9	0.576
6	Computadora	0.030	5	22	1	3.3	3.30	12	39.6	0.36
7	Luminaria LED 12 Watts	0.012	6	22	1	1.58	1.58	2	3.2	0.024
8	Luminaria LED 40 Watts	0.040	6	22	1	5.28	5.28	19	100.3	0.76
9	Bomba de agua 1 HP	0.747	1	22	1	16.434	16.43	1	16.4	0.747
	Total estimado consumo mensual de energía del suministro (kWh/mes)								319.38	
	Potencia total base del suministro (kW)									4.33

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Luego, ya que se tiene el requerimiento de consumo de energía total al mes del sistema tipo A igual a 319.4 kwh/mes, ahora se determina la cantidad de paneles solares que son necesarios, así como los demás componentes del sistema.

Para este cálculo se dividió los 319.4 kwh de energía por mes en la insolación global promedio anual de 6.2 kWh/m² por día, luego se dividió en 24 horas. El resultado es la potencia requerida para el sistema en kilowatts (kW).

$$potencia\ requerida\ [kw] = \frac{319.38\ kwh}{6.23\ \frac{kwh}{m^2} \times 24\ h} = 2.13\ kw$$

Ya que cada panel solar tiene la capacidad de entregar 250 watts de potencia. Se divide la potencia total requerida dentro de 250, para conocer el número de paneles necesarios para el sistema.

$$Número\ de\ paneles = \frac{2,130\ w}{250\ w} = 8.6 \approx 9\ paneles\ solares$$

Para el sistema tipo A se necesitan 9 paneles fotovoltaicos marca Yingly de 250 watts cada uno. Además, se requiere para el sistema un inversor marca Goodwe de 3,000 watts de fabricación China. Son necesarias también protecciones para sobrecorriente y sobrevoltaje de la potencia máxima del inversor. El cableado es según las distancias de la instalación y sistema de soportes de aluminio anodizado de alta resistencia. Cada panel genera energía entre 34.0 a 38.0 kwh/ mes, dependiendo la radiación solar optima según las condiciones antes citadas.

4.5. Diseño del sistema fotovoltaico del centro educativo tipo B

Se diseña con los servicios de apoyo en infraestructura educativa: energía eléctrica, bomba para agua potable y servicios sanitarios con iluminación. Además de los servicios de apoyo, el centro educativo debe tener áreas físicas diseñadas para ejecutar específicamente actividades de enseñanza en particular.

Las áreas que puede contemplar un establecimiento educativo público para el diseño del centro educativo deben incluir una organización de las diferentes áreas:

1. Área educativa: se diseña con 6 aulas teóricas y un laboratorio de computación.
2. Área administrativa: se diseña con la dirección y una sala de docentes.
3. Área de apoyo: para este modelo se diseña con una biblioteca y una bodega.
4. Área de servicio: se diseña con 8 servicios sanitarios y una cafetería.
5. Área de circulación: incluye los pasillos y plaza al aire libre, sin especificar área.

Así como el sistema de iluminación para el sistema tipo A, el área por ambiente se define según el requerimiento mínimo por alumno, indicado en la tabla No.8. El flujo luminoso por luminaria es indicado según información técnica del fabricante de luminarias indicado en el Anexo No.4.

En la tabla No.19 se indica el nivel de iluminación, expresado en luxes, se encuentra con la siguiente ecuación:

$$\text{Nivel de iluminación [luxes]} = \frac{\text{flujo luminoso [lumenes]} \times \text{cantidad de luminarias}}{\text{área a iluminar [m}^2\text{]}}$$

Luego, se determina el total de iluminación y se indica si cumple con el requerimiento de iluminación indicado en el manual de diseño según el Mineduc. A partir de la cantidad total de luminarias necesarias se indica la potencia total solo por iluminación.

En la tabla No.20 se especificó los detalles técnicos de cada elemento que representa carga para el sistema. Se indica el requerimiento de energía y potencia de todos los

elementos que se conectan al sistema de energía. La energía se indica en unidades kWh y la potencia nominal se indica en kW.

Para determinar el consumo de energía que el sistema fotovoltaico debe dar suministro, es necesario conocer las horas de uso que tendrá cada uno de los elementos conectados, además los días al mes que estos operan. En este caso el sistema opera de lunes a viernes, en jornada diurna de 07:00 de la mañana a 14:00 horas en la tarde. El sábado y domingo no tendrán consumo de energía, sin embargo, el sistema fotovoltaico continuará inyectando energía a la red eléctrica a través del contador bidireccional.

La potencia nominal indicada para cada elemento es una característica técnica prevista por el fabricante de cada uno. El factor de operación indica en porcentaje la utilización del equipo, en todos los elementos se especifica con valor uno. Previendo el caso extremo de simultaneidad de operación.

La cantidad de equipos se determinó por el tamaño del sistema tipo B. La cantidad de luminarias se indica en la tabla No.19. Mientras que los demás equipos son indicados por los espacios previstos. El laboratorio de computación se prevén 15 computadoras, y dos computadoras adicionales, una para la dirección y otra para la sala de maestros.

Se diseñó para una bomba de agua de 1 HP de potencia, indicada para el flujo de agua necesario para el número de personas en el centro educativo.

Los equipos de cocina/ cafetería se tomó en cuenta una refrigeradora de 5-8 pies cúbicos, un horno microondas de 1.5 pies cúbicos, un dispensador de agua fría y caliente, y una licuadora residencial, todas las especificaciones técnicas de consumo de energía y potencia son indicadas por los fabricantes, según los modelos estándar.

En este modelo se tiene mayor consumo de energía, dado que tiene una biblioteca con iluminación adecuada y una bodega para el centro educativo. La cantidad de luminarias en total es mayor para este sistema, por lo tanto, demanda más energía.

Tabla 19. Nivel de Iluminación para sistema Tipo B, con base en los datos de manual de diseño arquitectónico Mineduc.

Tipo de ambiente	Cantidad de ambientes	Área por ambiente (m ²)	Área total a iluminar (m ²)	Cantidad de luminarias LED por ambiente	Flujo luminoso por luminaria LED (lumenes)	iluminación total (luxes)	Requerimiento de nivel de iluminación (luxes)	Dentro del rango	Potencia por luminaria (w)	Potencia total (w)
Aulas de nivel primario	6	60	360	5	4,000	333	200 - 400	Si	40	1,200
Laboratorio de computación	1	60	60	6	4,000	400	400 - 500	Si	40	240
Biblioteca	1	25	25	2	4,000	320	300 - 400	Si	40	80
Circulación peatonal	1	sin definir	sin definir	1	900	150	150	Si	12	12
Dirección	1	25	25	2	4,000	320	300	Si	40	80
Sala de docentes	1	25	25	2	4,000	320	300	Si	40	80
Servicios sanitarios	8	4	32	1	900	225	150	Si	12	96
Bodegas	1	4	4	1	900	225	150	Si	12	12
Cocina / cafetería	1	100	100	5	4,000	200	200	Si	40	200
Consumo de potencia total (w)										2,000

Fuente: Elaboración propia con base en los datos de manual de diseño arquitectónico, Mineduc, 2016.

Tabla 20. Requerimientos de energía y potencia para sistema Tipo B.

No. (1)	Equipos (2)	Potencia Nominal [kW] (3)	HRS uso/día (4)	Días uso/mes (5)	Factor de Operación (6)	Consumo mensual [kWh/mes]	Consumo mensual energía por equipo [kWh/mes] (7)	Cantidad de equipos (8)	Total consumo mensual energía [kWh/mes] (9)=(7)x(8)	Total consumo mensual potencia [kW/mes] (10)=(3)x(8)
1	Ventilador de techo 56"	0.078	8	22	1	13.73	13.73	2	27.46	0.156
2	Bebedero agua fría/caliente	0.650	8	22	1	114.40	114.40	1	114.40	0.650
3	Refrigeradora 5-8 pies ³	0.132	8	22	1	23.23	23.23	1	23.2	0.132
4	Horno micondas 1.5 pies	1.000	0.3	22	1	6.60	6.60	1	6.6	1
5	Licuadaora residencial	0.576	0.15	22	1	1.90	1.90	1	1.9	0.576
6	Computadora	0.030	5	22	1	3.3	3.30	17	56.1	0.51
7	Luminaria LED 12 Watts	0.012	6	22	1	1.58	1.58	3	4.8	0.036
8	Luminaria LED 40 Watts	0.040	6	22	1	5.28	5.28	22	116.2	0.88
9	Bomba de agua 1 HP	0.747	1	22	1	16.434	16.43	1	16.4	0.747
Total estimado consumo mensual de energía del suministro (kWh/mes)									367.0	
Potencia total base del suministro (kW)										4.69

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Luego, que se tiene el requerimiento de consumo de energía total al mes del sistema tipo B igual a 367.0 kwh/mes, se requiere determina la cantidad de paneles solares que son necesarios, así como los demás componentes del sistema.

Para este cálculo se dividió los 367.0 kwh de energía por mes en la insolación global promedio anual de 6.2 kWh/m² por día, luego se dividió en 24 horas. El resultado es la potencia requerida para el sistema en kilowatts (kW).

$$potencia\ requerida\ [kw] = \frac{367\ kwh}{6.2\ \frac{kwh}{m^2} \times 24\ h} = 2.47\ kw$$

Cada panel solar tiene la capacidad de entregar 250 watts de potencia. Se divide la potencia total requerida dentro de 250, para conocer el número de paneles necesarios para el sistema.

$$Número\ de\ paneles = \frac{2,470\ w}{250\ w} = 10\ paneles\ solares$$

Para el sistema tipo B se necesitan 10 paneles fotovoltaicos marca Yingly de 250 watts cada uno. Además, se requiere para el sistema un inversor marca Goodwe de 3,000 watts de fabricación China. Son necesarias también protecciones para sobrecorriente y sobrevoltaje de la potencia máxima del inversor. El cableado es según las distancias de la instalación y sistema de soportes de aluminio anodizado de alta resistencia. Cada panel genera energía entre 34.0 a 38.0 kwh/ mes, dependiendo la radiación solar optima según las condiciones antes citadas.

4.6. Funcionamiento de ambos sistemas fotovoltaicos: tipo A y tipo B

Con base en la teoría expuesta en el apartado 2.6, el sistema de generación de energía con sistema fotovoltaico diseñado funciona de la siguiente manera:

Los paneles fotovoltaicos captan las moléculas de radiación del sol, que son pequeños paquetes de energía, de tamaño molecular, y los convierten en una corriente eléctrica. Los inversores convierten la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna (a cierta frecuencia). Una vez convertida en corriente alterna la energía ya puede ser utilizada para cualquier carga (equipo) dentro de las instalaciones. Para consulta de los diagramas de operación, se presentan en el anexo No.5.

Esta energía viaja a través de cables especiales hacia el panel de distribución, que alimenta todos los circuitos, por ejemplo, la iluminación, las computadoras, bomba de agua, equipos eléctricos, entre otros. Cuando hay excedente de energía esta fluye a través del cableado y pasa a través de un contador bidireccional que registra el excedente generado para que sea reducido de la factura, en forma de crédito en energía.

Cuando la energía generada por los paneles no es suficiente, el sistema exigirá que el faltante sea suministrado por el proveedor de energía eléctrica. Durante la noche el sistema funcionará 100.0% con la alimentación del proveedor de energía eléctrica. Este caso no se dará puesto que los centros educativos descritos son diurnos y no será necesario consumir energía durante la noche.

El convertidor tiene mecanismos de protección para sobrevoltaje y sobrecorrientes. Asimismo, poseen etapas de sincronización que permiten que no exista desfase entre líneas. Cuando no hay energía eléctrica de parte del proveedor de energía (distribuidor), el sistema se desconectará automáticamente para evitar daños, cortocircuitos o accidentes al personal y al sistema en general. Es una ventaja que la energía eléctrica que se inyecte a la red los sábados y domingos ayude como crédito para el consumo de energía entre semana.

4.7. Análisis de costos del sistema fotovoltaico

Para tener un panorama claro respecto a los costos que involucra cada sistema fotovoltaico se consultó a tres empresas proveedores de sistemas fotovoltaicos en Guatemala. De los cuales se obtuvo una proforma detallada de los equipos solicitados y de las características técnicas de estos para cumplir con el diseño realizado según los requerimientos de consumo de energía y potencia, detallados en los incisos 4.4 y 4.5 para el sistema A y para el sistema B, respectivamente.

Se solicitó que las tres empresas proveedores presentaran iguales los sistemas y las cantidades. Así los precios utilizados para el análisis de costos se ponderarán con el promedio de las tres propuestas. Esto con el objetivo de tener un precio de mercado lo más probable posible para las mismas condiciones técnicas.

4.7.1 Análisis de costos para el Sistema A

La tabla No. 21 presenta cada uno de los elementos que componen el sistema fotovoltaico y su respectivo precio promedio.

Tabla 21. Descripción de costos del sistema fotovoltaico

Costos del sistema fotovoltaico: tipo A			
Descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Panel solar fotovoltaico de 250 w	Q.1,220.00	9	Q.10,980.00
Inversor de energía AC, 3000 w	Q.3,200.00	1	Q.3,200.00
Centro de distribución de carga	Q.400.00	1	Q.400.00
Protecciones eléctricas	Q.175.00	2	Q.350.00
Cableado eléctrico 2.5mm TUV	Q.9.00	80 m.	Q.720.00
Soportes de aluminio anodizado	Q.3,800.00	1	Q.3,800.00
Instalación	Q.1,650.00	1	Q.1,650.00
IVA		12.0%	Q.2,532.00
Total inversión inicial con IVA			Q.23,632.00

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 22. Costo del mantenimiento anual, sistema tipo A

Año	Costo mantenimiento
0	
1	-Q150.00
2	-Q157.50
3	-Q165.38
4	-Q173.64
5	-Q182.33
6	-Q191.44
7	-Q201.01
8	-Q211.07
9	-Q221.62
10	-Q232.70
11	-Q244.33
12	-Q256.55
13	-Q269.38
14	-Q282.85
15	-Q296.99

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Según las entrevistas a expertos, coinciden en que los sistemas fotovoltaicos tienen la ventaja que los costos de mantenimiento son relativamente mínimos, comparados con otros sistemas de generación de energía. Considerando una instalación inicial y operación en condiciones según los diseños y contando con factores de protección que mantienen la continuidad estimada de los elementos del sistema.

Las tres empresas proveedoras indican en sus especificaciones técnicas el requerimiento de una visita técnica de inspección y mantenimiento básico para el sistema fotovoltaico por año y el costo es una cuota anual de Q.150.00 con incremento de 5% considerando la inflación, proyectada a 15 años. Sin embargo, se aclara que en dado caso fuese necesario incurrir en algún costo de reparación de instalación o equipo, se considera un costo de Q.500.00 cada 5 años con incremento de 5% anual considerando la inflación, proyectada a 15 años.

Dado los costos de instalación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos tipo A, es importante recordar la información de la tabla No.14: número de centros educativos por rango de pago mensual en Quetzales. Por la cual para el sistema tipo A se utiliza el valor Q.400.00 como representativo para analizar el ahorro mensual en este tipo de centro educativo si se llegara a instalar un sistema fotovoltaico.

Sin embargo, no es el 100.0% de este valor el ahorro mensual, ya que aún se tiene que pagar 5.0% a la empresa distribuidora (proveedor de energía) debido a los costos fijos por el servicio (CNEE, 2008).

Por lo tanto, para el sistema tipo A el ahorro mensual para un sistema que tiene un pago mensual de Q.400.00, es Q.380.00 equivalente al 95.0%. En la tabla No.23 se representa la inversión inicial, costo de mantenimiento, el ahorro y el flujo neto; obteniendo un tiempo del retorno de la inversión para el sistema tipo A.

Tabla 23. Retorno de inversión anual, sistema tipo A.

Año	Inversión inicial	Costo mantenimiento	Costo reparaciones	Ahorro anual	Flujo Neto
0	-Q23,632.00				-Q23,632.00
1		-Q150.00		Q4,560.00	-Q19,222.00
2		-Q157.50		Q4,560.00	-Q14,819.50
3		-Q165.38		Q4,560.00	-Q10,424.88
4		-Q173.64		Q4,560.00	-Q6,038.52
5		-Q182.33	-Q500.00	Q4,560.00	-Q1,660.84
6		-Q191.44		Q4,560.00	Q2,707.71
7		-Q201.01		Q4,560.00	Q7,066.70
8		-Q211.07		Q4,560.00	Q11,415.63
9		-Q221.62		Q4,560.00	Q15,754.02
10		-Q232.70	-Q625.00	Q4,560.00	Q20,081.32
11		-Q244.33		Q4,560.00	Q24,396.98
12		-Q256.55		Q4,560.00	Q28,700.43
13		-Q269.38		Q4,560.00	Q32,991.05
14		-Q282.85		Q4,560.00	Q37,268.21
15		-Q296.99	-Q781.25	Q4,560.00	Q41,531.22

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El retorno de la inversión se da luego del quinto año desde realizada la inversión inicial, considerando todos los costos indicados en la instalación, operación y mantenimiento del sistema.

El período estimado de vida útil del proyecto, según las indicaciones de las empresas expertas con base en sus manuales de fabricante, garantizan la operación, funcionamiento y eficiencia del sistema por 15 años, principalmente los paneles solares que son los elementos principales, así como el convertidor electrónico de energía. Por lo tanto, se utiliza el dato, 15 años, para realizar el análisis financiero del sistema y determinar sus indicadores financieros VAN y TIR.

Para este escenario actual se utiliza una tasa de costo de oportunidad de capital de operaciones activas de 8.0%, consultado del sistema bancario en febrero 2021, según el boletín de estadísticas financieras de la Superintendencia de Bancos. (SIB, 2020).

En la tabla No. 24 se indican los flujos netos del proyecto a lo largo de los 15 años de vida útil estimada. En el año inicial se realiza la inversión del sistema, el cual se representa negativo, pues es un egreso de capital, luego los próximos años se tiene un ahorro el cual representa un ingreso; en el quinto año el ahorro es menor pues para este año se tiene estimado un costo adicional para reparaciones, este costo se proyecta realizarse cada 5 años, por los que se ve en el décimo año también.

Tabla 24. Variables financieras VAN, TIR e índice beneficio / costo, sistema tipo A.

Año	Flujo
0	-Q23,632.00
1	Q4,410.00
2	Q4,402.50
3	Q4,394.63
4	Q4,386.36
5	Q3,877.67
6	Q4,368.56
7	Q4,358.99
8	Q4,348.93
9	Q4,338.38
10	Q3,702.30
11	Q4,315.67
12	Q4,303.45
13	Q4,290.62
14	Q4,277.15
15	Q3,481.76

Costo de oportunidad de capital	8.0%
Años	15
VAN	Q12,799.98
TIR	16.2%
Índice Beneficio/ Costo	1.45

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Evaluado la tasa interna de retorno (TIR) en este escenario, se determinó que la rentabilidad que está en capacidad de generar el proyecto es 16.2%, para el sistema tipo A.

El valor actual neto Q.12,799.98 indica la ganancia que se obtiene de la inversión una vez se han recuperado los recursos invertidos, analizando los flujos netos futuros en el presente aplicando la tasa de descuento. Ya que el valor es positivo, indica que el proyecto es financieramente viable y que es atractivo para invertir y ejecutar, considerando también que genera una rentabilidad superior (TIR) a la expectativa que tiene la inversión (valor de la tasa de descuento esperada). Por lo tanto, el flujo de caja es positivo durante los años de vida útil del proyecto.

Partiendo de este escenario, se realizaron dos proyecciones con la sensibilización de la variable de la tasa de costo de oportunidad de capital de operaciones activas. En un escenario se utilizó una tasa mayor a la del escenario probable, y en el otro escenario se utilizó una tasa menor y así poder analizar la variación en los indicadores financieros del proyecto.

Se proyectó un escenario optimista se utiliza una tasa de costo de oportunidad de capital de operaciones activas de 6.0%. Los resultados indicados en la tabla No.25 muestran que las variables de evaluación financiera mejoran en beneficio del proyecto. El VAN es más alto, lo que indica que se tiene mayor valor por la implementación del proyecto; el índice beneficio / costo también muestra un valor más alto equivalente a mayor beneficio económico.

Tabla 25. Variables financieras VAN, TIR e índice beneficio / costo, sistema tipo A.

Costo de oportunidad de capital	6.0%
Años	15
VAN	Q17,619.20
TIR	16.2%
Índice Beneficio/ Costo	1.62

Fuente: Elaboración propia, 2020.

También se proyectó un escenario pesimista con una tasa de costo de oportunidad de capital de operaciones activas de 15.0%. Los resultados indicados en la tabla No.26 muestran que las variables de evaluación financiera del proyecto se perjudican.

El VAN es menor que el escenario actual y que el optimista, lo que indica que se tiene menor valor por la implementación del proyecto; el índice beneficio / costo también muestra un valor menor equivalente a menos beneficio económico.

Tabla 26. Variables financieras VAN, TIR e índice beneficio / costo, sistema tipo A.

Costo de oportunidad de capital	15.0%
Años	15
VAN	Q1,416.15
TIR	16.2%
Índice Beneficio/ Costo	1.02

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.7.2 Análisis de costos para el Sistema B

La tabla No.27 presenta cada uno de los elementos que componen el sistema fotovoltaico y su respectivo precio promedio para el sistema tipo B.

Tabla 27. Descripción de costos del sistema fotovoltaico

Costos del sistema fotovoltaico: tipo B			
Descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Panel solar fotovoltaico de 250 w	Q.1,220.00	10	Q.12,200.00
Inversor de energía AC, 3000 w	Q.3,200.00	1	Q.3,200.00
Centro de distribución de carga	Q.400.00	1	Q.400.00
Protecciones eléctricas	Q.175.00	2	Q.350.00
Cableado eléctrico 2.5mm TUV	Q.9.00	85 m.	Q.765.00
Soportes de aluminio anodizado	Q.3,900.00	1	Q.3,900.00
Instalación	Q.1,650.00	1	Q.1,650.00
IVA		12.0%	Q.2,696.00
Total inversión inicial con IVA			Q.25,161.00

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Se indica en sus especificaciones técnicas el requerimiento de una visita técnica de inspección y mantenimiento básico para el sistema fotovoltaico por año y el costo es una cuota fija anual proyectada a 5 años. Sin embargo, se aclara que en dado caso fuese necesario incurrir en algún costo de reparación de instalación o equipo, se considera un costo de Q.600.00 al quinto año y luego se repite cada cinco años, afectado por la inflación anual.

Tabla 28. Costo del mantenimiento, sistema tipo B

Año	Costo mantenimiento
0	
1	-Q160.00
2	-Q168.00
3	-Q176.40
4	-Q185.22
5	-Q194.48
6	-Q204.21
7	-Q214.42
8	-Q225.14
9	-Q236.39
10	-Q248.21
11	-Q260.62
12	-Q273.65
13	-Q287.34
14	-Q301.70
15	-Q316.79

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Dado los costos de instalación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos tipo B, es importante recordar la información de la tabla No.14: número de centros educativos por rango de pago mensual en Quetzales. Por la cual para el sistema tipo B se utiliza el valor Q.500.00 equivalente al ahorro mensual en este tipo de centro educativo.

Así mismo, el ahorro mensual no es el 100.0% de este valor, ya que aún se tiene que pagar 5.0% a la empresa distribuidora, según la Norma NTGDR y usuarios autoprodutores con excedentes de energía de la CNEE.

Por lo tanto, para el sistema tipo B el ahorro neto mensual para un sistema que tiene un pago mensual de Q.500.00, es Q.475.00 equivalente al 95.0%. En la tabla No.29 se representa la inversión inicial, costo de mantenimiento, costo estimado de reparaciones cada 5 años, el ahorro anual y el flujo neto para el sistema tipo B.

Tabla 29. Retorno de inversión anual, sistema tipo B.

Año	Inversión inicial	Costo mantenimiento	Costo reparaciones	Ahorro anual	Flujo Neto
0	-Q25,161.00				-Q25,161.00
1		-Q160.00		Q5,700.00	-Q19,621.00
2		-Q168.00		Q5,700.00	-Q14,089.00
3		-Q176.40		Q5,700.00	-Q8,565.40
4		-Q185.22		Q5,700.00	-Q3,050.62
5		-Q194.48	-Q600.00	Q5,700.00	Q2,454.90
6		-Q204.21		Q5,700.00	Q7,950.69
7		-Q214.42		Q5,700.00	Q13,436.28
8		-Q225.14		Q5,700.00	Q18,911.14
9		-Q236.39		Q5,700.00	Q24,374.75
10		-Q248.21	-Q750.00	Q5,700.00	Q29,826.54
11		-Q260.62		Q5,700.00	Q35,265.91
12		-Q273.65		Q5,700.00	Q40,692.26
13		-Q287.34		Q5,700.00	Q46,104.92
14		-Q301.70		Q5,700.00	Q51,503.22
15		-Q316.79	-Q937.50	Q5,700.00	Q56,886.43

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El retorno de la inversión se da antes del quinto año desde realizada la inversión inicial, considerando todos los costos indicados en la instalación, operación y mantenimiento.

El período estimado de vida útil del proyecto, según las indicaciones de las empresas expertas con base en sus manuales de fabricante, garantizan la operación, funcionamiento y eficiencia del sistema por 15 años. Por lo tanto, se utiliza este dato para realizar el análisis financiero del sistema y determinar sus indicadores financieros VAN y TIR. Para este escenario actual se utiliza una tasa de costo de oportunidad de capital de operaciones activas de 8.0%.

Tabla 30. Variables financieras VAN y TIR, sistema tipo B.

Año	Flujo
0	-Q25,161.00
1	Q5,540.00
2	Q5,532.00
3	Q5,523.60
4	Q5,514.78
5	Q4,905.52
6	Q5,495.79
7	Q5,485.58
8	Q5,474.86
9	Q5,463.61
10	Q4,701.79
11	Q5,439.38
12	Q5,426.35
13	Q5,412.66
14	Q5,398.30
15	Q4,445.71

Costo de oportunidad de capital	8.0%
Años	15
VAN	Q20,738.69
TIR	20.1%
Índice Beneficio/ Costo	1.69

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Evaluado la tasa interna de retorno (TIR), se determina que la rentabilidad que está en capacidad de generar el proyecto es 20.1%, para el sistema tipo B.

El valor actual neto Q.20,738.69 indica la ganancia que se obtiene de la inversión una vez se han recuperado los recursos invertidos, analizando los flujos netos futuros en el

presente aplicando la tasa de descuento. Ya que el valor es positivo, indica que el proyecto es financieramente viable y que es atractivo para invertir y ejecutar, considerando también que genera una rentabilidad superior (TIR) a la expectativa que tiene la inversión (valor de la tasa de descuento esperada). Por lo tanto, se puede ver que el flujo de caja es positivo durante los años de vida útil del proyecto.

Partiendo de este escenario, se realizaron dos proyecciones con la sensibilización de la variable de la tasa de costo de oportunidad de capital de operaciones activas. En un escenario se utilizó una tasa mayor a la del escenario probable, y en el otro escenario se utilizó una tasa menor y así poder analizar la variación en los indicadores financieros del proyecto.

Se proyectó un escenario optimista se utiliza una tasa de costo de oportunidad de capital de operaciones activas de 6.0%. Los resultados indicados en la tabla No.31 muestran que las variables de evaluación financiera mejoran en beneficio del proyecto. El VAN es más alto, lo que indica que se tiene mayor valor por la implementación del proyecto; el índice beneficio / costo también muestra un valor más alto equivalente a mayor beneficio económico.

Tabla 31. Variables financieras VAN, TIR e índice beneficio / costo, sistema tipo B.

Costo de oportunidad de capital	6.0%
Años	15
VAN	Q26,819.91
TIR	20.1%
Índice Beneficio/ Costo	1.89

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Además, se proyectó un escenario pesimista con una tasa de costo de oportunidad de capital de operaciones activas de 15.0%. Los resultados indicados en la tabla No.32 muestran que las variables de evaluación financiera del proyecto se perjudican.

El VAN es menor que el escenario probable y que el optimista, lo que indica que se tiene menor valor por la implementación del proyecto; el índice beneficio / costo también muestra un valor menor equivalente a menos beneficio económico.

Tabla 32. Variables financieras VAN, TIR e índice beneficio / costo, sistema tipo B.

Costo de oportunidad de capital	15.0%
Años	15
VAN	Q6,378.88
TIR	20.1%
Índice Beneficio/ Costo	1.19

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.8. Descripción del proceso de instalación del proyecto

Una vez diseñado el sistema fotovoltaico es momento del proceso de instalación, este se describe en seis pasos en la tabla No.33.

De acuerdo con Alcor (2008):

La inspección previa a la instalación se realiza con el objetivo de prever algún inconveniente durante el proceso de instalación y puesta en marcha. Durante la misma se ubica la posición de los equipos, se valida el espacio disponible (área) así como la capacidad de carga de la superficie donde se ubicarán los paneles y se analiza la viabilidad y distancia de la conexión hacia el panel de distribución.
(p.31)

Luego el material es trasladado hacia el lugar de la instalación, se valida la lista de materiales a suministrar y se presentan las garantías del equipo electrónico. La instalación se realiza siguiendo las instrucciones de fabricantes en base a normas

internacionales de seguridad. Estas se deben realizar por electricistas autorizados y con experiencia en el proceso.

A continuación, se validaron los parámetros eléctricos para comprobar que se encuentren dentro de lo requerido; así mismo se configura el equipo de manera que se adapte a los circuitos de carga. Luego se procede a la puesta en marcha del sistema de distribución interno, verificando sus parámetros y el correcto funcionamiento, finalmente se realizan las gestiones administrativas de conexión con la empresa eléctrica distribuidora (proveedor) con la documentación básica requerida.

Tabla 33. Descripción del proceso del proyecto: instalación.

Proceso del proyecto	
Paso 1	Inspección previa del lugar
Paso 2	Traslado del material y equipo
Paso 3	Instalación de paneles, cableados y accesorios
Paso 4	Pruebas de conexión y desconexión
Paso 5	Conexión y puesta en marcha
Paso 6	Tramites de autorización con la empresa eléctrica

Fuente: Elaboración propia con base en diseño de Smart Projects, 2020.

4.9. Análisis sobre índice de electrificación

Este proyecto es uno de muchos proyectos de acceso y asequibilidad a la energía eléctrica que se deben implementar en Guatemala, identificando factores de éxito en las políticas de electrificación rural, así como aquellos proyectos que deben ser mejorados para lograr un acceso universal a la energía en todo el país.

Para el aumento del índice de electrificación en Guatemala se destaca el impulso dado por el Estado a la generación privada de energía renovable mediante incentivos fiscales. También resalta el rol del Estado en otorgar recursos para costear proyectos de electrificación rural en zonas donde los proveedores no están

obligados a brindar conexión a la red. Estos recursos son financiados con fondos propios del INDE y préstamos de organismo internacionales. (MEM, 2019, p.50)

En medios rurales aislados, resalta la gestión social de los proyectos de electrificación rural que promueve la racionalización y uso eficiente de la electricidad. Además, la estimulación hacia proyectos de generación distribuida renovable y auto productores con excedentes de energía. Es de aquí que el presente proyecto toma la idea de implementar sistemas de generación fotovoltaica en la estructura de los centros educativos, aprovechando la ubicación de estos y el uso que estos tienen debido al horario de estudio.

Para 2019, Guatemala alcanzó una cobertura eléctrica del 92.5%, presentando una tendencia de aumento en los últimos años. A la fecha, aún hay departamentos que presentan índices de cobertura por debajo del 80.0%. (MEM, 2020, pág. 52)

En la tabla No.3, se detalla por departamento el índice de electrificación, destacando que el departamento de Escuintla se encuentra entre los más altos. Sin embargo, solo el 85.7% de los centros educativos de la muestra tomada tienen acceso a la energía. Por lo tanto, existe aún un porcentaje que no tiene acceso a este servicio.

Este porcentaje restante, son los centros educativos que, por diversos motivos, no tienen aún acceso a la electrificación. Representando una oportunidad para el tipo de proyectos de generación fotovoltaica aislada de la red, también descrita en el marco teórico de este proyecto.

Sin embargo, en estos casos, el proyecto no genera un flujo económico positivo para el retorno de la inversión realizada para instalar y mantener el sistema fotovoltaico. De esta forma, las instituciones del Estado pertinentes a la electrificación rural, particularmente el INDE, deberán ser responsables de establecer las metodologías, a través de mecanismos técnicos, para la inversión en sistema fotovoltaicos en centros educativos, y así incrementar el índice de electrificación rural en este municipio.

Este proyecto sí aumenta el índice de electrificación de los centros educativos del área rural del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla que no tienen acceso a la energía. Sin embargo, se interponen varios desafíos, como los obstáculos políticos y las complicaciones financieras. Ya que no se generan ahorros, se deben cuantificar otro tipo de beneficios en la comunidad educativa, como los beneficios sociales a futuro derivados de la electrificación de centros educativos.

Técnicamente, analizando la situación donde no se tiene acceso a energía, los costos del sistema tipo A y tipo B son los mismos, sin embargo, en el análisis no se percibirían ahorros, por lo tanto, la inversión inicial, el mantenimiento anual y las reparaciones del sistema deberán ser financiadas por la institución pertinente, lo que le traslada el costo del proyecto directamente al Estado. Un supuesto beneficio que se puede obtener en este caso es que el Estado podría obtener mejores precios para los componentes del sistema, puesto que se haría a través de mecanismos de compra por mayor, resultando en menores costos de inversión.

Los centros educativos que actualmente sí tienen acceso a la energía, el proyecto de generación fotovoltaica les genera una fuente de ahorro, tal como se demostró anteriormente, indicando el beneficio económico para su operación mensual, con lo que se puede destinar recursos económicos para otros proyectos de mejora en los centros educativos. En estos casos el índice de electrificación no se vería mejorado actualmente, pues los centros educativos ya tienen acceso a la energía eléctrica.

4.10. Análisis sobre beneficios ambientales

Varios beneficios se perciben con la implementación de sistemas fotovoltaicos a nivel mundial, beneficios en diversos temas uno de los cuales es el beneficio al medio ambiente a través de la reducción de la huella de carbono en la generación de energía.

Ya se ha citado en los capítulos anteriores la diversificación de la matriz y la seguridad energéticas refiriéndose a la fuente de la cual viene la materia prima para generar energía, pudiendo ser renovable o no renovable.

Entre los conceptos que han surgido para conocer las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y enfocar esfuerzos de mitigación, está la huella de carbono. Ésta consiste en un recuento de las emisiones de gases de efecto invernadero que son liberadas directa o indirectamente por las actividades de un individuo, organización, evento o elaboración de un producto. (Jímenez, 2002, p.322)

En este caso aplica para la generación de energía por medio tradicionales como los recursos no renovables parte de la matriz energética de Guatemala. El concepto es considerado una herramienta útil para el desarrollo de estrategias y políticas para la reducción de emisiones de dichos gases.

Para la matriz energética de Guatemala, por cada kilovatio hora (kwh) generado con el sistema fotovoltaico se reduce 0.75 kg. de gases de efecto invernadero o dióxido de carbono (CO₂) que se transmiten a la atmosfera cuando la energía se genera con recursos no renovables fósiles. (MEM, 2020, p.41)

Esto significa que con la instalación del sistema fotovoltaico tipo A en los centros educativos se contribuye a reducir 2,911 kg. de CO₂ anualmente, esto es equivalente a sembrar 15 árboles al año. Para el sistema tipo B se contribuye a reducir 3,317 kg de CO₂ anualmente, equivalente a 17 árboles al año.

La proyección positiva causada por la instalación de los sistemas fotovoltaicos a escala municipal, en total 81 centros educativos de las características descritas anteriormente, es equivalente a 255,348 kg de CO₂ al año, utilizando el valor promedio de los dos tipos de sistema A y B, proyectando lo a los 81 centros educativos públicos de educación primaria. Esto es equivalente a sembrar 1,316 árboles al año en el municipio.

El ahorro de CO₂ equivale a generar energía con recursos renovables, mientras que el aumento de las emisiones equivalentes a cortar árboles o quemar combustibles fósiles.

Cada sistema fotovoltaico puede generar pequeños cambios para llevar una vida más sostenible y reducir las emisiones de carbono.

Es decir, el efecto ambiental que se presenta es amplio y será perceptible por todo el municipio, además este proyecto abre la posibilidad de generar más proyectos de generación fotovoltaica en otro tipo de instituciones no educativas, por ejemplo, edificios municipales, gubernamentales, estaciones de servicio de bomberos, hospitales, entre otros. Incluso escalando las proyecciones a nivel nacional, los resultados pueden ser significativamente atractivos para el Estado, significando en ahorros en recursos públicos.

En el camino se interponen varios desafíos, como los obstáculos políticos, las complicaciones financieras y el malestar en algunas comunidades por optar por una fuente de energía no convencional y de la cual no conocen.

Este proyecto debe ser parte de un conjunto de proyectos que impulsen el uso eficiente de la energía. Ya que es factor clave para alcanzar la sostenibilidad energética a nivel nacional. Los centros educativos, tanto alumnos como docentes, se les debería enseñar respecto al uso correcto y eficiente de la energía y evitar el mal uso de este recurso. La eficiencia energética debería ser un objetivo para la iniciativa pública y también privada.

- Carácter del impacto: benéfico positivo
- Magnitud del impacto: muy alta (80-100%), determinado por expertos.
- Certidumbre del impacto: “c” Cierto
- Tipo de impacto: primario (cuyo efecto tiene incidencia inmediata)
- Reversibilidad del impacto: efecto irreversible
- Duración del efecto: efecto permanente.

4.11. Análisis sobre beneficios sociales

Los beneficios sociales son los que permiten a la comunidad educativa incrementar su nivel de bienestar como consecuencia del beneficio económico generado por el proyecto de generación fotovoltaica.

Los beneficios sociales que podrían obtenerse por la implementación de sistemas de generación de energía fotovoltaica en los centros educativos del área rural del municipio de Nueva Concepción del departamento de Escuintla pueden ser en diversas áreas. Por ejemplo, la mejora en las condiciones de infraestructura educativa, implementación de programas de capacitación adicionales para los alumnos y docentes, mejora en servicios básicos de saneamiento del agua, mejor calidad en el servicio de alimentación y conservación de los alimentos, entre otros.

Es importante recalcar que a partir de los ahorros que se genera con la implementación del proyecto, ya sea el sistema tipo A o el sistema tipo B, dependiendo del tamaño del centro educativo, es que se derivan las alternativas de mejora anteriormente citadas. La utilización eficiente de los recursos es una tarea que deben buscar las instituciones públicas para la correcta administración y máximo aprovechamiento de estos, ya que son las personas de la comunidad, en este caso educativa, que reciben directamente los beneficios sociales.

Los beneficios sociales a los estudiantes de los centros educativos impulsan mejoras en el nivel educativo a corto, mediano y largo plazo, impactando positivamente en las nuevas metodologías de enseñanza y en el futuro de los estudiantes. Por ejemplo, accediendo a laboratorios de computación los estudiantes tendrán la oportunidad de aprender de informática y nuevas tecnologías, dándoles una ventaja a futuro sobre los estudiantes que no tienen acceso actualmente a una computadora. Derivado de esto, podrán optar por puestos laborales mejor remunerados, dependiendo de sus capacidades.

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que el centro educativo no es ya sólo la entidad que transmite conocimiento, sino que las nuevas tecnologías les permiten a los alumnos acceder a la información y la enseñanza.

Invertir en tecnología y la implementación estratégica de la misma han de ser prioridad. En búsqueda de una pedagogía tecnológica consistente, capaz de mejorar la realidad escolar y social de las comunidades rurales de Guatemala, es igualmente necesaria la mejor coordinación de los recursos.

El remozamiento de las instalaciones educativas para mejorar los servicios de agua, saneamiento e higiene es importante para generar ambientes saludables y espacios dignos para el aprendizaje de niños y adolescentes. La promoción de la higiene y la adopción de hábitos entre los estudiantes puede convertirse en un elemento transformador de las familias y las comunidades y, reducir el riesgo de contraer enfermedades.

Los beneficios sociales indirectos son los cambios o variaciones en el consumo de bienes y/o servicios relacionados, es decir complementarios, provocados al llevar a cabo el proyecto, en este caso el agua que se utilizará derivado de la utilización de una bomba eléctrica activada por el sistema fotovoltaico para el saneamiento de alimentos, higiene y salubridad de las personas.

La seguridad energética de los centros educativos es un beneficio social intangible que se obtiene con la implementación del proyecto, ya que tener su propia fuente de generación de energía para alimentar el consumo del centro educativo, hace que sea independiente de la red eléctrica nacional y los problemas que esta podría tener. Siendo un factor importante para considerar en el plan de continuidad operativa del sistema educativo nacional. Los costos sociales del proyecto son mínimos comparados con los beneficios sociales que se pueden obtener con el proyecto de electricidad fotovoltaica; la electrificación está vinculada directamente con diversos aspectos del desarrollo económico y social de la comunidad.

4.12. Beneficios del proyecto: tabla resumen

Tabla 34. Resumen de beneficios del proyecto: sistema tipo A y sistema tipo B.

Tabla Resumen					
Beneficio	Sistema	Escenario	Indicador		Plazo
Economico	A	Actual	VAN	Q 12,799.98	15 años
			TIR	16.2%	
			Beneficio/costo	1.45	
		Optimista	VAN	Q 17,619.20	15 años
			TIR	16.2%	
			Beneficio/costo	1.62	
		Pesimista	VAN	Q 1,416.15	15 años
			TIR	16.2%	
			Beneficio/costo	1.02	
	B	Actual	VAN	Q 20,738.69	15 años
			TIR	20.1%	
			Beneficio/costo	1.69	
Optimista		VAN	Q 26,819.91	15 años	
		TIR	20.1%		
		Beneficio/costo	1.89		
Pesimista		VAN	Q 6,378.88	15 años	
		TIR	20.1%		
		Beneficio/costo	1.19		
Ambiental	Total centros educativos		81		
	Total ahorro de kg CO2		255,348		
	Total de árboles al año		1,316		
	Total de árboles en 15 años		19,740		
Social	Percepción de mejora del servicio y acceso al agua				1 mes
	Mejora en la percepción de salubridad e higiene				1 mes
	Mejora en la preservación y preparación de alimentos				1 año
	iluminación adecuada para el aprendizaje				1 mes
	Acceso a laboratorios de computación				1 año
	Metodologías de aprendizaje por internet				1 año

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

1. Los resultados de la investigación permiten concluir que los sistemas de energía fotovoltaica propuestos A y B, sí son una alternativa de generación eficiente en los centros educativos del área rural del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla, mejorando los servicios básicos que benefician al desarrollo educativo de los estudiantes, y por ende mejoran su calidad de vida.
2. Con la investigación se encontró qué en el municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla, según la muestra hay 85.7% de los centros educativos públicos de nivel primario tienen acceso a suministro eléctrico. Pero que, por diversas causas administrativas y financieras, tienen problemas para la continuidad del servicio de energía. Por lo tanto, se propone la alternativa de generación fotovoltaica con un sistema tipo A o tipo B, dependiendo la cantidad de aulas en el centro educativo. Según los resultados de la investigación se estableció que la cantidad de energía eléctrica que un centro educativo requiere depende de la cantidad de aulas, cantidad de alumnos y cantidad de sanitarios que tiene.
3. Habiendo analizado las características técnicas del proyecto se concluyó que, la ubicación del municipio de Nueva Concepción, departamento de Escuintla tiene por diversos factores geográficos, un alto potencial de generación fotovoltaica, presentando un nivel de insolación global promedio anual de 6.23 kWh/m² por día, siendo óptima para la implementación de proyectos de generación fotovoltaica. Y que cada elemento de los sistemas fotovoltaicos planteados es correcto técnicamente para cumplir con la solución específica.

4. Con la implementación de los sistemas (A y B) de generación de energía fotovoltaica, el análisis financiero permitió determinar que sí existen beneficios económicos y que ambos sistemas tienen una atractiva rentabilidad y viabilidad financiera para inversión y ejecución para el tamaño del proyecto. Por lo tanto, son óptimos los costos asociados a la generación de energía fotovoltaica, según las especificaciones técnicas. Conclusión que resulta del análisis de la inversión, los costos, ahorros y las variables financieras de ambos sistemas proyectados a una vida útil de 15 años. Además, se obtendría beneficios ambientales destacables, con un impacto en la reducción de emisiones contaminantes equivalente a 255,348 kg de CO₂ en promedio al año, por el hecho de remplazar la fuente de generación de energía actual con fuente de energía fotovoltaica. Finalmente, ambas alternativas sí presentan beneficios sociales, y que tienen el potencial de mejorar los servicios básicos en los centros educativos que beneficien al desarrollo educativo de los estudiantes a corto, mediano y largo plazo; concretamente los beneficios sociales serian, el acceso a laboratorios de computación, mejora en metodologías de aprendizaje por implementación de internet, iluminación adecuada para el aprendizaje, mejor preservación y procesamiento de alimentos, acceso a servicio de agua y mejora en la higiene y salubridad de las personas del centro educativo.

Recomendaciones

1. Se le sugiere a el Ministerio de Educación dar prioridad a la implementación de estos proyectos, con potencial de generar beneficios económicos, ya que el éxito de estos puede impulsar la implementación de sistemas fotovoltaicos en centros educativos que carecen del servicio eléctrico, y replicarlo en otros municipios. Por lo tanto, se propone la alternativa de generación fotovoltaica con un sistema tipo A o tipo B, dependiendo el tamaño del centro educativo. Los cuales presentan beneficios económicos rentables para implementación en los centros educativos.
2. El Estado debería promover en el corto plazo la implementación de este tipo de generación fotovoltaica en los centros educativos, ya que representa un ahorro de recursos financieros para las direcciones educativas públicas, que podrían reorientar posteriormente para la mejora integral de los centros educativos y de su personal.
3. Se recomienda a el Ministerio de Educación evaluar a varios proveedores formales de sistemas fotovoltaicos, estableciendo criterios de selección imparciales y de carácter obligatorio, para el cumplimiento de las normativas de compras del Estado, una vez diseñados los requerimientos técnicos y características específicas de diseño.
4. Las autoridades del sector energético del país deben proveer el apoyo técnico y logístico para gestionar los recursos económicos necesarios para la planificación, evaluación y ejecución de proyectos de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos, como estrategia de expansión de la electrificación rural.
5. A las instituciones del sector educativo y energético se les recomienda coadyuvar los esfuerzos en la dirección correcta para ampliar el índice de cobertura eléctrica del país, y así generar los beneficios sociales y ambientales que este tipo de proyectos representa para las comunidades y para el país.

Anexos

Anexo No.1: Descripción del Mapa de Recurso Solar.

Este mapa de recurso solar proporciona un resumen del potencial eléctrico solar fotovoltaico (FV) estimado. Representa el promedio del total diario/anual de la producción eléctrica de una planta solar FV de 1kW-pico conectada a la red, calculado para un periodo reciente de 20 años (1999-2018).

La configuración de la instalación FV considerada es de estructura independiente sobre el suelo con módulos de silicio cristalino montados en posición fija con la inclinación óptima para maximizar la producción energética anual. La inclinación óptima comprende valores que van de 12° a 20° orientados hacia el ecuador. Se considera el uso de inversores de alta eficiencia. El cálculo de la electricidad solar se basa en datos de recurso solar de alta resolución y software de modelado FV proporcionados por *Solargis*. El cálculo tiene en cuenta la radiación solar, la temperatura del aire y el terreno para simular la conversión energética y las pérdidas en los módulos FV y otros componentes de la planta FV. En la simulación, las pérdidas debidas al polvo y la suciedad se estimaron en un 3.5%. El efecto acumulado de otras pérdidas en la conversión (auto-sombreado entre filas, desajuste, inversores, cables, transformadores, etc.) se considera un 7.5%. Se supone una disponibilidad de la planta del 100%.

El Grupo Banco Mundial ha publicado este mapa de recurso solar empleando datos de Global Solar Atlas (GSA), para apoyar el crecimiento de la energía solar en países objetivos. Este trabajo está financiado por *Energy Sector Management Assistance Program* (ESMAP), un fondo fiduciario de múltiples donantes administrado por el Grupo Banco Mundial y apoyado por 18 donantes asociados. Forma parte de la iniciativa global ESMAP de mapeo de recursos de energías renovables, la cual cubre energía de la biomasa, hidroeléctrica, solar y eólica. Este mapa ha sido preparado por *Solargis* bajo un contrato con el Banco Mundial, y está basado en una base de datos de recurso solar cuya propiedad y gestión pertenecen a *Solargis*. **Fuente:** Solar Atlas, G. (2018). *Mapa de Recurso Solar*. The World Bank, Washington.

Anexo No.2: Cuestionario a centros educativos.

Cuestionario para los centros educativos

Información general
Fecha:
Nombre del centro educativo:
Teléfono:
Correo electrónico:
Aldea - municipio:
Nombre del contacto:

Acceso y uso de la energía:

1. ¿Se tiene servicio de luz eléctrica (energía)?
2. ¿Qué nivel de tensión o voltaje existe en el lugar de la instalación (220 V - 110 V)?
3. ¿En el lugar de la instalación, el sistema eléctrico existente es trifásico o monofásico?
4. ¿Cuánto se paga mensualmente de factura eléctrica?
5. ¿Se utilizan computadoras en la escuela? ¿Cuántas?
6. ¿Se utiliza bomba eléctrica para agua y tanque?
7. ¿Qué tipo de iluminación se tiene en las aulas? (incandescente, fluorescente, LED)
8. Además de la luz para las aulas, ¿Qué otros equipos se conectan? especificar las horas del día en la que lo utiliza.

9. ¿El centro educativo tiene servicio de internet?

Infraestructura del centro educativo:

10. ¿Cuál es el material de las paredes de la escuela?

11. ¿Cuál es el material del techo?

Teja Lamina Terraza plana Otros:

12. ¿De qué material es el piso de la escuela?

13. ¿Cuántas aulas tiene la escuela?

14. ¿Cuántos salones adicionales se tienen (dirección, bodega, cocina, etc.)?

15. ¿Cuántos alumnos asiste a la escuela?

16. ¿Qué días y en qué jornada se imparten clases?

17. ¿Se tiene servicio de agua potable?, ¿servicios sanitarios?

18. ¿Cuántos sanitarios hay en el centro educativo?

19. Tipo de derecho de uso del local: Propiedad Arrendado Otro

20. ¿El techo es una superficie plana o inclinada?

Anexo No.3: Entrevista a expertos en energía solar.

Se entrevistó a 3 profesionales con enfoque en proyectos de energía solar fotovoltaica. Su caracterización se desarrolló previamente en el capítulo No.3.

Las entrevistas a los profesionales se detallan a continuación:

Entrevista al Ing. Carlos Orantes (2 de septiembre de 2020).

1. ¿Qué factores considera determinantes en el diseño de un sistema solar fotovoltaico, según su experiencia?

Considero que la ubicación del proyecto es el principal factor que determinaría el potencial de generación de energía del sistema. Otro factor es el tamaño total del sistema, es decir, que tanta energía se va a utilizar, ya que cambiarían las cantidades de paneles y accesorios, por lo tanto, el costo total del sistema. Un tercer factor es el tipo de sistema, si este es conectado a la red o aislado de la red.

2. Se puede encontrar ahorros en todas las aplicaciones con los sistemas fotovoltaicos adecuadamente diseñados?

Tiene mucho que ver los tres factores citados anteriormente, pero en general sí se encuentra ahorros energéticos en la mayoría de los casos; depende también del costo de energía que se tiene actualmente y de considerar otros beneficios de carácter ambiental dentro de la ecuación de ahorros.

3. ¿Se ha encontrado con alguna dificultad, problema o limitación para implementar proyectos de energía solar fotovoltaica?

Al principio el desconocimiento en general de las personas sobre este tipo de generación de energía; con el tiempo se ha hecho más populares, además el costo de producción e importación ahora es más rentable que antes.

4. ¿Se ha enterado de la utilización de sistemas fotovoltaicos en centros educativos, considerando que la mayoría operan en horario diurno? Comente su experiencia.

Si hay proyectos en centros educativos, sin embargo, la mayoría o más bien todos los que tengo conocimiento son en centros educativos privados en la ciudad de Guatemala; muchos por moda o por verse más atractivos respecto a cuidado del medio ambiente han optado por este tipo de sistemas.

5. ¿Qué tan rápido son los retornos de inversión implementando sistemas de energía solar fotovoltaicos conectados a la red, según su experiencia?

Es importante notar que los sistemas conectados a la red tienen ventajas por el hecho que se puede deducir una parte el consumo nocturno de la factura al final del mes. Sin embargo, no es el 100% de ahorro, es aproximadamente un 95% de ahorro, lo que significa es que hay costos fijos que se tienen que pagar mensualmente y estos no se pueden ahorrar con la inyección de energía a la red. Esto hay que consultarlo en cada caso.

Entrevista a Ing. Ernesto Vásquez Martínez (8 de diciembre de 2020).

1. ¿Qué factores considera determinantes en el diseño de un sistema solar fotovoltaico, según su experiencia?

Inicialmente hay que determinar el nivel de irradiación solar y su variación durante el día, preferentemente en un día típico de verano y de invierno, en función de eso podemos estimar la potencia que se podrá obtener y lo que es muy importante la tasa de retorno. Si la estimación es baja, es poco factible instalar el sistema fotovoltaico.

2. ¿Se puede encontrar ahorros en todas las aplicaciones con los sistemas fotovoltaicos adecuadamente diseñados?

Definitivamente, pero como te comenté en la pregunta anterior, va a depender del área donde se desea instalar los paneles.

3. ¿Se ha encontrado con alguna dificultad, problema o limitación para implementar proyectos de energía solar fotovoltaica?

Realmente no, la tecnología es bastante bien probada, no se requiere una infraestructura muy compleja y todo depende de cómo se vaya a utilizar la energía. Puede ser apropiado tener un banco de baterías para almacenar la energía y utilizarla en la noche o hacer una estrategia en función del costo de la energía por períodos de tiempo, eso puede ser lo más complejo.

4. ¿Se ha enterado de la utilización de sistemas fotovoltaicos en centros educativos, considerando que la mayoría operan en horario diurno? Comente su experiencia.

Al menos en México, ha habido pocos centros educativos con esa tendencia, principalmente son los centros privados, que cuentan con los recursos para inversión. Sin embargo, hay países u organizaciones que financian este tipo de proyectos, y es el mecanismo más viable para poder implementarlo en centros educativos que no sean privados.

5. ¿Qué tan rápido son los retornos de inversión implementando sistemas de energía solar fotovoltaicos residenciales conectados a la red, según su experiencia?

Me ha tocado saber de algunos casos, en la zona donde vivo, que el retorno de la inversión está entre 4 y 6 años, en dependencia de la potencia y de la cantidad de sol en un día típico. Yo creo que 5 años es un excelente período de retorno.

Entrevista a Msc. Ing. Glen Jui, (7 de diciembre de 2020).

1. ¿Qué factores considera determinantes en el diseño de un sistema solar fotovoltaico, según su experiencia?

El primer factor es el uso al que se designe el sistema fotovoltaico, el segundo factor es la idiosincrasia de los usuarios, pues hay que considerar el comportamiento de

las personas en el uso de la energía, y el tercer factor es el área física disponible en la que se colocara.

2. Se puede encontrar ahorros en todas las aplicaciones con los sistemas fotovoltaicos adecuadamente diseñados?

La respuesta es no. Esto es debido a que tiene mucho que ver el uso que se tenga de la energía, recordando los factores citados en la pregunta anterior. Además, no todos los lugares son propicios por el tiempo de exposición a la radiación solar.

3. ¿Se ha encontrado con alguna dificultad, problema o limitación para implementar proyectos de energía solar fotovoltaica?

Por supuesto que sí. Problemas de diversa índole, sin embargo, una fase de planeación adecuada es la clave para que los proyectos no encuentren demasiados problemas o limitantes en la ejecución y funcionamiento del sistema.

4. ¿Se ha enterado de la utilización de sistemas fotovoltaicos en centros educativos, considerando que la mayoría operan en horario diurno? Comente su experiencia.

Si me he enterado, específicamente en colegios privados. No importa que sean de horario diurno.

5. ¿Qué tan rápido son los retornos de inversión implementando sistemas de energía solar fotovoltaicos conectados a la red, según su experiencia?

Es una pregunta muy amplia. Depende de muchos factores, por ejemplo, que aplicación tendrá el sistema, si es un sistema conectado o desconectado a red, el costo de la energía (kwh) de la distribuidora que rige en el área, determina si es para consumo residencial u otra aplicación, por ejemplo, bombeo fotovoltaico, entre otros. En general la tasa de retorno varía entre 2.5 a 4 años, si no hubiera electricidad en el área y se encuentra a más de 400 metros, la tasa de retorno puede ser inmediata.

Anexo No.4: Características técnicas del fabricante de luminarias



PANEL 2X2' 40 WATTS

Voltaje: 100 - 240V
 Consumo: 40 Watts
 Ángulo: 120°
 Eficiencia: 100 lm/w
 Horas de vida: 30,000hrs
 Color: 6,000k
 Factor de Potencia: >0.9
 Grado de protección: IP20
 CRI: ≥ 80
 Temperatura de trabajo: -20°c a +45°c

4,000 lm

LED



CE

Temperatura de Color



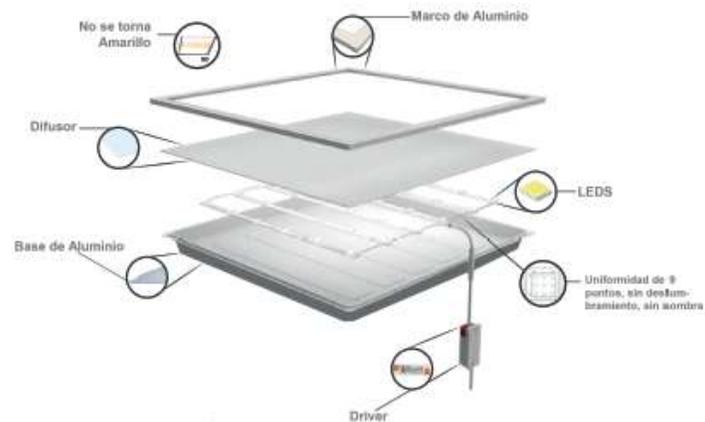
EQUIVALENCIA



Ahorro hasta un 55%

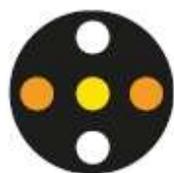


NUEVA TECNOLOGÍA BACK LIT



www.light-tec.com.gt

Fuente: Información de fabricante light-tec, página web: <http://www.light-tec.com.gt/product/>



light-tec
be bright. save energy.

OJO DE BUEY EMPOTRABLE 12 WATTS

Voltaje: 100 - 240V
Consumo: 12 Watts
Ángulo: 120°
Eficiencia: 75 lm/w
Lumens: 900 lm
Color: 2,700k / 6,000k
Factor de Potencia: > 0.9
Grado de protección: IP20
CRI: ≥ 70
Temperatura de trabajo: 10°C - 45°C

30,000hrs

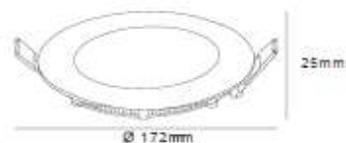
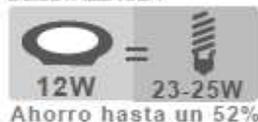
LED



Temperatura de Color



EQUIVALENCIA



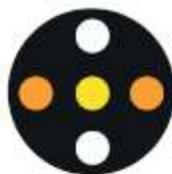
DIÁMETRO PERFORACIÓN: Ø 155mm

Residencial Comercial Oficinas



www.light-tec.com.gt

Fuente: Información de fabricante light-tec, página web: <http://www.light-tec.com.gt/product/>



light-tec
be bright, save energy.

REFLECTOR LED 10 WATTS

Voltaje: 85 - 265V
Consumo: 10 Watts
Angulo: 110°
Eficiencia: 100lm / w
Horas de vida: 40,000hrs
Color: 3,000k / 6,000k
Factor de Potencia: >0.5
Grado de protección: IP65
CRI: ≥75
KV: 2.5
Temperatura de trabajo: -40°C a 50°C

1,000 lm

LED⊕



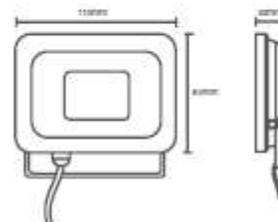
Temperatura de Color



EQUIVALENCIA

10W = 100W
LED Halógeno

Ahorro hasta un 90%



www.light-tec.com.gt

Fuente: Información de fabricante light-tec, página web: <http://www.light-tec.com.gt/product/>

TRUPER



BOMBA ELÉCTRICA PERIFÉRICA PARA AGUA 1 HP, TRUPER EXPERT

CÓDIGO: 10070 **CLAVE: BOAP-1**

CARACTERÍSTICAS

- Genera mayor presión y sube el agua a una mayor altura que las bombas centrifugas, sin embargo, su caudal o flujo es menor
- Se utiliza cuando se requiere subir el agua a lugares altos (arriba de 15 m aproximadamente). Pueden ser usada con sistemas hidroneumáticos para incrementar la presión

APLICACIONES

- Recomendada para uso agrícola con agua limpia exclusivamente
- Se utiliza cuando se requiere subir el agua a lugares altos (Arriba de 15 m aproximadamente)
- Para usarse en sistemas de riego por mini aspersión o pulverización aérea
- Útil para riegos de huertas, para bombear líquidos no agresivos y para incrementar la insuficiente presión de la red de acueductos



GARANTÍA • WARRANTY
1 AÑO



NOM • ANCE



Capacitor para mayor potencia al arranque
Impulsor de latón



Baleero metálico



Bobinas de cobre 2x Mayor durabilidad que las de aluminio

NORMA

- Cumple con la norma NOM-003-SCFI

CUIDADOS

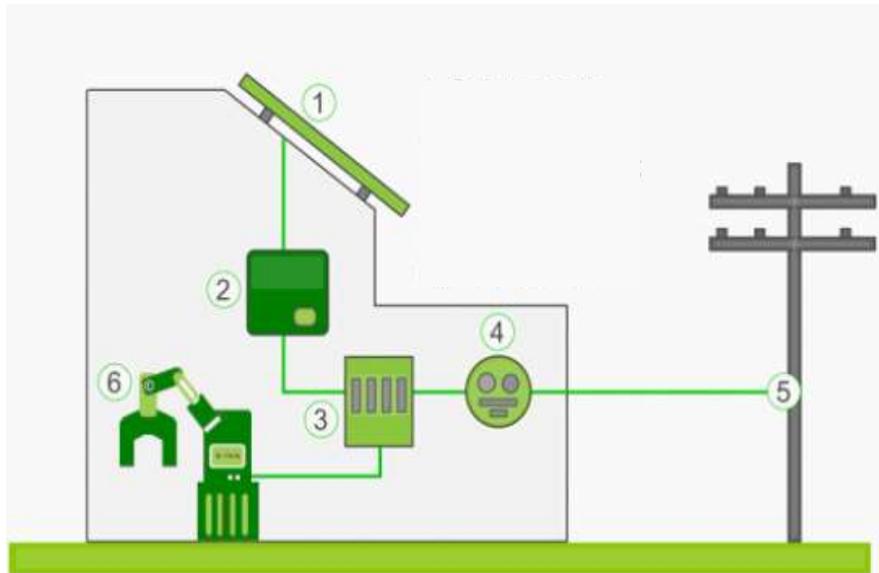
- Instalar en lugares cubiertos, secos y bien ventilados, en ambientes cuya temperatura no sobrepase los 40°C
- Colocarla en posición horizontal, en lugares planos y sujetarlas con tornillos
- Llenar por completo la bomba con agua limpia antes de encenderla por primera vez
- Nunca opere la bomba cuando esté vacía. Si ocurre esto accidentalmente, apague la bomba, espere a que se enfríe y luego cébela usando agua limpia
- Si la bomba va a permanecer inactiva por un período prolongado es aconsejable vaciarla completamente, enjuagarla con agua limpia y almacenarla en un lugar seco

ESPECIFICACIONES

D.R. © Truper S.A. de C.V. 2021 | Todos los derechos reservados.

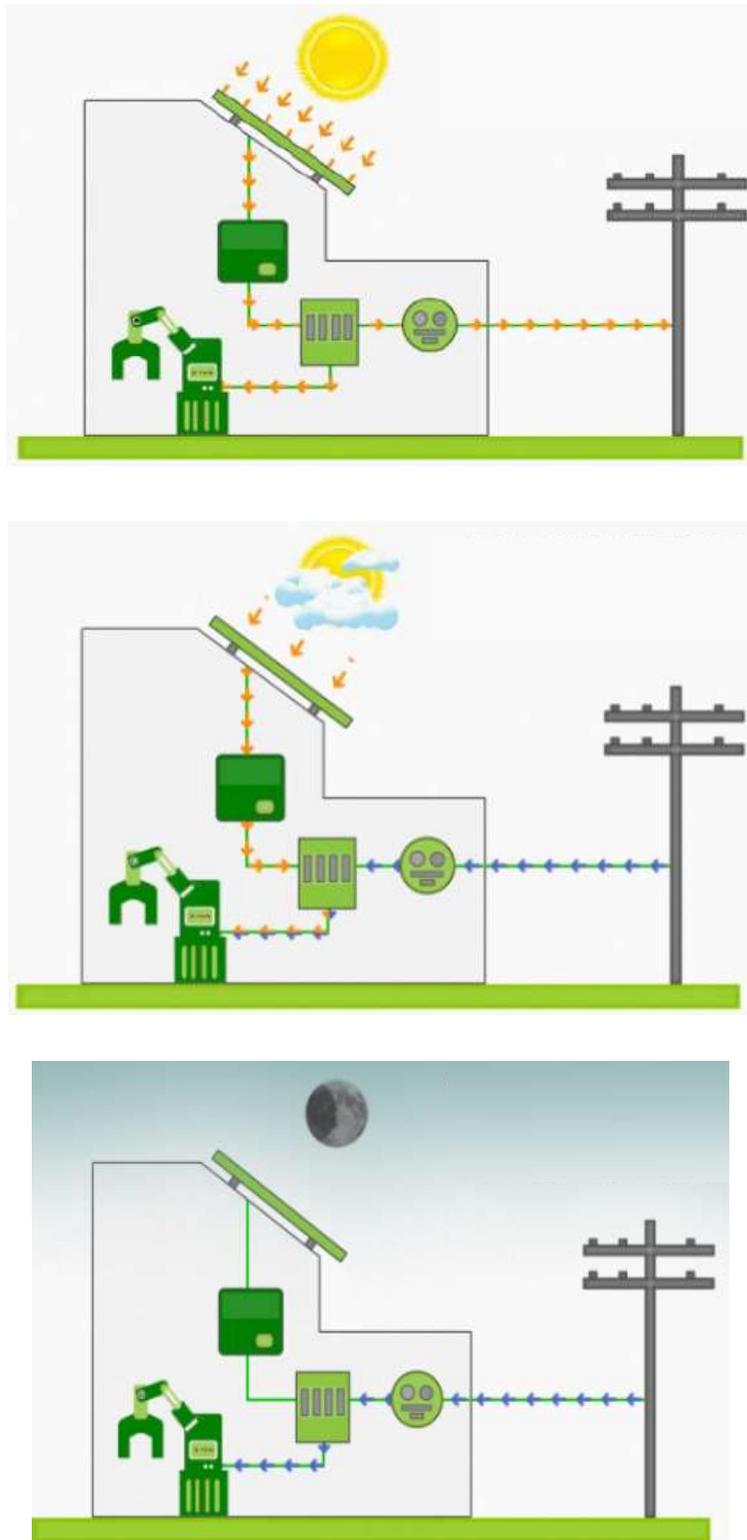
Fuente: Información de fabricante Truper, página web: <https://www.truper.com/ficha/bomba1>

Anexo No.5: Diagrama de operación de una instalación fotovoltaica conectada a la red.



Componentes básicos	
1.	Paneles fotovoltaicos
2.	Convertidor (inversor)
3.	Panel de distribución y protecciones
4.	Contador bidireccional
5.	Proveedor de energía (distribuidora)
6.	Cargas (equipos)

Fuente: Elaboración propia con base en diagramas de Smart Projects, 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en diagramas de Smart Projects, 2020

Anexo No.6: Características técnicas del fabricante, paneles solares fotovoltaicos y convertidor (inversor).

**YGE 60 Cell
40mm SERIES**
Powered by **YINGLI**

YL250P-29b
YL245P-29b
YL240P-29b
YL235P-29b
YL230P-29b



YINGLI GREEN ENERGY

Yingli Green Energy (NYSE: YGE) es uno de los mayores fabricantes fotovoltaicos verticalmente integrado, comercializa sus productos bajo la marca "Yingli Solar". Con más de 3,6GW de módulos instalados a nivel mundial, somos una empresa líder en energía solar basándonos en la fiabilidad de un producto probado y un rendimiento sostenible. Yingli es la primera empresa de energías renovables y la primera compañía China que patrocina la Copa del Mundo de la FIFA.

RENDIMIENTO

- Células solares policristalinas de alta eficiencia y un vidrio texturizado de alta transmisión que permiten alcanzar una eficiencia del módulo de hasta el 15,4% lo que minimiza los costes de instalación y maximiza la producción energética del sistema por unidad de superficie.
- Tolerancia positiva ajustada de -0W a +5W asegurando una potencia en los módulos igual o superior a la nominal, contribuyendo a su vez a minimizar las pérdidas por dispersión de parámetros y a mejorar el rendimiento del sistema.

CALIDAD Y FIABILIDAD

- Marco de aluminio resistente a la corrosión, robusto, ensayado independientemente para resistir cargas de viento de 2,4 kPa y de nieve de 5,4 kPa asegurando una vida mecánica estable en los módulos.
- Embalaje preparado para proteger a los módulos durante el transporte y minimizar los residuos durante la instalación.
- Módulos ensayados independientemente para asegurar el cumplimiento de los certificados y las normas regulatorias.
- Empresa certificada por TÜV Rheinland para la ISO 9001: 2008, la ISO140001: 2004 y la BS OHSAS 18001: 2007.

GARANTÍAS

- Garantía de producto limitada de 10 años¹.
- Garantía de potencia limitada¹: 10 años al 91,2% de la potencia de salida mínima y 25 años al 80,7% de la potencia de salida mínima.

¹ En cumplimiento de nuestros términos y condiciones de garantía.

CUALIFICACIONES Y CERTIFICADOS

IEC 61215, IEC 61730, CE, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000, PV Cycle



Fuente: Información de Yingli Green Energy Solar, página web:
<https://www.yinglisolar.com/es/products/solar-modules>

YGE 60 Cell 40mm SERIES

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Parámetros eléctricos para STC						
Tipo de Módulo			YL250P-20b	YL245P-20b	YL240P-20b	YL235P-20b
Potencia de salida	P_{max}	W	250	245	240	235
Tolerancia	ΔP_{max}	W	-0 / +5			
Eficiencia del módulo	η_{mod}	%	15,3	15,0	14,7	14,4
Tensión en P_{max}	V_{mp}	V	30,4	30,2	29,5	29,5
Intensidad en P_{max}	I_{mp}	A	8,24	8,11	8,14	7,97
Tensión en circuito abierto	V_{oc}	V	38,4	37,8	37,5	37,0
Intensidad en cortocircuito	I_{sc}	A	8,79	8,63	8,65	8,54

STC: 1000 W/m² Irradiancia, 25°C Tmódulo, AM 1,5 distribución espectral según EN 60904-3
Reducción media de la eficiencia relativa de 5% a 200 W/m² según EN 60904-1

Parámetros Eléctricos en Temperatura de Operación Nominal de la Célula(TONC)						
Tipo de Módulo			YL250P-20b	YL245P-20b	YL240P-20b	YL235P-20b
Potencia de salida	P_{max}	W	181,1	177,9	174,3	170,7
Tensión en P_{max}	V_{mp}	V	27,6	27,2	26,6	26,6
Intensidad en P_{max}	I_{mp}	A	6,56	6,54	6,56	6,42
Tensión en circuito abierto	V_{oc}	V	35,4	34,5	34,2	33,8
Intensidad en cortocircuito	I_{sc}	A	7,12	6,99	7,01	6,92

TONC: Temperatura en circuito abierto del módulo a 800W/m² de irradiación, 20°C de temperatura ambiente y 1m/s de velocidad del viento

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Temperatura de Operación Nominal de la Célula	TONC	°C	46 +/- 2
Coefficiente de temperatura para P_{max}	γ	%/°C	-0,45
Coefficiente de temperatura para V_{oc}	β_{voc}	%/°C	-0,33
Coefficiente de temperatura para I_{sc}	α_{isc}	%/°C	0,06
Coefficiente de temperatura para V_{mp}	β_{vmp}	%/°C	-0,45

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Máxima tensión del sistema	1000V _{DC}
Valor máximo del fusible en serie	15A
Limitación de corriente inversa	15A
Rango de temperaturas de funcionamiento	-40°C hasta 85°C
Máxima carga estática frontal (nieve y viento)	5400Pa
Máxima carga estática posterior (viento)	2400Pa
Max. impacto por granizo (diámetro / velocidad)	25mm // 23m/s

MATERIALES

Cubierta frontal (material / espesor)	Vidrio templado de bajo contenido en hierro / 3,2 mm
Marco (material / color / color del anodizado / Número de Busbars)	60 / silicio multicristalino / 156 x 156 mm / 2 ó 3
Encapsulante (material)	Etilvinilacetato (EVA)
Marco (material / color / color del anodizado / sellado del marco)	Aluminio anodizado / plata / claro / sílica o cinta adhesiva
Caja de conexiones (grado de protección)	≥ IP65
Cable (longitud / sección)	1100mm / 4mm ²
Conector (tipo / grado de protección)	MC4 / IP67 o Amphenol H4 / IP68

- Debido a la continua innovación, investigación y mejora de producto, la información y las especificaciones citadas en esta hoja de características están sujetas a cambios sin previo aviso. Las especificaciones pueden variar ligeramente y no están garantizadas.
- Los datos no están referidos a un solo módulo y no son parte de la oferta, sirven sólo para su comparación entre diferentes tipos de módulos.

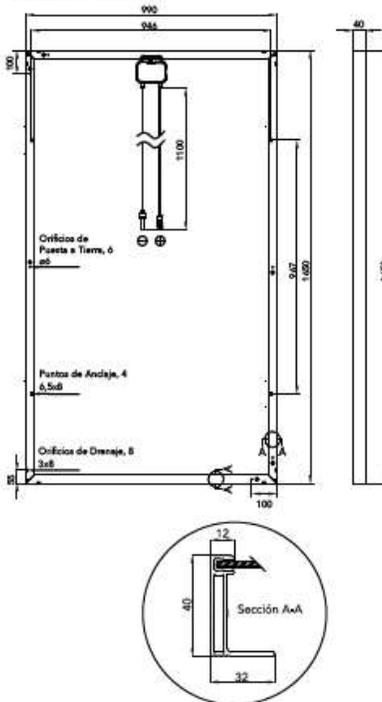
CARACTERÍSTICAS GENERALES

Dimensiones (longitud / anchura / profundidad)	1650mm / 990mm / 40mm
Peso	19,1kg

ESPECIFICACIONES DEL EMBALAJE

Número de módulos por palé	26
Número de palés por contenedor (40')	28
Dimensiones del Embalaje (longitud / anchura / profundidad)	1700mm / 1150mm / 1190mm
Peso del palé	534kg

Unidades: mm



Advertencia: Leer el Manual de Instalación y Uso en su totalidad antes de manejar, instalar y operar módulos Yingli.

Fuente: Información de Yingli Green Energy Solar, página web: <https://www.yinglisolar.com/es/products/solar-modules>

Datos técnicos de fabricante Goodwe, Convertir (inversor) de energía.

Ficha técnica	GW3000D-NS	GW3600D-NS	GW4200D-NS	GW5000D-NS	GW6000D-NS
Datos de entrada de cadena FV					
Potencia máx. entrada CD (W)	3900	4680	5460	6500	7200
Tensión máx. entrada CD (V)	600	600	600	600	600
Rango de tensión MPPT (V)	80-550	80-550	80-550	80-550	80-550
Tensión de arranque (V)	80	80	80	80	80
Min. Voltaje de alimentación (V)	120	120	120	120	120
Tensión nominal entrada CD (V)	360	360	360	360	360
Corriente máx. entrada (A)	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11
Corriente máx. de cortocircuito (A)	13,8/13,8	13,8/13,8	13,8/13,8	13,8/13,8	13,8/13,8
No. de rastreadores MPPT	2	2	2	2	2
No. de cadenas de entrada por rastreador	1	1	1	1	1
Datos de salida CA					
Potencia nominal de salida (W)	3000 ^{±1}	3680 ^{±1}	4200 ^{±1}	5000 ^{±1}	6000 ^{±1}
Potencia máx. aparente de salida (VA)	3000	3680	4200	5000	6000
Tensión nominal de salida (V)	220/230	220/230	220/230	220/230	220/230
Frecuencia nominal de salida (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Corriente máx. de salida (A)	13.6	16	19	22.8	27.3
Factor de potencia de salida	-1 (Ajustable desde 0,8 inductivo a 0,8 capacitivo)				
THDi de salida (salida nominal)	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
Eficiencia					
Eficiencia máx.	97,8%	97,8%	97,8%	97,8%	97,8%
Euro eficiencia	97,5%	97,5%	97,5%	97,5%	97,5%
Protección					
Protección anti-isla	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de polaridad inversa de entrada	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Detección resistencia de aislamiento	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Unidad de Monitorización de Corriente Residual	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de sobrecorriente de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección cortocircuito de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección de sobretensión de salida	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado	Integrado
Protección contra Sobretensiones (SPD) CC	Integrado (Tipo III)				
Protección contra Sobretensiones (SPD) CA	Integrado (Tipo III)				
Datos generales					
Rango temp. operativa (°C)	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60	-25-60
Humedad relativa	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
Altitud operativa (m)	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000	≤4000
Enfriamiento	Convección natural				
Interfaz del usuario	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED	LCD & LED
Comunicación	RS485 ó WIFI ó LAN	RS485 ó WIFI ó LAN	RS485 ó WIFI ó LAN	RS485 ó WIFI ó LAN	RS485 ó WIFI ó LAN
Peso (kg)	13	13	13	13	13,5
Tamaño (ancho*alto*largo mm)	354*433*147	354*433*147	354*433*147	354*433*147	354*433*147
Grado de protección	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Autoconsumo nocturno (W)	<1	<1	<1	<1	<1

Fuente: Información de GoodWe Solar, página web: <https://es.goodwe.com/inversores>

Anexo No.7: Listado de los centros educativos representados en la muestra.

No.	Nombre del Establecimiento	Dirección
1	Escuela Oficial Rural Mixta	CASERIO EL CHARRO
2	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 3 CALLE 11
3	EORM Tecún Umán	ALDEA CENTRO DOS
4	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 4 CALLE PALO BLANCO
5	Escuela Oficial Rural Mixta	ALDEA PAMPAS LAS FLORES
6	EORM Rafael Álvarez Ovalle	ALDEA EL CHIRIVISCO
7	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 4 CALLE 4 DEL BANCO
8	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA EL TIGRE CALLE DEL BANCO
9	EORM Oscar Orlando Melgar Ramírez	TROCHA 3 CALLE 5
10	EORM Pedro Molina	TROCHA 8 CALLE DEL BANCO
11	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 6 CALLE DEL BANCO
12	Escuela Oficial Rural Mixta	CALLE EL INFOP
13	EORM Atanasio Tzul	TROCHA EL TIGRE CALLE 11
14	Escuela Oficial Rural Mixta	ALDEA CANOGUITAS
15	Escuela Oficial Rural Mixta	ALDEA ISLA CHICALES ESCUINTLA
16	EORM Justo Rufino Barrios	TROCHA 13 CALLE VIEJA NUEVA CONCEPCION
17	Escuela Oficial Rural Mixta	ALDEA SAN JOSE MOGOLLON
18	EORM Mario E. Arango	ALDEA EL NOVILLERO
19	Escuela Oficial Rural Mixta	ALDEA COSTA SUR
20	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA OCHO CALLE VIEJA
21	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 10 CALLE VIEJA
22	Escuela Oficial Rural Mixta	ALDEA EL REPARO
23	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 13 CALLE DEL BANCO
24	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA DOS CALLE PALO BLANCO
25	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 8 CALLE DE PALO BLANCO
26	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 6 CALLE CHICALES
27	Escuela Oficial Rural Mixta	ALDEA SANTA ODILIA
28	Escuela Oficial Rural Mixta	CALLE FLECHA ROJA
29	EORM Caserío Calle de los Silos	CASERIO CALLE DE LOS SILOS CALLE CHICALES
30	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 10 CALLE DEL BANCO
31	EORM Caserío El Chaparral	CASERIO EL CHAPARRAL
32	EORM Aldea Posa Verde	ALDEA POSA VERDE
33	Escuela Oficial Rural Mixta	CASERIO BARRA DE COYOLATE
34	Escuela Fray Matías de Córdova	AV. FRAY MATIAS DE CORDOVA
35	EORM Caserío El Rastro	CASERIO EL RASTRO
36	Escuela Oficial Rural Mixta	CASERÍO TROCHA 10, CALLE 12
37	Escuela Oficial Rural Mixta	CALLE EL TESORO
38	EORM Barrio Esquipulas Nuevo Quiché	BARRIO ESQUIPULAS NUEVO QUICHE
39	EORM Caserío Santo Domingo Los Cocos	CASERIO SANTO DOMINGO LOS COCOS
40	EORM Caserío El Tesoro Tierra Linda	CASERIO EL TESORO TIERRA LINDA
41	EORM Trocha 2, Calle 10	TROCHA DOS CALLE DIEZ
42	Escuela Oficial Rural Mixta	TROCHA 7 CALLE CHICALES

Fuente: Elaboración propia con base en página web MINEDUC, 2020.

Anexo No.8: Fotografías de las visitas a los centros educativos.











Bibliografía

- Aceña, Maria del Carmen (2019). *El Sistema Educativo en Guatemala*. Guatemala. CIEN.
- Administrador del Mercado Mayorista -AMM- (2018). *Generación por tipo de recurso*. Guatemala, Guatemala. Consultado el 30 de septiembre de 2020. (www.amm.org.gt)
- Agencia Guatemalteca de Noticias (2014). *Guatemala con potencial para generar electricidad limpia*. Guatemala, Agencia Guatemalteca de Noticias.
- Agencia Internacional de la Energía y el Programa de asistencia para a gestión del sector energético del Banco Mundial (2019). *Acceso a la electricidad (% población)*. Consultado el 29 de septiembre de 2020. (<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS>)
- Agencia Internacional de la Energía -AIE- (2016). *Seguridad Energética*. UNISCI. Consultado el 11 de diciembre de 2020. (www.iea.org)
- Agencia Nacional de Energía Eléctrica -ANEEL- (2018). *Centro de Documentación*. Brasilia, Brasil. Consultado el 20 de diciembre de 2020. (www.aneel.gov.br)
- Agencia Noruega para la Cooperación para el Desarrollo -NORAD- (1993). Enfoque del marco lógico como herramienta para planificación y gestión de proyectos orientados por objetivos. Madrid, España. Consultado el 30 de noviembre de 2020. (<http://www.ongdclm.org/PUBLICACIONES%20DIGITALES/cooperacion%20desarrollo/Manual%20de%20Marco%20Logico.pdf>).
- Alcubierre, Diego (2019). *Costo por watt de paneles solares por país*. Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables. Consultado el 28 de julio de 2020. (<https://www.cemaer.org/costo-por-watt-de-paneles-solares-por-pais/>)
- Alonso, Caril. (2016). *Orientaciones para identificar el problema, tema de estudio y elaboración del plan de investigación*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala USAC. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Postgrados.

- Arimura, Toshi, Newell, Richard, & Palmer, Karen. (2009). *Cost-Effectiveness of Electricity Energy*. California. Consultado el 29 de noviembre de 2020. (www.rff.org)
- Asociación Nacional de Generadores de Energía Renovable (2017). *Informe: Perspectivas de crecimiento en la región*. Guatemala. Consultado el 14 de diciembre de 2020. (www.ager.org.gt)
- Baca Urbina, Gabriel. (1990). Evaluación de proyectos, análisis y administración del riesgo. (pág. 283). Mexico: McGraw-Hill.
- Balza, Lenin, Jimenez, Raúl & Mercado, Jorge (2013). *Privatization, Institutional Reform, and Performance in the Latin American Electricity Sector*. Ciudad de México. Banco Interamericano de Desarrollo -BID- Consultado el 30 de noviembre de 2020. (<https://publications.iadb.org/publications/english/document/Privatization-Institutional-Reform-and-Performance-in-the-Latin-American-Electricity-Sector.pdf>)
- Besley, Scott y Brigham, Eugene. (2006). *Fundamentos de Administración Financiera*. Florida.
- Best, Sarah (2011). *Remote access: Expanding energy provision in rural Argentina through public-private partnerships and renewable energy*. London, UK: International Institute for Environment and Development.
- Bhandari, Ramchandra & Stadler, Ingo. (2009). *Grid parity analysis of solar photovoltaic systems in Germany using experience curve*. Alemania. Consultado el 11 de agosto de 2020. (https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:40094523)
- Bogdan-Martin, Doreen (2020). *Measuring digital development, Facts and Figures 2012*. ITU Publications. Consultado el 04 de enero de 2020. (<https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx>)
- Bons, Norbert (2005). Proyecto *SWERA Informe Nacional*. Fundación Solar. Guatemala.
- Brojt, David. (2019). *Project Management*. Buenos Aires. Editorial Granica.

- Cabrerizo, Enrique (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: 4ta. Edición.
- Castillo, Inma Et. Al. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica y Térmica: Manual Técnico*. 1era. edición. AMV Ediciones.
- Chávez, José (2015). *Tesis de grado: Diseño de un generador de energía fotovoltaica para el centro universitario de Nor Occidente*. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cifuentes, Edelberto. (2009). *La Aventura de Investigar: El plan y la tesis*. Guatemala: Editorial Magna Terra.
- Colegio Evelyn Rodgers. Colegio Evelyn Rodgers: informe de actividades 2017. Guatemala. Consultado el 15 de diciembre de 2020. (<http://www.evelynrogers.edu.gt>)
- Comisión Federal de Energía - CFE- (2018). *Plan Nacional de Energía Eléctrica*. México. Consultado el 03 de enero de 2021 (www.cfe.mx)
- Comisión Nacional de Energía -CNE- (2018). *Reporte Nacional de Energía*. Santiago: Comisión Nacional de Energía de Chile. Consultado el 03 de enero de 2021 (www.cne.cl)
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE- (2008). *Norma Técnica para la Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoproductores con excedentes de energía*. Guatemala.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE- (2019). *Monitoreo Mercado Eléctrico Nacional 2018-2019*. Guatemala.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE- (2020). *Informe Estadístico: Gerencia de Planificación y Verificación del Mercado Eléctrico*. Guatemala.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CONELEC- (2008). *Atlas Solar del Ecuador*. Corporación para la Investigación Energética. Quito, Ecuador. Consultado el 06 de enero de 2021. (<https://www.regulacionelectrica.gob.ec>)

- Congreso de la República de Guatemala. (1995). *Ley Orgánica del Instituto Nacional de Electrificación*. Guatemala.
- Congreso de la República de Guatemala. (1997). *Acuerdo Gubernativo 256-97: Reglamento de la Ley General de Electricidad*. Guatemala.
- Congreso de la República de Guatemala. (1996). *Decreto 93-96: Ley General de Electricidad*. Guatemala.
- Congreso de la República de Guatemala. (2003). *Decreto 52-2003: Ley de Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable*. Guatemala.
- Coviello, Manlio & Ruchansky, Beno (2017). *Avances en materia de energías sostenibles en América Latina y el Caribe: resultados del Marco de Seguimiento Mundial*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Consultado el 12 de noviembre de 2020. (www.cepal.org)
- Dirección General de Evaluación e Investigación Educativa -DIGEDUCA- (2018). *Guatemala en Pisa-D*. Guatemala: Ministerio de Educación. Guatemala. Consultado el 09 de septiembre de 2020. (www.mineduc.gob.gt/digeduca)
- Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. -EEGSA- (2018). *Reporte Semestral, Usuarios Autoprodutores*. Guatemala. Consultado el 01 de septiembre de 2020. (www.eegsa.com)
- España González, Hector (2008). *Generación Distribuida por Medio de Energías Alternativas Renovables y su Influencia en la Evolución del Sistema Eléctrico Secundario de Distribución Tradicional*. Guatemala: Tesis de Grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Espinoza, Guillermo. (2001). *Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago: Banco Interamericano de Desarrollo – BID-.
- Francois, Bruno. (2015). *Energy Storage in Electric Power Grids*. Lille. Wiley. Consultado el 02 de junio de 2020. (<https://www.researchgate.net/publication/334196285>)

Instituto Nacional de Estadística -INE- (2017). *Encuesta Nacional de nivel educativo*. Guatemala. Consultado el 14 de agosto de 2020. (www.ine.gob.gt)

Global Solar Atlas, *Mapa de Recurso Solar*. The World Bank, Washington. Consultado el 01 de agosto de 2020. (<https://globalsolaratlas.info/map?c=14.591558,-91.032715,9&s=14.143053,-91.315063&m=site>)

González, Carta Et. Al. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: Prentice Hall, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Goodwe Solar, Co. Ltda. *Goodwe Solar Panels and equipment*. Consultado el 10 de enero de 2021. (<https://es.goodwe.com/inversores>)

Hanushek, Eric & Woessmann, Ludger (2008). The Role of Cognitive Skills. *Journal of Economic Literature*. Consultado el 2 de octubre de 2020. (<http://hanushek.stanford.edu/sites/publications/HanushekWoessmann.pdf>)

Hernández Sampieri, Roberto. Et. Al. (2010). *Metodología de la Investigación*. México. McGraw-Hill. 6ta. Edición.

Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales -ICEFI- (2016). *Brechas y puentes entre la política fiscal y las energías renovables: Guatemala*. Guatemala. Instituto Centroamericano para Estudios Fiscales.

Instituto Nacional de Electrificación - INDE- (2014). *Plan de Electrificación Rural (PER) 2021*. Guatemala: INDE.

Instituto Nacional de Estadística, -INE- (2017). *Índice de Nivel Educativo*. Guatemala. Consultado el 17 de agosto de 2020. (www.ine.gob.gt)

Instituto Nacional de Estadística -INE- (2018). *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda*. Instituto Nacional de Estadística, Ministerio de Economía, Guatemala.

Jewell, Jessica & Cherp, Aleh (2014). *Energy security under decarbonization scenarios: An assessment framework and evaluation under different technology and policy*

choices. Consultado el 12 de agosto de 2020.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs>)

Jiménez, Blanca Elena (2002). *La Contaminación Ambiental en México*. México. Editorial Limusa.

Jiménez Herrero, Luis (2000). *Bases Económicas del Desarrollo Sostenible*. Madrid, España.: Universidad Complutense de Madrid.

Jiménez, Juan Pablo & Podestá, Andrea (2009). *Inversión, incentivos fiscales y gastos tributarios en América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Consultado el 01 de diciembre de 2020. (www.cepal.org)

Juárez, Kevyn Et. Al. (2015). *Comportamiento del crecimiento del mercado de clientes catalogados como autoproductores en EEGSA y enfoque del distribuidor*. Tesis de Postgrado. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Kamaruzzaman, Sopian Et. Al. (2019). *Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems: Principles, Design, and Applications*. Suiza. Springer.

Kaundinya, Deepak Paramashivan (2009). *Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power - A review of literature*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Consultado el 28 de agosto de 2020.
(<https://ideas.repec.org/a/eee/rensus.html>)

Koberle, Alex (2012). *Energizar a Guatemala: Propuesta de un plan de electricidad sostenible*. Guatemala: International Rives, Berkeley, California.

Light Tec Guatemala. *Manual de luminarias*. Guatemala, Guatemala. Consultado el 11 de enero de 2021. (<http://www.light-tec.com.gt/>)

Medina, Abelardo (2016). *La eficacia de los incentivos tributarios a la inversión en Centroamérica*. Boletín de Estudios Fiscales. Guatemala. Consultado el 22 de septiembre de 2020. (https://icefi.org/sites/default/files/icefi_ints_la_eficacia.pdf)

Messina, Diego (2020). *Contribuciones determinadas a nivel nacional del sector eléctrico en América Latina y el Caribe, Análisis de la transición hacia el uso sostenible de*

las fuentes energéticas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Consultado el 11 de noviembre de 2020. (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/46034-contribuciones-determinadas-nivel-nacional-sector-electrico-america-latina>)

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN- (2014). *Norma de Acuerdos Voluntarios de Producción Más Limpia (AVP+L)*. Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Ministerio de Educación y Cooperación Alemana KfW. (2016). *Manual de criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales*. Guatemala.

Ministerio de Educación -Mineduc- (2020). *Plan Integral para la prevención, respuesta y recuperación ante el coronavirus (COVID-19)*. Guatemala. (www.mineduc.gob.gt)

Ministerio de Educación -Mineduc- (2020). *Sistema Nacional de Indicadores Educativos*. Guatemala. Consultado el 01 de agosto de 2020. (<http://estadistica.mineduc.gob.gt>)

Ministerio de Educación de Argentina (2020). *Argentina - energías renovables -nuevo marco regulatorio y perspectivas*. Buenos Aires. Consultado el 18 de octubre de 2020. (<https://www.argentina.gob.ar/mineduc>)

Ministerio de Educación -Mineduc- (2020). *Unidad de informática. Anuario Estadístico de la Educación, ediciones 1993, 1998, 2000, 2005, 2007 y 2008*. Guatemala. Consultado el 02 de septiembre de 2020. (<http://www.mineduc.com.gt>)

Ministerio de Energía y Minas -MEM- (2021). *Índice de Cobertura Eléctrica 2020*. Guatemala. Ministerio de Energía y Minas. Consultado el 28 de febrero de 2021. (<http://www.mem.gob.gt>)

Ministerio de Energía y Minas -MEM- (2019). *Índice de Cobertura Eléctrica 2018*. Guatemala. Ministerio de Energía y Minas. Consultado el 18 de octubre de 2021. (<http://www.mem.gob.gt>)

Ministerio de Energía y Minas -MEM- (2019). *Mapa de radiación solar*. Guatemala. Ministerio de Energía y Minas.

Ministerio de Energía y Minas -MEM- (2020). *Plan indicativo de electrificación rural Guatemala 2020*. Guatemala. Ministerio de Energía y Minas.

Ministerio de Energía y Minas -MEM- (2017). *Plan nacional de energía 2017 - 2032*. Guatemala. Ministerio de Energía y Minas.

Ministerio de Energía y Minas -MEM- (2019). *Política nacional de electrificación rural 2019-2032*. Guatemala. Ministerio de Energía y Minas.

Ministerio de Energía y Minas -MEM- (2013). *Política Energética 2013-2027*. Guatemala. Ministerio de Energía y Minas.

Ministerio de Energía y Minas -MEM- (2020). *Política Energética 2020-2050*. Guatemala. Ministerio de Energía y Minas.

Noticiero Guatevisión. *Cinco mil escuelas no cuentan con energía*. Noticiero Guatevisión. Consultado el 4 de noviembre de 2019. (<https://www.guatevision.com/noticias/departamental/cinco-mil-escuelas-no-cuentan-energia-electrica>)

Organización Latinoamericana de Energía -OLADE- (2019). *Panorama Energético de América Latina y El Caribe 2019*. Quito, Ecuador. Organización Latinoamericana de Energía. Consultado el 01 de septiembre de 2020. (<http://sielac.olade.org/>)

Organización Latinoamericana de Energía -OLADE- (2019). *Tablero evolución de indicadores económico energéticos*. Consultado el 03 de septiembre de 2020. (<http://sielac.olade.org/>)

Ortegon, Edgar (2005). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Santiago, Chile.

Pareja Aparicio, Miguel. (2016). *Energía Solar Fotovoltaica: Cálculo de una Instalación Aislada*. Barcelona: Marcombo.

- Pascual, Julio Et. Al. (2019). *Energía Sostenible Sin Malos Humos*. Navarra: Universidad Pública de Navarra. España.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD- (2019). *Informe sobre Desarrollo Humano 2019*. New York: PNUD. Consultado el 17 de octubre de 2020. (http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2019.pdf)
- Red Educativa Mundial. (2017). *Los 18 tipos de educación*. Red educativa mundial. Consultado el 04 de septiembre de 2020. (<https://www.redem.org/>)
- Robberechts, Elizabeth (2020). *Cuatro países que lideran en energía solar en América Latina y el Caribe*. Washington. BID Invest. Consultado el 30 de noviembre de 2020. (<https://www.idbinvest.org/es/blog/energia/cuatro-paises-que-lideran-en-energia-solar-en-america-latina-y-el-caribe>)
- Rodríguez Padilla, Victor (2018). *Seguridad Energética Análisis y Evaluación caso México*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL-. Ciudad de México. Consultado el 13 de diciembre de 2020. (https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44366/1/S1801208_es.pdf).
- Serrano, Marina (2018). *Redes Eléctricas: claves para la electrificación de la economía. Redes Eléctricas: claves para la electrificación de la economía*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. Consultado el 8 de diciembre de 2020. (<http://www.energiaysociedad.es/wp-content/uploads/2/AELEC.pdf>)
- Sovacool, Benjamin (2012). *Principles for renewable energy programs in developing countries*. Energy & Environmental Science. Consultado el 14 de agosto de 2020. (<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/Abstract>)
- Terrapon-Pfaff Julia & Dienst Carmen (2014). Impacts and sustainability of small-scale renewable energy projects in developing countries. *ELSEVIER*. Consultado el 25 de octubre de 2020. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S13>)

- Truper Corporation. (2020). *Manual de bombas centrifugas de agua, 1HP*. Guatemala. Consultado el 03 de enero de 2021. (<https://www.truper.com/CatVigente>)
- Urizar, Carmen. (2016). *Principales Hitos y Actores en la Apertura del Sector Eléctrico Guatemalteco*. Guatemala. Energy and Infrastructure Analysis Center.
- Van Horne, James. (2010). *Fundamentos de Administración Financiera*. México. Pearson.
- Ventura, Hugo. (2018). *Análisis de opciones para incrementar las transacciones de energía eléctrica por la interconexión México- Guatemala-Centroamérica*. Santiago: CEPAL.
- Villareal Beatriz & España, Olmedo (2015). *Educación y Sociedad en Guatemala*. Guatemala. Editorial Oscar de León. Consultado el 03 de agosto de 2020. (https://usac.edu.gt/g/Libro_EducySociedadG.pdf)
- Yingli Solar, Green Energy. *Yingli Solar manuals*. Consultado el 01 de enero de 2021. (<http://yinglisolar.com/en/products/solar-modules/>)
- Zarco, Jorge. (2019). *Más energía solar para empresas en Guatemala*. México. PV Magazine Latinoamérica. Consultado el 03 de septiembre de 2020. (<https://www.pv-magazine-latam.com/2019/10/31/mas-energia-solar-para-empresas-en-guatemala/>)

E-grafía

1. Exposolar. Consulta: diciembre 2019:
[<http://www.exposolar.org/2011/eng/center/contents.asp?idx=94&page=4&search=&searchstring=&exposolar=C>]
2. Banco Mundial, 2015. Agencia Internacional de la Energía (AIE) Estadísticas de energía y balances de países no pertenecientes a la OCDE; Estadística de energía de países de la OCDE, y balances de energía de países de la OCDE.
[<https://www.iea.org/stats/index.asp>] (consulta en marzo, 2020)
3. Ministerio de Finanzas Públicas de Guatemala (2010). Sistema de Contabilidad Integrada Gubernamental (SICOIN). Consulta: septiembre 2020.
4. Canto, Héctor. Viceministerio de educación. 2019.
[<https://www.guatevision.com/noticias/departamental/cinco-mil-escuelas-no-cuentan-energia-electrica>] (consulta en septiembre, 2020).
5. Rigoz, Susana. Energía solar, una esperanza para las escuelas rurales argentinas. Junio 2019. Consultado en marzo 2020. [<https://www.infobae.com/def/def-medio-ambiente/2019/06/01/energia-solar-una-esperanza-para-las-escuelas-rurales-argentinas/>]
6. Robberechts, Elizabeth. Cuatro países que lideran en energía solar en América Latina y el Caribe. Consultado en mayo 2020.
[<https://blogs.iadb.org/bidinvest/es/cuatro-paises-lideran-tendencias-de-energia-solar-en-alc/>]
7. [<https://energiailimpiaparatodos.com/2018/12/27/energia-solar-y-educacion-300-escuelas-rurales-en-argentina-con-paneles-solares-2/>] (consulta en mayo, 2020).

8. [<http://www.deguate.com/artman/publish/educacion/los-problemas-de-la-educacion-en-Guatemala.shtml>] (consulta en septiembre, 2020).
9. Guatevisión, N. Cinco mil escuelas no cuentan con energía eléctrica. *Noticiero Guatevisión*. (febrero 2020)
10. [<https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/guatemala>] (consulta en septiembre, 2020).
11. <https://www.idbinvest.org/es/blog/energia/cuatro-paises-que-lideran-en-energia-solar-en-america-latina-y-el-caribe>