

**Formulación de un proyecto solar fotovoltaico off-grid en el antiguo espacio territorial de
Capacitación y Reincorporación (AETCR) San José de Oriente en la vereda Tierra Grata
de Manaure, Cesar**

Marta Ligia Guerrero Julio

María Fernanda Nieto Castañeda

Ivonne Astrid Ruiz Maldonado

Asesor

Ing. Nidia Stella Rincón Parra

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería

Maestría en Gerencia de Proyectos

2026

Declaración de Autoría

Declaramos que el informe del proyecto presentado en este documento no ha sido sometido anteriormente para la obtención de un título o diploma en esta ni en ninguna otra institución de educación superior. El contenido del documento es resultado de nuestro conocimiento y autoría, no incluye material publicado o escrito por terceros, salvo en los casos debidamente referenciados

Resumen

En Colombia, la desigualdad, la pobreza y la exclusión social han sido causas estructurales del conflicto armado. En este contexto, y como parte de los acuerdos de paz, la democratización del acceso a la energía se convierte en una tarea prioritaria para garantizar la consolidación y sostenibilidad de la paz a largo plazo (Correa Flórez, 2024). Como resultado de dichos acuerdos entre el Gobierno y las FARC, se crearon los Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación (ETCR), concebidos como lugares para brindar acompañamiento, formación y apoyo a los excombatientes en su proceso de reincorporación a la vida civil. Uno de estos espacios es San José de Oriente, ubicado en la vereda Tierra Grata del municipio de Manaure, Cesar, sin embargo, este territorio se encuentra en una Zona No Interconectada (ZNI), es decir, es una zona donde no se cuenta con un servicio de energía eléctrica confiable y continuo, y tampoco no se encuentra incluido en los planes de expansión de redes eléctricas del Operador de Red – OR Afinia para los próximos dos años.

La ausencia de este servicio limita significativamente el desarrollo, bienestar y pleno ejercicio de derechos, por lo tanto, brindar un servicio de energía eléctrica con calidad y continuidad representa una solución que no solo impacta positivamente la calidad de vida de sus habitantes, sino que también se convierte en un paso firme hacia la construcción de territorios más equitativos, resilientes y comprometidos con la reconciliación.

Palabras clave: Recursos energéticos, Energía solar, Acuerdo de paz, Justicia social, Fuente de energía renovable.

Abstract

In Colombia, inequality, poverty, and social exclusion have been structural causes of the armed conflict. In this context, and as part of the peace agreements, democratizing access to energy becomes a priority task to ensure the long-term consolidation and sustainability of peace (Correa Flórez, 2024). As a result of these agreements between the Government and the FARC, the Territorial Spaces for Training and Reincorporation (ETCR) were created, conceived as places to provide support, training, and assistance to former combatants in their process of reintegration into civilian life. One of these spaces is San José de Oriente, located in the village of Tierra Grata in the municipality of Manaure, Cesar. This territory is in a Non-Interconnected Zone (ZNI), meaning it lacks reliable and continuous electricity service, and is not included in the electricity grid expansion plans of the network operator AFINIA for the next two years.

The absence of this service significantly limits development, well-being, and the full exercise of rights. Therefore, providing quality and continuous electricity service represents a solution that not only positively impacts the inhabitants' quality of life, but also becomes a firm step toward building more equitable, resilient territories committed to reconciliation.

Keywords: Energy resources, Solar energy, Peace agreements, social justice, Renewable energy sources.

Tabla de Contenido

Introducción	14
Identificación del Problema	16
Antecedentes del Problema.....	16
Problema Central	19
Formulación del Problema.....	19
Identificación y Caracterización de la Población (enfoque MGA	20
Pregunta de Investigación.....	21
Análisis de Actores o Identificación de Stakeholders del Proyecto.....	24
Actores Identificados	24
Insumo al Mapeo de Actores.....	28
Mapeo de Actores en Moqups.....	32
Justificación	34
Situación sin Proyecto (Línea base).....	37
Objetivos.....	39
Objetivo General.....	39
Objetivos Específicos.....	39
Metodología de la Investigación.....	41
Alcance	49
Etapas 1. Identificación y Diagnóstico.....	49
Etapas 2. Estructuración de la Solución	50
Etapas 3. Viabilidad Económica de la Solución.....	50
Etapas 4. Estructura Administrativa	50

Marco de Referencia	51
Marco de Antecedentes	51
Marco Teórico	53
Marco Conceptual	56
Mercado Eléctrico Colombiano	57
Servicio Público de Energía Eléctrica	57
Sistema Interconectado Nacional (SIN)	58
Cobertura del Servicio de Energía Eléctrica en Tierra Grata, Cesar	59
Zonas No Interconectadas	59
Energías Renovables	61
El Sol	61
Radiación Solar	62
Energía Solar	63
Sistemas Solares Fotovoltaicos – SSFV	63
Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico	65
Demanda Energética	65
Limitaciones de Autogeneración	67
Beneficios Ambientales y Económicos	67
Metodología General Ajustada - MGA	69
Institute Project Management - PMI	70
Marco Demográfico	71
Población Total	71
Tendencias Demográficas Dentro del AETC	73

Marco Legal	73
Estado del Arte	77
Experiencias en Energía Solar a Nivel Global y Nacional	77
Proyectos en Energía Solar a Nivel Internacional	77
Proyectos en Energía Solar a Nivel Latinoamérica	78
Proyectos en Energía Solar a Nivel de Centroamérica.	78
Experiencias de Energía Solar a Nivel Nacional	79
Diseño Metodológico	92
Estudio Ambiental.....	94
Estructura Metodológica.....	94
Variables Propuestas	97
Variable Independiente.....	98
Variables Dependientes.....	99
Diseño de Instrumentos para la Recolección de la Información.....	103
Análisis del Entorno – Matriz PESTEL.....	108
Metodología de Preselección de Alternativas	112
Localización	113
Preselección de Alternativas de Solución	115
Estudios.....	116
Estudio Técnico-Financiero de la Solución	116
Estudio Técnico	116
Fuentes de Energía No Convencionales de Energía FNCER	116
Sistemas Solares Fotovoltaicos SSFV	116

Irradiación Solar.....	118
Consideraciones Para el Diseño de un SSFV	120
Componentes de un SSFV Aislado.	121
Demanda de Energía.....	124
Información Recolectada	124
Resultados	125
Cargas de la Instalación SSFV Proyectado.....	137
Análisis de los Resultados	139
Capacidad del Proyecto.....	139
Tamaño del Sistema	140
Oferta del Mercado - Estudio de Mercado.....	141
Análisis de la Demanda	141
Análisis de la Oferta.....	141
Análisis de la Competencia.....	148
Estructura de Precios y Costos.....	148
Marco Regulatorio y Fuentes de Financiación	149
Conclusiones	149
Recomendaciones	149
Costo del proyecto	150
Evaluación del beneficio ambiental (CO2).....	152
Conclusiones Técnicas.....	153
Estudio de Viabilidad Financiera y Administrativa	155
Viabilidad Financiera	155

Enfoque de Evaluación del Proyecto y Marco MGA	155
Evaluación Económica y Aplicabilidad de Beneficios ley 1715 del 2014	156
Análisis Económico de Costos Asociados al Pago del Servicio de Energía Eléctrica en Colombia	161
Viabilidad Administrativa	167
Síntesis de la Línea Base y Comparación de Escenarios	168
Requisitos para la presentación de proyectos al FAZNI.....	171
¿Qué es el FAZNI?.....	171
Revisión Técnica.....	172
Conclusiones	178
Conclusiones por Objetivo Específico 1	179
Conclusiones por Objetivo Específico 2	179
Conclusiones por Objetivo Específico 3.....	180
Referencias.....	181

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Actores Directos e Indirectos del Proyecto</i>	29
Tabla 2 <i>Actividades de Objetivos Específicos</i>	41
Tabla 3 <i>Distribución por Edad y Genero Manauere</i>	71
Tabla 4 <i>Informe Principal de Datos</i>	83
Tabla 5 <i>Población Estratificada de la Comunidad San José de Oriente</i>	92
Tabla 6 <i>Factores de emisiones de CO2 para el año 2022</i>	101
Tabla 7 <i>Diseño de Instrumentos para la Recolección de la Información</i>	103
Tabla 8 <i>Diagrama PESTEL</i>	109
Tabla 9 <i>Datos de Red de MT más Cercana</i>	114
Tabla 10 <i>Información Requerida Para la Preselección</i>	115
Tabla 11 <i>Estimación del Consumo Eléctrico de las Cargas en el AETCR</i>	137
Tabla 12 <i>Clasificación de Soluciones</i>	142
Tabla 13 <i>Componentes Recomendados</i>	142
Tabla 14 <i>Clasificación de Soluciones</i>	143
Tabla 15 <i>Componentes Recomendados</i>	144
Tabla 16 <i>Criterios de Evaluación</i>	145
Tabla 17 <i>Viabilidad de Alternativas</i>	147
Tabla 18 <i>Componente para Vivienda Individual</i>	148
Tabla 19 <i>Cálculo de Gases de Efecto Invernadero Emitidos por Cada Tecnología</i>	153
Tabla 20 <i>Calculo VPN y TIR</i>	158
Tabla 21 <i>Calculo VPN y TIR aplicando ley 1715 de 2014.</i>	158

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Viviendas sin Servicio de Energía (VSS) en Colombia al Año 2023</i>	18
Figura 2 <i>Árbol del Problema</i>	23
Figura 3 <i>Matriz de Interés-Influencia</i>	31
Figura 4 <i>Mapeo de Actores del Proyecto</i>	32
Figura 5 <i>Localización Geográfica del AETCR San José de Oriente</i>	35
Figura 6 <i>Árbol de Objetivos</i>	40
Figura 7 <i>Geovisores. Mapa capacidad asignada UPME – Energía Solar Fotovoltaica</i>	60
Figura 8 <i>Tamaño del Sistema Fotovoltaico</i>	66
Figura 9 <i>Población de Manaure por edad en 2024</i>	72
Figura 10 <i>Informe Principal de Consulta Bibliométrica</i>	83
Figura 11 <i>Producción Científica Anual</i>	85
Figura 12 <i>Datos Producción Científica Anual</i>	85
Figura 13 <i>Citas Promedio Por Año</i>	86
Figura 14 <i>Datos Citas Promedio Por Año</i>	86
Figura 15 <i>Árbol de Autores, Keywords y Revistas</i>	87
Figura 16 <i>Autores Más Relevantes</i>	88
Figura 17 <i>Países de los Autores Más Relevantes</i>	88
Figura 18 <i>Red de Citación Histórica</i>	89
Figura 19. <i>Proyecto Solar Fotovoltaico en Zona No Interconectada (ZNI)</i>	97
Figura 20 <i>Diagrama de Flujo del Proceso de Selección de Alternativas de Electrificación</i>	112
Figura 21 <i>Localización Vereda Tierra Grata (zona rural Manaure, Cesar)</i>	114
Figura 22 <i>Diagrama de Flujo del Proceso de Selección de Alternativas Aplicado al Proyecto</i>	115

Figura 23 <i>Esquema de Solución Fotovoltaica Aislada Individual</i>	118
Figura 24 <i>Mapa de Irradiación Solar Mundial</i>	119
Figura 25 <i>Mapa de Potenciales para Comunidades Energéticas (Manaure – César)</i>	120
Figura 26 <i>Características Principales de los Componentes para el Análisis de Soluciones Aisladas Individuales y sus Costos por Unidad</i>	123
Figura 27 <i>¿Tiene Usted Servicio de Energía Permanente?</i>	126
Figura 28 <i>De las Sigüientes Opciones ¿Cuál le Afecta de Manera Constante?</i>	127
Figura 29 <i>¿En qué Aspecto le Afecta?</i>	128
Figura 30 <i>¿Cree Usted que un Sistema Alterno de Energía Solar es Buena Alternativa Para Mitigar la Falta de Energía?</i>	129
Figura 31 <i>Resultados de la Encuesta</i>	130
Figura 32 <i>¿Cree usted que un sistema alternativo de energía solar es una buena alternativa para mitigar la falta de energía?</i>	131
Figura 33 <i>¿Qué Ocurre Cuando no Hay Energía?</i>	132
Figura 34 <i>Resultados de la Encuesta</i>	133
Figura 35 <i>En promedio cuantos kilovatios consume al mes.</i>	134
Figura 36 <i>¿Cree Usted que un Sistema Fotovoltaico Mejorara la Calidad del Servicio de Energía?</i>	135
Figura 37 <i>Cartilla de Consumos de Electrodomésticos</i>	136
Figura 38 <i>Costo Total del Proyecto</i>	151
Figura 39 <i>Operador de Red CaribeMar de La Costa S.A.S. E.S.P.</i>	164
Figura 40 <i>Tarifas (Costo unitario enero de 2026)</i>	165
Figura 41 <i>Ahorro Mensual</i>	165

Figura 42 <i>Diagrama de Proceso FAZNI.</i>	175
Figura 43 <i>Componentes Mínimos Requeridos Para Presentar un Proyecto ante FAZNI.</i>	177

Introducción

En el marco del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera, firmado entre el Gobierno colombiano y las FARC en 2016, se asignaron tierras a los excombatientes en la vereda Tierra Grata, ubicada en el municipio de Manaure del departamento del Cesar, con el objetivo de facilitar su reintegración a la sociedad.

Este objetivo se viene cumpliendo a través de programas y proyectos que se han desarrollado en la comunidad, enfocados en la formación, capacitación y reincorporación social y económica de los excombatientes, así como también su relación con la comunidad local. Sin embargo, para promover la eficiencia de estos procesos productivos, es necesario crear condiciones óptimas en el acceso a los servicios públicos, para que la comunidad pueda desarrollarse y mejorar así sus condiciones de vida.

El acceso a un servicio eléctrico de calidad es un factor clave para reducir las brechas de pobreza, marginación, insalubridad y analfabetismo, así como para promover el bienestar y el desarrollo económico en comunidades aisladas. No obstante, la falta de acceso a servicios básicos como la energía eléctrica continúa siendo una limitación significativa que afecta a numerosas poblaciones en todo el mundo, impidiendo su progreso y el ejercicio pleno de sus derechos.

La realidad en el Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación – AETCR San José de Oriente es que, hasta la fecha no se cuenta con algunos servicios públicos domiciliarios básicos, entre ellos un servicio de energía eléctrica continuo y confiable, dado que la capacidad de generación eléctrica, que depende de dos grupos electrógenos diésel, es insuficiente para satisfacer la demanda de energía de la comunidad. Para abordar esta situación, se propone la formulación de un proyecto para mejorar la calidad del servicio la energía eléctrica

a esta comunidad, evaluando el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles en el área de influencia del proyecto; para el caso particular del departamento del Cesar, la energía solar fotovoltaica se configura como una solución asequible y no contaminante para la generación de energía eléctrica.

Adicionalmente, la implementación de estos sistemas en las ZNI se alinea con los objetivos de la Transición Energética Justa – TEJ, en la que se busca lograr la universalización del servicio y la equidad social. En este contexto, es fundamental que el gobierno nacional, regional y municipal, junto con los actores relevantes, como la academia, trabajen en conjunto para llevar a cabo proyectos que promuevan el acceso a energía eléctrica confiable y mejoren la calidad de vida de las comunidades, en especial las que se encuentran en proceso de reintegración, como es el caso del AETCR San José de Oriente.

Identificación del Problema

Antecedentes del Problema

El servicio de energía eléctrica está considerado en Colombia como un servicio público esencial, de acuerdo con lo establecido en la ley 142 de 1994; su ausencia limita el acceso a otros servicios que inciden en la calidad de vida de las comunidades, como por ejemplo, la iluminación, que impide cualquier actividad cuando anochece, disminuyendo la cantidad de tiempo útil, y por ende la productividad y las condiciones educativas de los niños, perpetuando el nivel de pobreza de la comunidad, también aumenta la inseguridad y tiene afectaciones en la salud, por problemas como la conservación de alimentos, la imposibilidad de atención de la salud, tratamiento de aguas residuales, la potabilización y provisión de agua y el uso de leña y otros combustibles para el trabajo doméstico; sin embargo, como se ilustra en la Por esta razón, el estado tiene como uno de sus objetivos principales alcanzar la universalización del servicio de energía eléctrica, desde la expedición de la Ley Eléctrica (Ley 143 de 1994), lo que se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos” que fue incluido como parte de los compromisos de Colombia en la agenda 2030 y oficializado a través de CONPES 3918 de 2018 “Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia” y el Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026, que enmarcan la política pública de ODS.

Por otro lado, también se han desarrollado importantes herramientas como la Ley 1715 de 2014 que establece incentivos tributarios para Fuentes No Convencionales de Energía - FNCE y la Ley 2099 de 2021, conocida como la Ley de Transición Energética, donde se han creado fondos de financiación para lograr estos objetivos, como FAER, FAZNI, FONENERGÍA, entre

otros, que, responden al primer objetivo del Plan Energético Nacional 2022-2052 “Permitir el acceso universal a soluciones energéticas confiables, con estándares de calidad y asequibles”.

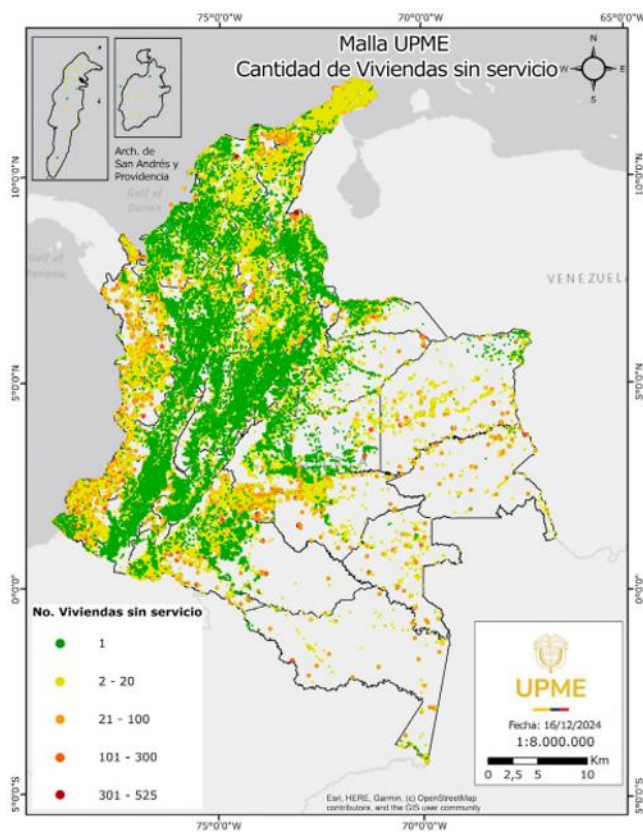
Figura 1, y de acuerdo con los cálculos de la UPME el número de viviendas sin servicio de energía eléctrica (VSS) asciende a 524.569 viviendas al año 2023 (Unidad de Planeación Minero - Energética - UPME, 2025) (Pérez et al., 2023).

Por esta razón, el estado tiene como uno de sus objetivos principales alcanzar la universalización del servicio de energía eléctrica, desde la expedición de la Ley Eléctrica (Ley 143 de 1994), lo que se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos” que fue incluido como parte de los compromisos de Colombia en la agenda 2030 y oficializado a través de CONPES 3918 de 2018 “Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia” y el Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026, que enmarcan la política pública de ODS.

Por otro lado, también se han desarrollado importantes herramientas como la Ley 1715 de 2014 que establece incentivos tributarios para Fuentes No Convencionales de Energía - FNCE y la Ley 2099 de 2021, conocida como la Ley de Transición Energética, donde se han creado fondos de financiación para lograr estos objetivos, como FAER, FAZNI, FONENERGÍA, entre otros, que, responden al primer objetivo del Plan Energético Nacional 2022-2052 “Permitir el acceso universal a soluciones energéticas confiables, con estándares de calidad y asequibles”

Figura 1

Viviendas sin Servicio de Energía (VSS) en Colombia al Año 2023.



Nota. Tomado de (Unidad de Planeación Minero - Energética - UPME, 2025).

Como primer paso para lograr la ampliación de la cobertura es necesario identificar las necesidades del servicio de energía y posteriormente, cuantificar las inversiones a realizar; para ello, la Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME, elabora el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica – PIEC, donde se identifican los usuarios sin servicio de energía eléctrica en todo el territorio nacional, para finalmente, orientar, de forma optimizada, las inversiones a realizar.

La UPME considera tres posibles alternativas para la prestación del servicio: interconexión al Sistema Interconectado Nacional – SIN, generación aislada con solución

individual solar fotovoltaica y soluciones aisladas híbridas con microrredes/comunidades Energéticas; de estas se selecciona la solución más económica, es decir, la solución con un menor costo por usuario servido (Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME, 2019).

Problema Central

El Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (AETCR) San José de Oriente, ubicado en la vereda Tierra Grata del municipio de Manaure, Cesar, presenta baja calidad de vida y limitadas oportunidades de desarrollo social, educativo y productivo, como consecuencia de la deficiente y discontinua prestación del servicio de energía eléctrica, propia de su condición de Zona No Interconectada (ZNI). La comunidad depende actualmente de generación eléctrica mediante plantas diésel de capacidad limitada, lo cual no permite cubrir de manera confiable la demanda energética de los hogares, las iniciativas productivas ni los equipamientos comunitarios. Esta situación restringe el acceso a servicios básicos, incrementa los costos operativos, genera impactos ambientales negativos y limita los procesos de reincorporación socioeconómica de la población residente en el AETCR.

Formulación del Problema

Dentro de esa población que no tiene acceso a este recurso está el AETCR San José de Oriente, que se destaca por el ecoturismo comunitario, y donde el Estado Colombiano tiene como meta finalizar etapa transitoria del proceso de reincorporación de los antiguos integrantes de las FARC, brindando soluciones permanentes a los excombatientes que decidieron desmovilizarse y reintegrarse para permanecer en la legalidad y en una paz duradera; para ello el Gobierno Nacional diseñó una ruta de trabajo orientada a la adquisición de predios para la reincorporación, a fin de generar arraigo socioeconómico por medio del acceso a la tierra, la vivienda y proyectos productivos, sin embargo, en este AETCR no se cuenta con acueducto,

conectividad, ni interconexión para suministro de energía eléctrica (Agencia para la Reincorporación y la Normalización - ARN, 2022).

Esta condición tiene múltiples causas, entre las que se incluyen su ubicación remota y a la falta de inversión en infraestructura básica en la región del Cesar; los altos costos de generación eléctrica alternativa, dado que las opciones de generación eléctrica disponibles, como el uso de generadores diésel, son costosas y poco sostenibles a largo plazo, lo que dificulta su adopción por parte de la comunidad, sin contar con el impacto ambiental negativo de estas fuentes, que contribuye a la contaminación del aire y del suelo, así como al agotamiento de recursos naturales no renovables. Este proyecto busca contribuir a mejorar la calidad de vida de la comunidad al proporcionar acceso a una fuente de energía eléctrica confiable y asequible, contribuyendo así a mejorar las condiciones de vida de los habitantes del AETCR y sus familias, facilitando el acceso a servicios básicos y oportunidades de desarrollo socioeconómico.

La implementación del proyecto reducirá la dependencia de generadores diésel y otras fuentes de energía como la leña y el carbón, disminuyendo así las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigando el impacto ambiental negativo asociado y promoverá el desarrollo sostenible en la región, fortaleciendo la resiliencia de la comunidad ante los efectos del cambio climático y creando oportunidades para la innovación y el crecimiento económico local.

Identificación y Caracterización de la Población (enfoque MGA)

De acuerdo con los lineamientos de la Metodología General Ajustada (MGA) del Departamento Nacional de Planeación, la población relacionada con el proyecto se clasifica en los siguientes niveles:

Población de referencia: Corresponde a los habitantes del municipio de Manaure, Cesar, dentro del cual se localiza la vereda Tierra Grata y el AETCR San José de Oriente. Esta población sirve como marco territorial y demográfico de referencia para el análisis del proyecto.

Población afectada: Está conformada por los habitantes del AETCR San José de Oriente que presentan limitaciones en el acceso a un servicio de energía eléctrica continuo y confiable, debido a su ubicación en una Zona No Interconectada y a la insuficiente capacidad de generación eléctrica existente.

Población objetivo: La población objetivo del proyecto corresponde a 15 viviendas del AETCR San José de Oriente, junto con sus habitantes, quienes serán beneficiarios directos de la implementación de sistemas solares fotovoltaicos individuales off-grid. Esta población incluye hogares residenciales, equipamientos comunitarios e iniciativas productivas que requieren un suministro energético confiable para su funcionamiento y desarrollo.

En concordancia con el problema central identificado, la población objetivo definida constituye el grupo directamente afectado por la deficiente prestación del servicio de energía eléctrica en el AETCR San José de Oriente. Por tanto, la intervención propuesta se orienta específicamente a resolver las limitaciones energéticas que inciden sobre las condiciones de vida, productividad y desarrollo social de estas 15 viviendas, estableciendo una relación directa entre el problema formulado, la población objetivo y la solución planteada, conforme a los lineamientos de la Metodología General Ajustada (MGA).

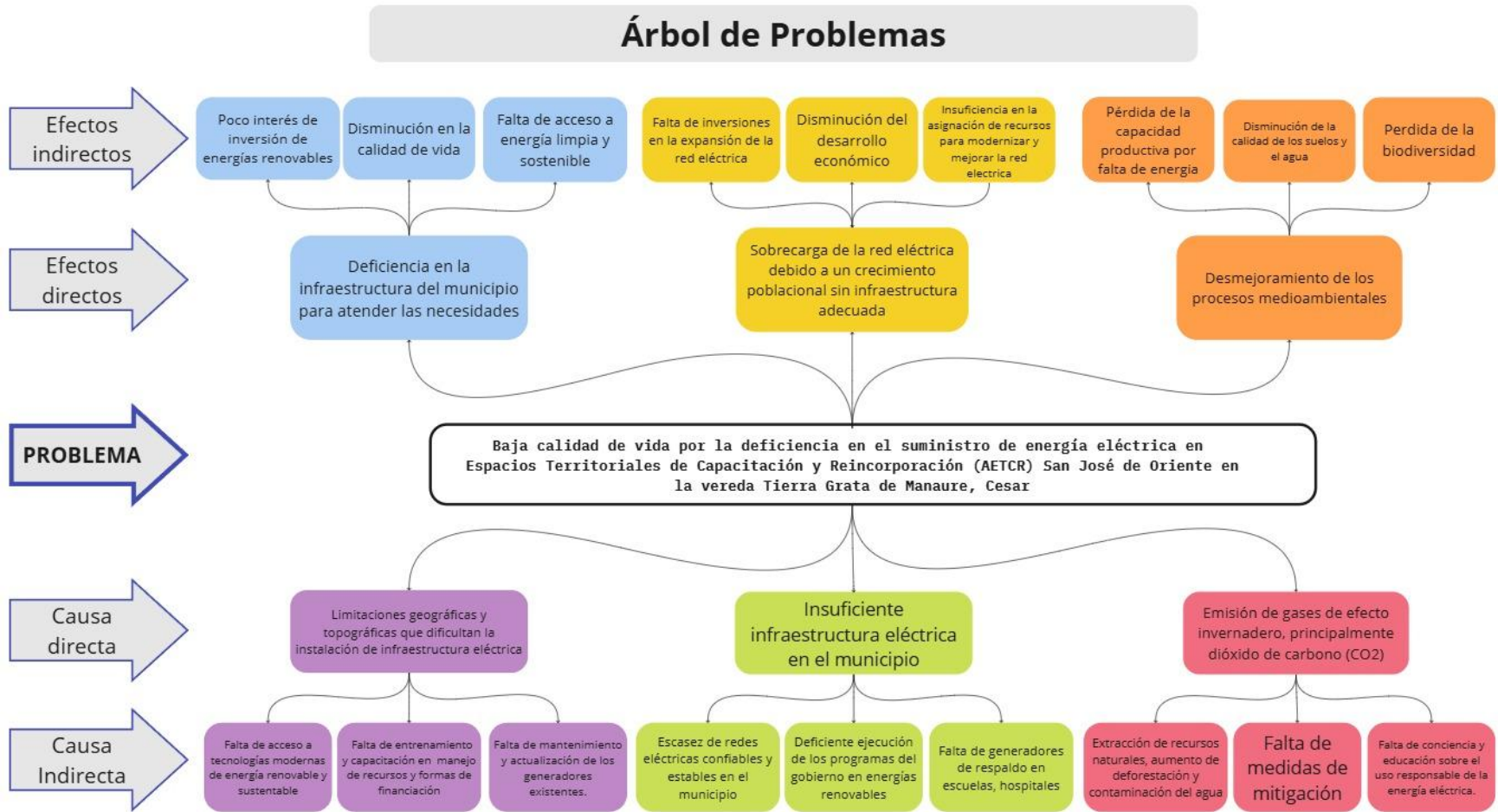
Pregunta de Investigación

Todo esto para dar respuesta a nuestra pregunta de Investigación: ¿Cómo afecta la deficiente prestación del servicio de energía eléctrica la calidad de vida y las oportunidades de

desarrollo socioeconómico de los habitantes del AETCR San José de Oriente, y de qué manera la implementación de un sistema de generación solar podría mejorar dichas condiciones?

Figura 2

Árbol del Problema



Nota. Elaboración propia en miro a partir del análisis del contexto.

Análisis de Actores o Identificación de Stakeholders del Proyecto

En el marco de la Metodología General Ajustada (MGA) y de los lineamientos de la gerencia de proyectos, el análisis de actores constituye un elemento clave para identificar los interesados que inciden directa o indirectamente en la formulación, viabilidad e implementación del proyecto. Para el proyecto de formulación de un sistema solar fotovoltaico off grid en el AETCR San José de Oriente, se realizó la identificación y caracterización de los principales actores institucionales, comunitarios y sectoriales, con el fin de comprender sus intereses, niveles de influencia y posibles aportes al desarrollo del proyecto.

Este análisis permite anticipar riesgos, fortalecer la gobernanza del proyecto y garantizar la sostenibilidad social y administrativa de la solución propuesta. Con el fin de realizar la correspondiente identificación de actores directos e indirectos, en primera instancia, se realizó una lluvia de ideas asincrónica. A continuación, se presentan y describen cada uno de ellos.

Actores Identificados

Estado. Representado por el gobierno nacional colombiano; aunque en realidad el estado es un actor polimorfo compuesto por diferentes entidades que pueden diferir en objetivos y comportamiento, se considera como un actor único interesado en cumplir metas bandera como son abastecer la demanda de electricidad bajo criterios económicos y de viabilidad financiera, la universalización del servicio de energía eléctrica, promover el desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, lograr la transición energética, reducir las emisiones contaminantes, entre otros (Ruiz, 2017).

Agencia para la Reincorporación y la Normalización (ARN). Contribuye en el diseño e implementación de programas de reintegración para excombatientes y sus familias.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Programa con el cual se puede obtener apoyo técnico y financiero para proyectos de desarrollo comunitario y económico destinados a los excombatientes; se identifica como posible patrocinador.

Fondo de las Naciones Unidas para la Consolidación de la Paz (PBF). Ha otorgado apoyo financiero iniciativas relacionadas con la reintegración de excombatientes, por lo tanto, se identifica como posible patrocinador.

Beneficiarios incorporados del programa de protección de la UNP. Excombatientes con alto rango militar, que en el proceso de reincorporación se han desarrollado como líderes de sus comunidades; son beneficiarios y usuarios finales y pueden participar activamente en la implementación del proyecto.

Agentes de protección incorporados al programa de la UNP. Excombatientes que ingresaron a trabajar a la UNP como escoltas que prestan protección a los líderes; son unos de los principales beneficiarios del proyecto.

Comunidad de San José de Oriente. Habitantes y antiguos excombatientes que comenzaron procesos productivos o que simplemente se desmovilizaron. Son los usuarios y beneficiarios directos del proyecto, también pueden ser partícipes de su implementación y mantenimiento.

Empresas locales. Empresas del área de influencia que pueden ser proveedores del proyecto, suministrando algunos materiales y/o equipos necesarios para la implementación del proyecto.

Empresas de Energías Renovables. Importadores, productores, proveedores de tecnología solar fotovoltaica, consultores especializados, empresas de mantenimiento de sistemas fotovoltaicos y profesionales especializados.

Fuerzas Armadas. Responsables de garantizar la seguridad y protección del AETCR, incluyendo el asegurar que el área de trabajo esté protegida contra posibles amenazas externas y proporcionar un entorno seguro para que se desarrolle el proyecto.

Alianzas Productivas de San José de Oriente. Proyectos de emprendimiento desarrollados dentro de la comunidad que mayormente se verían ampliamente beneficiados de contar con un servicio de energía eléctrica confiable.

Institución Educativa de San José de Oriente. Institución educativa adscrita a la comunidad, usuaria y beneficiaria del proyecto.

Oficina Sistema General de Regalías (SGR). Administra los recursos de las regalías a nivel nacional. Se identifica como posible patrocinador.

CorpoCesar. Autoridad ambiental local, cuyo principal interés es garantizar el cumplimiento ambiental en cuanto a permisos y licencias.

Medios de comunicación (prensa). Se conoce como el “cuarto poder” debido a la fuerte influencia que pueden ejercer en las personas, comunidades y el mismo gobierno. Se convierte en un actor muy relevante y convertirse en una clave para el éxito del proyecto.

Ministerio de Hacienda y Crédito Público - MHCP. Responsable de manejo de los recursos del estado, se identifica como medio para lograr recursos para el proyecto.

Banco Interamericano de Desarrollo BID. Organización internacional que apoya el desarrollo sostenible de los países, identificado como posible patrocinador.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Corresponde a un actor con un alto grado de interés e influencia, pues representa el formulador del proyecto.

Operador de Red de Energía (Afinia). Corresponde también con el comercializador y distribuidores de energía del mercado incumbente de la zona del proyecto, puede convertirse en un patrocinador a través de los programas de responsabilidad social empresarial.

Constructores. Empresas encargadas de la construcción, desarrollo e instalación de proyectos solares fotovoltaicos.

Alcaldía de Manaure. Representante del municipio de Manaure, estaría involucrada en la autorización, regulación y posible financiamiento del proyecto.

Gobernación del Cesar. Representantes del departamento, actor clave para lograr recursos para el desarrollo del proyecto.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. Busca incentivar que los proyectos sean energéticamente eficientes y tengan la menor huella de carbono, adicionalmente, determina los requisitos ambientales para la evaluación de los proyectos.

Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. Encargada de regular el sector eléctrico y su reglamentación, buscando garantizar un servicio público con eficiencia y calidad.

Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas - FAZNI. Fondo cuyo objetivo específico es financiar proyectos de inversión en infraestructura energética en las zonas no interconectadas (ZNI). Corresponde al principal patrocinador identificado, ya que el proyecto está dentro de su campo de acción.

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE. Instituto dedicado a la atención de las necesidades energéticas de las ZNI, buscando lograr aumentar la cobertura del servicio de energía eléctrica. Lleva a cabo sus proyectos con recursos del FAZNI.

Ministerio de Minas y Energía – MME. Responsable de materializar los objetivos del estado de abastecer la demanda de electricidad bajo criterios económicos y de viabilidad financiera, la universalización del servicio de energía eléctrica, promover el desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable y lograr la transición energética.

Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME. Entidad encargada de la planeación energética, materializando los objetivos de abastecimiento energético, la universalización del servicio de energía eléctrica, promoción de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable y la transición energética.

Comunidades aledañas. Se relacionan con el proyecto de acuerdo con la afectación que este tenga, desde generación de empleos, activación económica y afectaciones. Pueden participar como proveedores de mano de obra no calificada del proyecto.

Insumo al Mapeo de Actores

Una vez identificados los intereses, recursos y posibles actividades en torno al proyecto de cada uno de los actores, se procede a clasificar, categorizar y determinar su grado de interés e influencia en el proyecto. En la Tabla 1 se presenta esta información de forma ordenada.

Tabla 1*Actores Directos e Indirectos del Proyecto*

Actor	Clasificación	Categoría	Grado de influencia	Grado de interés
CorpoCesar	Instituciones públicas	Clave	Alta	Bajo
Alcaldía de Manaure	Instituciones públicas	Clave	Alta	Alto
Gobernación del Cesar	Instituciones públicas	Clave	Alta	Alto
Ministerio de Minas y Energía – MME	Instituciones públicas	Clave	Alta	Alto
Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME	Instituciones públicas	Clave	Alta	Alto
Ministerio de Hacienda y Crédito Público - MHCP	Instituciones públicas	Clave	Alta	Bajo
Estado	Instituciones públicas	Clave	Alta	Alto
Comunidad de San José de Oriente (Usuarios)	Usuarios	Primarios	Baja	Alto
Alianzas Productivas de San José de Oriente (AP)	Usuarios	Primarios	Baja	Alto
Institución Educativa de San José de Oriente (IE)	Usuarios	Primarios	Baja	Alto
Agentes de protección incorporados al programa de la UNP (Agentes UNP)	Actores internos	Primarios	Baja	Alto
Beneficiarios incorporados del programa de protección de la UNP (Beneficiarios UNP)	Usuarios	Primarios	Baja	Alto
Universidades (Academia)	Actores externos	Secundarios	Baja	Alto
Operador de red de energía (Afinia)	Actores externos	Secundarios	Baja	Bajo
Constructores (OC)	Actores externos	Secundarios	Baja	Alto
Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)	Actores externos	Secundarios	Alta	Alto
Medios de comunicación (Prensa)	Actores externos	Secundarios	Alta	Bajo
Empresas de Energías Renovables (ER)	Actores externos	Secundarios	Baja	Alta
Empresas locales (EL)	Actores internos	Secundarios	Baja	Bajo
Comunidades aledañas	Actores internos	Secundarios	Baja	Alto
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)	Instituciones públicas	Secundarios	Alta	Baja

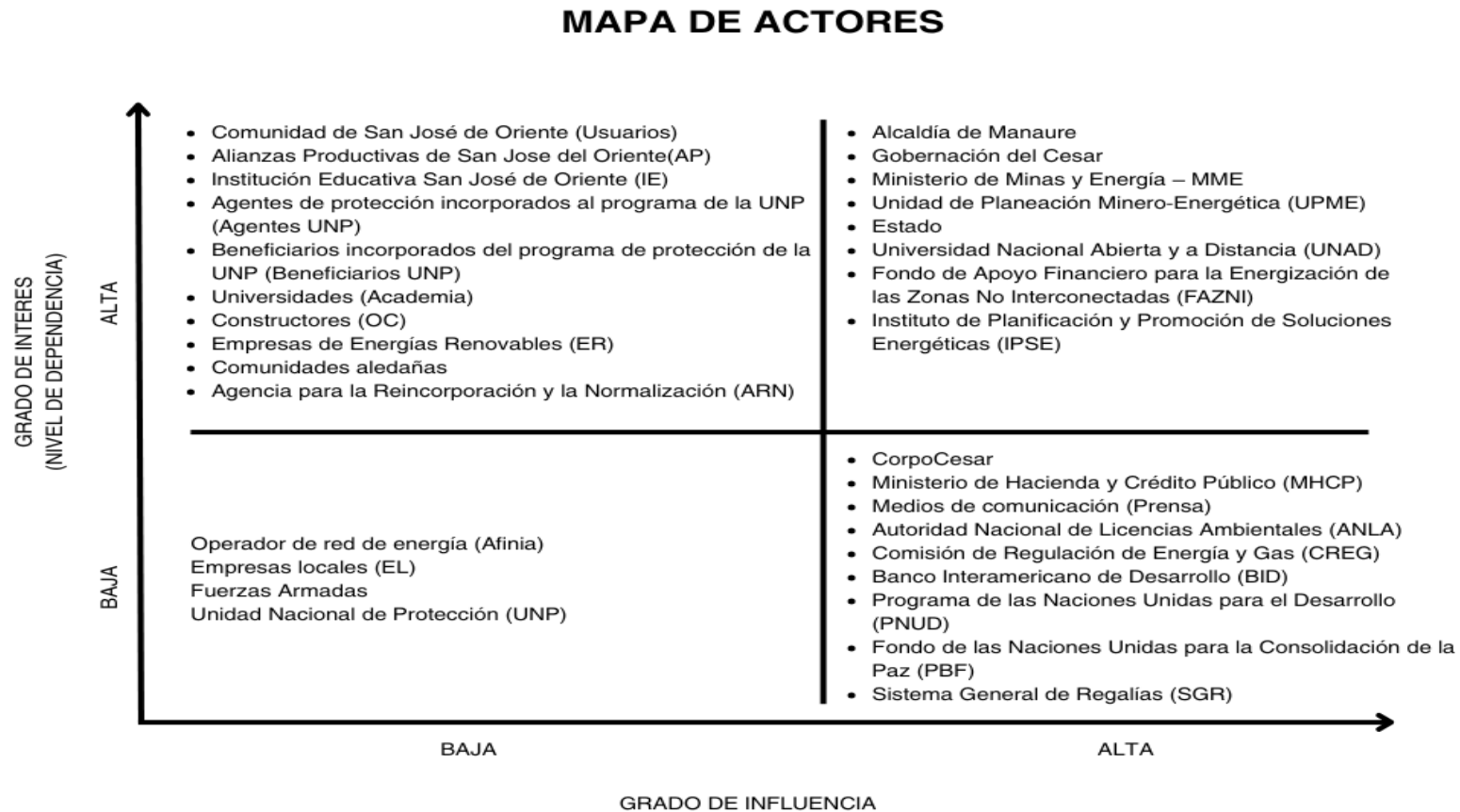
Actor	Clasificación	Categoría	Grado de influencia	Grado de interés
Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)	Instituciones públicas	Secundarios	Alta	Baja
Fuerzas Armadas	Instituciones públicas	Secundarios	Baja	Bajo
Unidad Nacional de Protección (UNP)	Instituciones públicas	Secundarios	Baja	Bajo
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Actores externos	<i>Veto player</i>	Alta	Bajo
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)	Actores externos	<i>Veto player</i>	Alta	Baja
Fondo de las Naciones Unidas para la Consolidación de la Paz (PBF)	Actores externos	<i>Veto player</i>	Alta	Baja
Oficina Sistema General de Regalías (SGR)	Instituciones públicas	<i>Veto player</i>	Alta	Bajo
Agencia para la Reincorporación y la Normalización (ARN)	Instituciones públicas	<i>Veto player</i>	Baja	Alto
Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI)	Instituciones públicas	<i>Veto player</i>	Alta	Alto
Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE)	Instituciones públicas	<i>Veto player</i>	Alta	Alto

Nota. Elaboración propia.

Adicionalmente, y de acuerdo con la información de la Tabla 1, se realiza la matriz de interés-influencia, que se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Matriz de Interés-Influencia



Nota. Elaboración Propia en aplicación *Canva* a partir del análisis del contexto

El análisis de actores evidencia que la viabilidad del proyecto no depende exclusivamente de la solución técnica propuesta, sino de la articulación institucional y del grado de apropiación comunitaria. En este sentido, la comunidad del AETCR se identifica como actor clave tanto en la operación básica del sistema como en su sostenibilidad a largo plazo, mientras que las entidades del sector energético y de reincorporación cumplen un rol determinante en la financiación, regulación y acompañamiento técnico del proyecto.

Este enfoque permite alinear los intereses de los stakeholders con los objetivos del proyecto, reduciendo incertidumbres en la etapa de preinversión y fortaleciendo la toma de decisiones desde la perspectiva de la gerencia de proyectos.

Justificación

Entre 2000 y 2019, los pueblos de América Latina y el Caribe (ALC) registraron mejoras en la continuidad del suministro eléctrico, pero subsisten brechas significativas entre países y regiones (Weiss et al., 2021). La eficacia del servicio de energía está en manos de factores aleatorios, como los patrones climáticos y elementos concernientes con la inversión, el mantenimiento y la gestión del sistema de distribución (Levy, 2020). La falta de suministro de energía eléctrica pública a los hogares en Colombia tiene graves secuelas para la renta del estado, ya que afecta sectores vitales para la evolución y progreso del país (Serna Duque et al., 2016).

En Colombia, los ETCR son espacios que fueron creados con el propósito fundamental de facilitar la integración de los excombatientes de los grupos armados a la vida civil, contribuir a la construcción de la paz y la reconciliación en las regiones afectadas por el conflicto armado y alcanzar el desarrollo de iniciativas económicas sostenibles. El AETCR San José de Oriente hace parte de las Zonas No Interconectadas - ZNI de Colombia al Sistema Interconectado Nacional - SIN, por problemas de viabilidad económica de la infraestructura necesaria. En estas zonas, el acceso a la energía se logra a través de combustibles fósiles con el gran impacto tanto para el medio ambiente como la salud de las personas.

Este hecho, ha afectado la calidad y el bienestar de vida de la comunidad y representa un obstáculo para el avance y desarrollo productivo sostenible de la comunidad de excombatientes de la FARC que ahí reside.

Actualmente, los habitantes de la comunidad experimentan cortes frecuentes de energía eléctrica y tiempos prolongados de interrupción del servicio, ya que las dos plantas eléctricas que existen no son suficientes para la demanda de energía; lo que dificulta la realización de actividades cotidianas y la operación de equipos eléctricos esenciales para el desarrollo de la

comunidad. Además de que la falta de acceso a una fuente de energía confiable limita el acceso a servicios básicos de atención médica, educación y comunicación.

Figura 5

Localización Geográfica del AETCR San José de Oriente



Nota. Tomado de (Agencia para la Reincorporación y la Normalización - ARN, 2022).

Las causas de esta problemática, como ya se indicó, se deben principalmente al aislamiento geográfico, a la falta de inversión y expansión de la infraestructura eléctrica existente en la zona, el conflicto armado, la pobreza, la discriminación, el cambio climático y la presión de los intereses económicos, así también como a la dependencia de fuentes de energía fósiles y no renovables (Amnistía Internacional, 2010).

Las consecuencias de la carencia de un buen servicio de energía eléctrica son numerosas, la falta de acceso a una fuente de energía confiable puede limitar el desarrollo económico y social de la comunidad, disminuir la calidad de vida de sus habitantes y tener un impacto negativo en el medio ambiente. Además, puede afectar la seguridad y la salud de la comunidad, en particular de

aquellos que dependen de equipos eléctricos para su tratamiento médico o para mantener las condiciones de almacenamiento de alimentos y medicamentos.

Por lo tanto, se justifica la necesidad de adelantar un proceso de indagación para abordar esta problemática con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la comunidad en el AETCR San José de Oriente formulando la implementación de un proyecto que permita ampliar la cobertura del servicio de energía eléctrica; sin embargo, es importante señalar que la alternativa de interconexión al Sistema de Distribución Local – SDL, no se encuentra considerada en los planes actuales de desarrollo y expansión de cobertura del Operador AFINIA por su alto costo.

La formulación incluirá una preselección de la solución de acuerdo con la metodología planteada por la UPME en el Plan Indicativo de Expansión de la Cobertura de Energía Eléctrica 2019-2023, el análisis de las condiciones climáticas y geográficas de la zona, la evaluación de la viabilidad técnica y económica de la solución preseleccionada, la identificación de los impactos socio ambientales y la consulta y participación de la comunidad en el proceso. Con este enfoque integral, se puede diseñar e implementar una solución sostenible y efectiva que proporcione un suministro de energía eléctrica confiable y contribuya al desarrollo sostenible del AETCR San José de Oriente.

La factibilidad de la implementación de la solución deberá garantizar el equilibrio entre las tres dimensiones del desarrollo sostenible: inclusión social, desarrollo económico y protección ambiental para la comunidad del AETCR. El acceso universal a la energía eléctrica, contemplado en el Objetivo de Desarrollo Sostenible - ODS 7: “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”, es el eje transversal de desarrollo con el que se articularán el desarrollo de la salud, la educación, las comunicaciones en el AETCR San José de

Oriente. El acceso a la energía entonces es requisito necesario para responder a los compromisos pactados en el acuerdo para una Paz estable y duradera entre el gobierno de Colombia y las FARC.

La implementación de un sistema de energía basado en fuentes renovables en el AETCR San José de Oriente representa una oportunidad para optimizar el consumo energético y garantizar la sostenibilidad del suministro eléctrico. En este sentido, la norma ISO 50001 cobra relevancia, ya que establece una metodología estructurada para optimizar la producción y consumo de energía, y garantizará una mayor eficiencia y reducirá los costos operativos. Integrar los principios de esta norma en el diseño y operación del sistema solar fotovoltaico permitirá maximizar la eficiencia energética, reducir costos asociados al mantenimiento y operación del sistema, y minimizar la dependencia de fuentes fósiles contaminantes. Su aplicación también alineará el proyecto con las políticas nacionales de transición energética y desarrollo sostenible.

La ISO 50001 es una norma internacional que establece los requisitos para implementar un sistema de gestión de la energía (SGE), con el objetivo de mejorar la eficiencia energética en las organizaciones, reducir el consumo energético, y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esta norma proporciona una estructura sólida para la gestión energética, ayudando a que las organizaciones y comunidades cumplan con sus objetivos de eficiencia energética a largo plazo.

La aplicación de la ISO 50001 contribuye a la reducción de las emisiones de CO₂, ayudando a las comunidades a cumplir con los objetivos de sostenibilidad y a mejorar la calidad del medio ambiente local, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 7: “Energía Asequible y No Contaminante”.

Situación sin Proyecto (Línea base)

En ausencia de la intervención propuesta, el Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (AETCR) San José de Oriente continuará dependiendo de un esquema de generación eléctrica limitada e intermitente, basado principalmente en el uso de dos plantas diésel de baja capacidad, las cuales no logran cubrir de manera continua la demanda energética de las 15 viviendas, los equipamientos comunitarios ni las iniciativas productivas existentes.

Esta situación implica altos costos operativos asociados al consumo de combustible, vulnerabilidad frente a la volatilidad del precio del ACPM y frecuentes interrupciones del servicio, lo que restringe el desarrollo de actividades educativas, productivas y comunitarias. Asimismo, el uso permanente de generación diésel genera emisiones significativas de gases de efecto invernadero, contribuyendo a impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud de la población.

Desde el punto de vista social y territorial, la continuidad de esta línea base perpetuaría condiciones de baja calidad de vida, limitada productividad y dependencia energética, afectando los procesos de reincorporación y desarrollo socioeconómico del AETCR. Dado que el territorio se encuentra clasificado como Zona No Interconectada (ZNI) y no está contemplado en los planes de expansión del operador de red en el corto y mediano plazo, la situación descrita tendería a mantenerse en el tiempo si no se implementa una solución alternativa de suministro energético.

En este contexto, la línea base definida constituye el escenario de referencia frente al cual se evalúan los beneficios técnicos, económicos, ambientales y sociales del proyecto de sistema solar fotovoltaico individual off-grid propuesto.

Objetivos

Objetivo General

Realizar un estudio de factibilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico como solución de suministro energético, aplicando herramientas de gestión de proyectos, para mejorar la calidad de vida de la comunidad del AETCR San José de Oriente, con horizonte a 2025.

Objetivos Específicos

Realizar una preselección de alternativas de solución, priorizando energías renovables (específicamente sistemas solares fotovoltaicos), para mejorar la confiabilidad del servicio de energía eléctrica en el AETCR San José de Oriente

Realizar un estudio técnico y de mercado de la alternativa seleccionada, enfocado en tecnologías solares fotovoltaicas, proveedores y costos, así como en la evaluación de la viabilidad y eficiencia del sistema con base en el análisis del consumo actual y proyectado de energía de la población objetivo, con el fin de dimensionar adecuadamente una solución que garantice un suministro energético sostenible para la comunidad de San José de Oriente.

Realizar evaluación financiera mediante el análisis de indicadores financieros claves para determinar la viabilidad económica, la rentabilidad de la inversión y los beneficios a largo plazo para la comunidad, contribuyendo al cumplimiento de Objetivo de Desarrollo Sostenible N°7 y para que los inversores puedan tomar decisiones informadas.

Figura 6

Árbol de Objetivos



Nota. Elaboración propia en Miro a partir del análisis del contexto.

Metodología de la Investigación

A continuación, se plantea el conjunto de pasos que se realizaron para el desarrollo del presente proyecto, estos fueron agrupados en fases o etapas metodológicas de acuerdo con los objetivos específicos previamente listados.

Tabla 2

Actividades de Objetivos Específicos

Objetivos Específicos	Actividad	Metodología para el Desarrollo de la Actividad
Realizar una preselección de alternativas de solución, priorizando energías renovables (específicamente sistemas solares fotovoltaicos), para mejorar la confiabilidad del servicio de energía eléctrica en el AETCR San José de Oriente	Análisis costo/beneficio por usuario servido, de alternativas de solución de la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME para la prestación del servicio: <i>1. Interconexión al Sistema Interconectado Nacional – SIN</i> <i>2. Generación aislada con solución individual solar fotovoltaica</i> <i>3. Soluciones aisladas híbridas con micro-redes/comunidades Energéticas</i> (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2019)	Metodología de estructuración de proyectos de electrificación rural, siguiendo los siguientes pasos: 1. Caracterización del Sitio y Demanda Energética Ubicación geográfica del sitio AETCR y su distancia a la red eléctrica existente. Determinación del número de viviendas sin servicio (VSS) y su distribución espacial. Estimación de la demanda energética actual y proyectada por usuario, considerando usos residenciales, productivos y comunitarios. 2. Definición de Alternativas Técnicas Para cada alternativa, se deben especificar los componentes técnicos y operativos: - <i>Interconexión al SIN</i> : Infraestructura de Media Tensión MT, km de red a construir necesaria para conectar el AETCR al Sistema Interconectado Nacional – SIN - <i>Generación Aislada Individual (Solar Fotovoltaica)</i> : Sistemas individuales para cada vivienda, incluyendo paneles solares, baterías y reguladores. - <i>Micro-redes o Comunidades Energéticas</i> : Sistemas colectivos que integran fuentes de generación renovable, almacenamiento y distribución local. 3. Estimación de Costos para cada Alternativa 4. Estimación de Beneficios

Objetivos Específicos	Actividad	Metodología para el Desarrollo de la Actividad
Realizar un estudio de mercado para la alternativa seleccionada, enfocado en tecnologías solares fotovoltaicas, proveedores y costos,	Para realizar un estudio de mercado para una alternativa de tecnología solar fotovoltaica se deben realizar las siguientes actividades claves: 1. Identificar proveedores de tecnología solar fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> - Beneficios directos: Acceso a electricidad, mejora en calidad de vida, incremento en actividades productivas. - Beneficios indirectos: Reducción de emisiones, mejora en salud pública, educación, seguridad. <p>5. Cálculo del Costo por Usuario Servido (CUS)</p> <p>Para cada alternativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $CUS = (\text{Costo Total Anualizado}) / (\text{Número de Usuarios Servidos})$ <p>Este indicador permite comparar la eficiencia económica de cada opción.</p> <p>6. Análisis Comparativo y Selección de Alternativa Óptima</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comparar el CUS de cada alternativa y seleccionar la opción con menor costo y mayores beneficios. <p><i>Metodología de Evaluación Multicriterio (MEC/MCA)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Costo-beneficio. - Impacto ambiental. - Sostenibilidad técnica, sostenibilidad a largo plazo debe ser un criterio central en la evaluación de alternativas. - Aceptabilidad social, es fundamental la participación de la comunidad en el proceso de selección y diseño de la solución energética. - Se ponderan y comparan con matriz de decisión. <p>Lineamientos de la gestión de proyectos, guía de PMBOK</p>

Objetivos Específicos	Actividad	Metodología para el Desarrollo de la Actividad
conforme a los lineamientos de la gestión de proyectos.	<p>2. Determinar precios de mercado y analizar la disponibilidad de equipos y servicios.</p> <p>3. Cotizar componentes definidos estudio técnico (paneles, inversores, baterías, estructuras, instalación, mantenimiento).</p> <p>4. Identificar y revisar fuentes de información, bases de datos comerciales, cámaras de comercio, plataformas de compras públicas (SECOP), cotizaciones directas.</p> <p>5. Verificar que los productos estén certificados (RETIE; IEC)</p> <p>6. Evaluar volatilidad de precios, tiempos de importación, concentración de proveedores.</p> <p>7. Determinar proveedores más competitivo, realizar matriz comparativa de proveedores, alternativa más viable.</p> <p>8. Realizar Plan de Compras</p>	
Realizar un estudio técnico para evaluar la viabilidad y eficiencia de la	<p>1. Caracterizar la demanda energética actual y proyectada:</p>	<p>Para realizar estas actividades técnicas se puede aplicar la metodología del ciclo de vida de un proyecto siguiendo los lineamientos del PMBOK (Project Management Institute), combinados con enfoques específicos de ingeniería energética y análisis técnico-económico:</p> <p>1. PMBOK (Guía para la Gestión de Proyectos) – Enfoque estructural</p>

Objetivos Específicos	Actividad	Metodología para el Desarrollo de la Actividad
<p>alternativa seleccionada; soportados en el análisis de consumos actual y proyectado de energía de la población objetivo con el fin de calcular el tamaño adecuado del sistema que garantizará un suministro energético sostenible para la comunidad San José de Oriente.</p>	<p>- Levantar información de consumos actuales (si existen generadores u otros sistemas).</p> <p>- Identificar número de usuarios, tipos de uso (residencial, comunitario, productivo).</p> <p>- Aplicar encuestas o entrevistas para determinar necesidades energéticas reales.</p> <p>- Estimar crecimiento poblacional y demanda futura.</p> <p>- Analizar horas pico de consumo.</p> <p>- Revisar la distribución diaria/semanal del consumo</p> <p>- Identificara consumos por tipo de aparato eléctrico (refrigeradores, iluminación, bombas, etc.).</p> <p>2. Análisis del Recurso Solar:</p> <p>- Consultar bases de datos climáticas (IDEAM, NASA, PVGIS, Solargis) para conocer radiación solar promedio (kWh/m²/día) en el AETCR; conocer la temperatura ambiente promedio y trazabilidad de días nublados/lluviosos al año.</p>	<p>Guía para la planificación, ejecución, monitoreo y cierre del estudio técnico dentro del proyecto.</p> <p>- Áreas aplicables:</p> <p>- Gestión del Alcance: define lo que incluye el sistema solar.</p> <p>- Gestión del Tiempo: cronograma de actividades del estudio técnico.</p> <p>- Gestión de los Costos: cálculo de CAPEX, OPEX, LCOE.</p> <p>- Gestión de los Riesgos: analiza incertidumbres climáticas, tecnológicas, etc.</p> <p>- Gestión de la Calidad: verifica cumplimiento de normas (RETIE, NTC 2050).</p> <p>2. Metodología Lógica de Diseño Energético</p> <p>- 1. Recolección de datos de consumo.</p> <p>2. Estimación de carga energética diaria.</p> <p>3. Análisis de recurso solar (base de datos confiables).</p> <p>4. Simulación de producción y rendimiento.</p> <p>5. Evaluación técnico-económica.</p> <p>6. Comparación de alternativas y validación.</p> <p>Herramientas:</p> <p>- Software HOMER Pro, PVSyst, PV*SOL o Excel técnico.</p> <p>- Guías técnicas de UPME y el IPSE para zonas no interconectadas.</p>

Objetivos Específicos	Actividad	Metodología para el Desarrollo de la Actividad
	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar las condiciones locales del AETCR: - Sombras, inclinación de techos, disponibilidad de terreno. - Seguridad y accesibilidad para mantenimiento. 	
	<p>3. Diseño Técnico del Sistema Fotovoltaico Off-grid con almacenamiento:</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> -Calcular la energía diaria total requerida (kWh/día). - Determinar la capacidad de paneles solares (kWp) necesaria. - Dimensionar el sistema de baterías (autonomía en días sin sol). - Seleccionar inversores, controladores, estructuras y cableado. - Simular el sistema para verificar que la producción cubra la demanda con márgenes de seguridad. - Evaluar pérdidas por temperatura, orientación, cableado, etc. 	
	<p>5. Elaborar el Informe Técnico Final</p> <ul style="list-style-type: none"> - Especificaciones del sistema. 	

Objetivos Específicos	Actividad	Metodología para el Desarrollo de la Actividad
<p>Evaluar la viabilidad financiera y administrativo del proyecto, incluyendo estimación de costos iniciales, costos operativos, beneficios a largo plazo del sistema, incentivos gubernamentales y alineación con políticas nacionales de transición energética.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Planos esquemáticos. - Resultados de simulaciones. - Recomendaciones para instalación, mantenimiento y escalabilidad futura. - Anexos: fichas técnicas, cálculos, base de datos <p>Actividades para evaluar la viabilidad financiera</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estimar costos del sistema completo (CAPEX y OPEX): <ul style="list-style-type: none"> - Inversión inicial (CAPEX): paneles, inversores, baterías, instalación, transporte. - Costos operativos y de mantenimiento (OPEX): reemplazos, limpieza, soporte técnico. 2. Proyección de ingresos o ahorros <ul style="list-style-type: none"> - Estimar ahorros por sustitución de combustibles fósiles o reducción de gasto actual en energía. - En proyectos con generación para venta, estimar ingreso por inyección a red (si aplica). 3. Análisis de flujo de caja 	<p>Metodología basada en gestión de proyectos (PMBOK) y análisis financiero clásico.</p>

Objetivos Específicos	Actividad	Metodología para el Desarrollo de la Actividad
	<p>- Realizar proyecciones de flujo de caja a lo largo de la vida útil del proyecto (20-25 años).</p>	
	<p>4. Análisis de sensibilidad</p>	
	<p>6. Identificación de fuentes de financiación</p>	
	<p>- Subvenciones estatales (FAZNI, UPME), cooperación internacional, recursos propios, créditos verdes.</p>	
	<p>Actividades para evaluar la viabilidad administrativa</p>	
	<p>1. Identificar actores responsables para la administración del sistema: JAC, operador, entidad territorial.</p>	
	<p>2. Diseñar un modelo de gestión del Sistema</p>	
	<p>3. Capacitación y fortalecimiento institucional</p>	
	<p>4. Verificar cumplimiento del marco legal colombiano para generación aislada o en comunidades.</p>	
	<p>5. Establecer un plan para asegurar operación, mantenimiento y reposición de equipos.</p>	

Objetivos Específicos	Actividad	Metodología para el Desarrollo de la Actividad
<p>Realizar evaluación financiera mediante el análisis de indicadores financieros claves para determinar la viabilidad económica, la rentabilidad de la inversión y los beneficios a largo plazo para la comunidad, contribuyendo al cumplimiento de Objetivo de Desarrollo Sostenible N°7 y para que los inversores pueden tomar decisiones informadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Calcular indicadores clave: - VAN (Valor Actual Neto) - TIR (Tasa Interna de Retorno) - PRI (Período de Recuperación de la Inversión) - LCOE (Costo Nivelado de Energía) 	<ul style="list-style-type: none"> Excel: para cálculos de VAN, TIR, PRI y flujos de caja - HOMER o PVSyst: para simulaciones técnicas que alimentan el LCOE - Plantillas PMBOK o PMP: para integración con análisis de riesgos y planificación

Nota. Elaboración Propia a partir del análisis del contexto-

Alcance

La presente tesis se enfoca en la formulación de un proyecto de generación de energía solar fotovoltaica para el AETCR San José de Oriente, aplicando principios de gerencia de proyectos y utilizando la Metodología General Ajustada (MGA) como marco de referencia adaptado al contexto académico.

La MGA define qué elementos deben estructurarse en este proyecto de inversión pública (diagnóstico, identificación del problema, análisis de alternativas, evaluación y programación); la Gerencia de Proyectos aporta cómo gestionar estos procesos, mediante herramientas y buenas prácticas reconocidas internacionalmente. En este sentido, se emplean elementos como la gestión del alcance, del cronograma, de los interesados y de los riesgos, con el fin de asegurar una formulación técnicamente consistente y alineada con los lineamientos del Project Management Institute - PMI.

El alcance de se limita a la formulación del proyecto y no contempla su ejecución ni implementación.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, el desarrollo del estudio se estructurará en las siguientes etapas:

Etapas 1. Identificación y Diagnóstico

Esta etapa comprende el levantamiento y análisis de información primaria y secundaria de la comunidad objeto de estudio. Incluye la realización de un censo poblacional mediante la aplicación de encuestas, así como el análisis estadístico de los resultados con el fin de cuantificar las necesidades energéticas actuales y proyectadas. Adicionalmente, se llevará a cabo la recopilación y revisión de información relevante proveniente de diferentes entes territoriales y fuentes institucionales que aporten al contexto social, técnico y normativo del proyecto.

Etapa 2. Estructuración de la Solución

En esta fase se realizará la estructuración del proyecto de electrificación rural mediante un sistema solar fotovoltaico off-grid, aplicando la metodología de estructuración de proyectos hasta la etapa de preinversión. Se definirán los componentes técnicos del sistema, así como los requerimientos ambientales, sociales y normativos, teniendo en cuenta los lineamientos exigidos por los posibles fondos o mecanismos de financiación.

Etapa 3. Viabilidad Económica de la Solución

Esta etapa contempla el análisis de la viabilidad económica del proyecto propuesto. Para ello, se estimará el costo unitario de la energía generada (COP/kWh), considerando los costos de inversión inicial, los costos asociados a la administración, operación y mantenimiento (AOM), y la vida útil del sistema. Asimismo, se evaluarán los beneficios económicos y sociales a largo plazo que la implementación del sistema representaría para la comunidad del AETCR San José de Oriente.

Etapa 4. Estructura Administrativa

Finalmente, se desarrollará un análisis de la estructura administrativa necesaria para garantizar la sostenibilidad y continuidad del sistema solar fotovoltaico a largo plazo. Esta etapa incluye la identificación de roles, responsabilidades, actividades y mecanismos de gestión requeridos, con el fin de fortalecer el desarrollo social y económico de la comunidad y asegurar la adecuada operación del proyecto en el tiempo.

Marco de Referencia

Marco de Antecedentes

Colombia es un país en vía de desarrollo con diferentes falencias en el ámbito energético, entre ellas la existencia de Zonas No interconectadas (ZNI) al Sistema Interconectado Nacional – SIN. La falta del servicio de energía eléctrica constituye una limitación social y económica para comunidades que habitan muchas zonas rurales en el país; con carencia del servicio de energía ocasionada por ubicación geográfica alejada del SIN y a la falta de inversión para planes de expansión de red del Operador de Red del territorio o del Gobierno Departamental.

En la actualidad, la comunidad de San José de Oriente de vereda Tierra Grata, se encuentra ubicada en una ZNI y carece de un buen servicio de energía, lo que les impide mejorar su calidad de vida. Necesidades básicas como refrigerar sus alimentos perecederos no pueden ser cubiertas por lo que la población incurre en altos gastos de transporte por movilización a centros de abastos en corregimientos lejanos; tampoco acceden a diferentes herramientas que pueden ayudar a su desarrollo intelectual (las limitadas horas de estudio han generado una baja escolaridad en niños y jóvenes) y a su desarrollo económico. Las necesidades energéticas de la comunidad no son cubiertas por la insuficiente capacidad actual instalada de generación eléctrica (dos plantas eléctricas diésel suministradas por el Gobierno en el acuerdo de paz con la FARC) que no abastecen la demanda de energía de la comunidad.

Ahora bien, en las ZNI la prestación del servicio se hace principalmente mediante plantas de generación diésel o mediante paneles solares. En la generación de electricidad por combustión del combustible fósil se liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera, contribuyendo con ello al cambio climático, por lo que se hace necesario entonces que la comunidad acceda a energía eléctrica a través de la alternativa tecnológica de instalación de paneles solares para el consumo

de energía limpias, utilizar un sistema que cubra su demanda, acceder a una fuente inagotable de potencia (el sol), larga vida útil de los equipos (20 años), para el suministro de fluido eléctrico a esta población, y con ello dar más oportunidades para el desarrollo social, económico, ambiental y así promover la prosperidad general y la calidad de vida de la comunidad de San José de Oriente.

Es relevante que el gobierno nacional y/o departamental incluya dentro de sus planes de desarrollo la implementación de proyectos sostenibles para esta comunidad, buscando mejorar la calidad de vida y el desarrollo de esta población, en proceso de reintegración a la sociedad civil.

Es de suma importancia entonces que, esta comunidad cuente con energía eléctrica, ya que su ausencia, aumenta las brechas de desigualdad y pobreza; la Ley 1715 de 2014 definió las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) como aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles. Además, teniendo esto en cuenta los impactos positivos que trae al medio ambiente los SSFV, y su implementación en ZNI donde no se cuenta con redes eléctricas, se vuelve entonces la solución óptima para resolver la necesidad. Se suma a esto la visión de la próxima transición energética, la combinación de fuentes convencionales y fuentes renovables en el SIN, ya que, debido a la crisis ambiental del cambio climático y el deterioro de los recursos naturales, es innegable la necesidad de realizar un cambio en la matriz energética.

En la última década muchos países han transformado la composición de su matriz energética efectuando la migración, integrando al sistema energías renovables no convencionales; la preocupación por la dependencia de combustibles fósiles y el fenómeno del calentamiento global han sido los principales impulsores de esta transformación (Huang et al., 2018). Colombia no ha sido ajena a esta realidad, y en la actualidad, el gobierno nacional, por medio del Ministerio de Minas y Energía y de la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), está desarrollando un

marco regulatorio que incentive el desarrollo de fuentes de energía alternativa no convencionales (Gallego et al., 2017) (Restrepo et al., 2016).

La decisión de la transformación de la matriz energética beneficiará también a las ZNI, ya que por medio del uso de sistema de energías renovables podrán acceder a la energía eléctrica y anular con ello su pobreza energética. Dentro de las tecnologías de generación, soportadas en fuentes renovables no convencionales sobresalen la eólica y la solar fotovoltaica; esta última muestra ventajas frente a otro tipo de tecnologías por su fácil instalación y por sus costos, producto de recientes desarrollos tecnológicos. Por lo tanto, se pretende realizar un estudio de factibilidad para la implementación de un Sistema Solar Fotovoltaico para la comunidad de San José de Oriente en Tierra Grata para anular la pobreza energética existente en esa comunidad.

Marco Teórico

Las Zonas No Interconectadas (ZNI) de Colombia, como el Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (AETCR) San José de Oriente, presentan significativos desafíos en el acceso a la energía eléctrica. De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía, las ZNI corresponden a comunidades ubicadas fuera del Sistema Interconectado Nacional (SIN), lo que limita el acceso a un suministro energético continuo, confiable y de calidad. En estos territorios, la generación eléctrica se caracteriza por ser costosa, ineficiente e intermitente.

Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2019), cerca de 500.000 hogares en Colombia no se encuentran conectados al SIN, situación que afecta directamente el desarrollo de actividades básicas como la educación, la salud, la iluminación, el acceso a tecnologías de la información y el impulso de actividades productivas. En estas zonas, la dependencia de generadores diésel implica altos costos operativos, cercanos a los 1.200 COP/kWh, además de impactos ambientales considerables derivados de emisiones aproximadas de 2,7 kg de

CO₂ por litro de diésel y una alta vulnerabilidad frente a la fluctuación de los precios del combustible (UPME, 2022a).

Frente a este panorama, las energías renovables han adquirido un papel estratégico en la transición hacia sistemas energéticos sostenibles y en la mitigación del cambio climático. De acuerdo con la International Energy Agency (IEA, 2020), estas fuentes contribuyen de manera decisiva a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En particular, la energía solar constituye una alternativa alineada con los compromisos establecidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, destacándose el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS 7), orientado a garantizar el acceso a una energía asequible, segura y no contaminante.

Colombia cuenta con condiciones geográficas privilegiadas para el aprovechamiento de la energía solar, debido a su cercanía a la línea ecuatorial, lo que le permite recibir niveles constantes y elevados de radiación solar durante todo el año. Según el IDEAM (2022), la radiación solar promedio diaria en departamentos como La Guajira y Cesar se encuentra entre 4,5 y 6 kWh/m², lo cual posiciona al país como un territorio con alto potencial para la implementación de proyectos solares fotovoltaicos.

La energía solar fotovoltaica se obtiene mediante paneles que convierten directamente la radiación solar en electricidad por medio del efecto fotovoltaico. Estos sistemas representan una solución especialmente adecuada para zonas rurales y no interconectadas debido a su autonomía, sostenibilidad ambiental y bajos costos operativos. Además, contribuyen a la reducción del consumo de combustibles fósiles y a la disminución de emisiones de CO₂ equivalente por cada MWh generado (UPME, 2022a).

En contextos como los AETCR, la implementación de sistemas solares fotovoltaicos no solo responde a la necesidad de contar con energía limpia y confiable, sino que también promueve

la autonomía energética, el desarrollo sostenible y la mejora en la calidad de vida de las comunidades. En particular, los sistemas solares fotovoltaicos off-grid se presentan como una alternativa idónea, al operar de manera independiente de la red eléctrica nacional y garantizar un suministro continuo mediante la generación y el almacenamiento de energía.

No obstante, la formulación de este tipo de proyectos en entornos socialmente sensibles y técnicamente complejos requiere de un enfoque metodológico estructurado. En este sentido, la Gerencia de Proyectos se constituye en una disciplina clave, al proporcionar un conjunto de conocimientos, herramientas y técnicas orientadas a la planificación, organización, dirección y control de proyectos, con el fin de alcanzar los objetivos propuestos dentro de restricciones de alcance, tiempo, costo y calidad.

De acuerdo con el Project Management Institute (PMI), la Gerencia de Proyectos se fundamenta en buenas prácticas agrupadas en áreas de conocimiento como la gestión del alcance, del cronograma, de los costos, de los riesgos y de los interesados. Estas áreas permiten gestionar de manera integral los proyectos, facilitando la toma de decisiones informadas y la articulación de los componentes técnicos, sociales, ambientales y económicos.

En el contexto colombiano, la Gerencia de Proyectos complementa metodologías de formulación de inversión pública como la Metodología General Ajustada (MGA), la cual establece los elementos que deben estructurarse en un proyecto, tales como el diagnóstico, la identificación del problema, el análisis de alternativas, la evaluación y la programación. La Gerencia de Proyectos aporta el enfoque del “cómo gestionar” estos procesos, asegurando que la información requerida se formule de manera ordenada, coherente y alineada con buenas prácticas internacionales.

Esta articulación resulta especialmente relevante para proyectos de energía solar fotovoltaica en ZNI, ya que permite estructurar soluciones energéticas técnicamente viables, económicamente sostenibles y socialmente pertinentes. En consecuencia, la formulación de un proyecto solar fotovoltaico para el AETCR San José de Oriente, apoyada en principios de gerencia de proyectos, se presenta como una estrategia integral que responde al déficit energético, se alinea con el marco normativo nacional como la Ley 1715 de 2014 y los decretos asociados y contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente los ODS 7, 8 y 13.

Marco Conceptual

Esta investigación tiene como propósito la Formulación de una solución Solar Fotovoltaico off-grid en el Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (AETCR) San José de Oriente en la vereda Tierra Grata ubicado en el municipio Manaure, Cesar, como alternativa óptima para subsanar la carencia del servicio de energía eléctrica de esa comunidad. El servicio de energía eléctrica con el que cuenta la comunidad es el suministrado por dos plantas eléctricas que no cubren la demanda energética de la población. El AETCR San José de Oriente está ubicado en Tierra Grata, Zonas No Interconectadas (ZNI) del Sistema Interconectado Nacional (SIN), lo que afecta su calidad de vida al vivir en un entorno limitado al acceso de energía eléctrica, necesaria para el desarrollo y el bienestar de la comunidad.

La ISO 50001 es una norma internacional que proporciona un marco para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía (SGEn). Su enfoque se basa en el ciclo de mejora continua Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), lo que permite a las organizaciones identificar oportunidades de ahorro energético, optimizar su consumo y reducir costos operativos. Aplicada a proyectos de electrificación rural con energías renovables, esta norma facilita el diseño de soluciones que prioricen la eficiencia energética y la sostenibilidad. En

el caso del AETCR San José de Oriente, el enfoque de la ISO 50001 permitirá definir estrategias de uso eficiente de la energía solar, establecer indicadores clave de desempeño energético y garantizar que la comunidad adopte mejores prácticas en el consumo energético a largo plazo.

Mercado Eléctrico Colombiano

En Colombia en la década de los 80 el sector eléctrico entró en crisis; el deterioro en su desempeño se debió, especialmente, al subsidio de tarifas y a la politización de las empresas estatales (Botero Botero & Cano Cano, 2008). Con el fin de garantizar la eficiencia y confiabilidad en la prestación del servicio, el gobierno se vio en la necesidad de reestructurar el sector basándose en la experiencia de países pioneros como el Reino Unido (García Rendón et al., 2011). Se estructuraron entonces las leyes que regulan el servicio eléctrico en Colombia:

La Ley 142 (Ley de servicios públicos domiciliarios), pretende garantizar la eficiencia y calidad en la prestación de los servicios, mediante la regulación de los monopolios existentes y la promoción de la competencia (Congreso de Colombia, 1994a) (Sandoval, 2004). Además, busca una mayor participación del sector privado y la ampliación en la cobertura de la prestación de los servicios, donde el Estado garantice la prestación del servicio mediante la planeación, regulación y control (García Rendón et al., 2011) (Muñoz-Arias et al., 2021).

La Ley 143 (Ley eléctrica), establece los criterios por medio de los cuales se rige la prestación del servicio de electricidad y por tanto el funcionamiento del sector, y crea algunos entes encargados de la dirección, planeación, regulación y supervisión de cada una de las actividades que conforman el eslabón de la cadena productiva (Congreso de Colombia, 1994b) (Gil Vera, 2016).

Servicio Público de Energía Eléctrica

De acuerdo con la ley 142 de 1994 – Decreto 348 de 2017 (Ley de servicios públicos domiciliarios) La prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica y sus actividades complementarias constituyen servicios públicos esenciales y el Estado intervendrá en los mismos a fin de, entre otros, garantizar la calidad del bien y su prestación continua, ininterrumpida y eficiente (Congreso de Colombia, 1994a).

Ahora bien, en el escenario de la población estudio AETCR San José de Oriente no se encuentra conectada al Sistema Interconectado Nacional, SIN, y por consiguiente esta comunidad no tiene acceso al servicio público esencial de la energía eléctrica. Servicio que brinda suministro de energía eléctrica a hogares, organizaciones y/o empresas en una zona por empresas de servicios públicos, quienes la generan, transmiten en el territorio nacional, comercializan y distribuyen hasta los puntos de consumo. Los usuarios corresponden a este servicio pagando la cantidad de energía que se consume (kWh) por el precio o costo unitario de ese kWh, tarifa de energía regulada por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG).

Sistema Interconectado Nacional (SIN)

Sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución y las cargas eléctricas de los usuarios, según lo previsto por el artículo 11 de la Ley 143 de 1994 (Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG, 1999).

El SIN, es entonces el conjunto de infraestructura que permite que la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica alcance una determinada zona dentro del territorio nacional de forma confiable y eficiente a través de una infraestructura eléctrica de transmisión y distribución interconectadas. El funcionamiento de este sistema está regulado por entidades de gobierno y las empresas de servicios públicos encargadas del sector eléctrico de cada país.

Cobertura del Servicio de Energía Eléctrica en Tierra Grata, Cesar

El AETCR San José de Oriente ubicado en Tierra Grata de Manaure, Cesar – Colombia no está conectada al SIN lo que limita su acceso al servicio público esencial de energía eléctrica. Actualmente no puede ser conectada a la red o al Sistema Interconectado Nacional por problemas actuales de viabilidad económica que permitan desarrollar la infraestructura necesaria para lograr su integración al sistema. En el departamento del Cesar la empresa comercializadora de energía eléctrica Afinia es la encargada de ejecutar proyectos de expansión y desarrollo en la infraestructura eléctrica de la zona. Esta compañía a la fecha no ha efectuado intervenciones para conectar la vereda Tierra Grata al Sistema de Distribución Local, SDL, definiendo con esto a la vereda Tierra Grata de Manaure, Cesar como una Zona No Interconectada, ZNI.

Zonas No Interconectadas

Según el Gobierno Nacional aquellas áreas a las que, por encontrarse lejos de las principales zonas o asentamientos urbanos principales o presentan dificultades topográficas o geográficas de acceso y que están fuera del Sistema Interconectado Nacional (SIN) se les denomina Zonas No Interconectadas, ZNI.

La mitad del territorio colombiano no está conectado a la red eléctrica; esto significa que casi 2 millones de personas viven sin o con acceso limitado a la electricidad (Superintendencia Delegada para Energía y Gas Combustible, 2017).

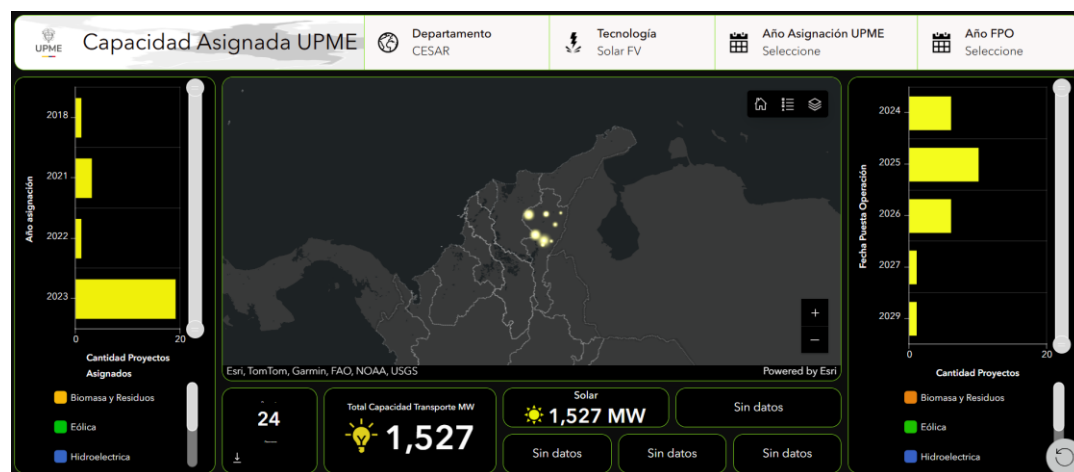
Actualmente, el servicio en las ZNI se genera por medio de plantas diésel (90%) y unas cuantas pequeñas centrales hidroeléctricas; esto implica costos de transporte del combustible, volatilidad del precio del petróleo, prestación parcial del servicio de energía y contaminación por combustibles de origen fósil (Muñoz-Arias et al., 2021).

La vereda Tierra Grata en Manaure, Cesar como se señaló hace parte de las ZNI, no cuenta actualmente con redes de distribución de energía eléctrica del Operador de Red Afinia y por consiguiente tiene acceso limitado a energía eléctrica de calidad; energía necesaria para el desarrollo de actividades y bienestar de la población. Su lejanía del SIN y el alto costo para realizar la integración a ese sistema, hace necesario que la generación de energía se dé directamente en esa zona, soportada en fuentes no convencionales de energía renovables, FNCER, como es el caso de la energía solar.

Colombia cuenta con importantes recursos renovables (solar y eólico) y la zona del Cesar, en particular, tiene un potencial de energía solar muy importante. El Cesar actualmente tiene proyectos aprobados con una capacidad de 1527 MW por la UPME, exclusivamente en energía solar fotovoltaica, lo que demuestra buenos niveles de radiación solar que podrían aprovecharse para electrificar poblaciones locales aisladas (Salas Reyes et al., 2018)

Figura 7

Geovisores. Mapa capacidad asignada UPME – Energía Solar Fotovoltaica



Nota. Tomado de (UPME, 2024).

La energía eléctrica es un servicio por medio del cual se genera desarrollo y bienestar a una población. La ausencia de esta condiciona y limita el desarrollo de una población, hecho asociado a la denominada Pobreza energética. El Foro Económico Mundial la define como la falta de acceso a servicios y productos energéticos modernos sostenibles. Las FNCER son el camino para suplir el servicio de energía eléctrica en las ZNI porque pueden operar de forma aislada al SIN y satisfacer las necesidades de las diferentes localidades, además, garantizan la calidad del servicio. Este proyecto hace énfasis en la implementación de un Sistema Solar Fotovoltaico en la vereda Los Tierra Grata para generación de energía eléctrica aislada del SIN.

Energías Renovables

Energías renovables son las energías obtenidas de fuentes naturales y son virtualmente inagotables, porque se renuevan (Roldan Vilorio, 2013b).

Las energías que una vez consumidas, se pueden volver a consumir porque se reponen, no se agotan. Ejemplos de estas energías son: la luz y el calor que llega del sol, el viento, el agua en un río, la fuerza del mar, la energía mareomotriz, la masa arbórea (biomasa). (Roldan Vilorio, 2013b).

El Sol

El sol es una inmensa fuente de energía inagotable con un diámetro de 1,39-10 metros (m) situado a una distancia media de 1,5-10 m respecto de la tierra. Se trata de una estrella que ilumina y calienta la tierra, se comporta como un reactor nuclear de fusión. Tiene una temperatura media de 5500°C, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Dicha energía se distribuye como electromagnética se le denomina solar (Pareja Aparicio, 2010).

Del sol obtenemos dos energías básicas para la vida en el planeta Tierra, que son el calor y la luz, ambas energías son imprescindibles para la vida de las plantas, los animales y la humanidad. Ambas energías permiten su aprovechamiento para calentar agua mediante paneles térmicos y paneles fotovoltaicos para generar electricidad. Las energías que proceden del sol son las que producen los fenómenos atmosféricos del viento (energía eólica) y el ciclo del agua (energía hidráulica) y la fotosíntesis en las plantas y las mareas y olas en los mares. (Roldan Vilorio, 2013).

El sol es una de las principales y más grandes fuentes de energía que nos ofrece el planeta de forma renovable y natural, la cual nos permite poder usarla para la solución de problemas energéticos en aquellas partes donde no llegue el fluido de energía convencional o por red.

Radiación Solar

Se refiere a la energía que nos llega del sol como la radiación solar, que consiste en la radiación directa y radiación confusa; la radiación directa para la generación de electricidad viene del sol y tiene un mejor rendimiento en los lugares donde la concentración de radiación de luz emitida por el sol presenta condiciones de mayor constancia, sin dejar de lado su magnitud; las zonas costeras y pertenecientes a los trópicos presentan las condiciones ideales de implementación de este recurso. La radiación difusa llega después de estar reflejada por nubes, esmog, o polvo (Style, 2012).

Las radiaciones directa y difusa que llegan a la tierra pueden generar a través de la tecnología solar fotovoltaica, la energía eléctrica necesaria para poder reemplazar en buena parte otras fuentes no renovables (Salas Reyes et al., 2018).

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación

electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2022).

Para el caso de Colombia, las fuentes disponibles de información de recurso solar indican que el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 kW h/m² /d, la cual supera el promedio mundial de 3,9 kW h/m² /d. De acuerdo con el “Atlas de radiación solar” de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), regiones particulares del país presentan niveles de radiación por encima del promedio nacional (Muñoz-Arias et al., 2021).

Esta fuente de energía que se produce del sol y que se propaga en muchas direcciones es importante para la producción de la energía eléctrica por medio de sistemas de generación solar que tengan esa fuente de alimentación para su funcionamiento y también para los proyectos o empresas de calentamiento de agua, deshidratación de alimentos entre otras como también es importante medirla para los efectos nocivos que esta representa para la piel.

Energía Solar

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina (Fonroche Renewable Energies, 2015).

Sistemas Solares Fotovoltaicos – SSFV

Según su funcionamiento con relación a una red eléctrica convencional existen dos tipos fundamentales de Sistemas Fotovoltaicos: de una parte, están los denominados sistemas fotovoltaicos conectados (o enganchados) a red (SFCR), que, como se puede deducir por su nombre, necesitan de la conexión a una red eléctrica para realizar su función generadora de

electricidad. Por otra parte, están los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA) que, al contrario de los anteriores, no necesitan de una conexión con una red eléctrica, y su funcionamiento es independiente o autónomo de dicha red (de ahí su nombre). Los SFA fueron anteriores en el tiempo a los SFCR, y, aunque si bien estos últimos están consiguiendo un crecimiento muy importante, sobre todo en los países que cuentan con un amplio desarrollo de redes eléctricas en todo su territorio, los SFA siguen siendo los más empleados en países con poco desarrollo industrial, en zonas rurales, lugares remotos y poco accesibles, etc. (Aguilera et al., s. f.).

Un sistema fotovoltaico autónomo o aislado (SFA) convierte la energía proveniente del sol en energía eléctrica, almacenando en una batería para su consumo posterior. Es un sistema que no requiere de una conexión de red eléctrica, trabajando de forma autónoma para proveer energía a los equipos. Son sistemas que se adaptan bien a lugares remotos sin conexión a la red, donde hay un bajo consumo de energía y un buen recurso solar (Style, 2012).

En su forma más básica, un sistema fotovoltaico autónomo consiste en:

Módulo fotovoltaico que convierte la radiación solar (energía de los fotones) en energía eléctrica. Los módulos están contruidos en semiconductores de silicio monocristalino y policristalino, la potencia nominal que puede generar es el Watio Pico (Wp), potencia máxima que puede generar el módulo, a 25°C de temperatura y con una irradiancia de 1kW/m².

Baterías o Banco de Baterías: elementos necesarios para almacenar la energía producidos por los módulos fotovoltaicos en horas día, para ser utilizada en horas de la noche

Regulador de Carga: dispositivo que controla la energía producida por el módulo, la carga de la batería, y la energía consumida en los equipos.

Carga: los equipos consumidores que el sistema deba satisfacer: lámparas, radios, computadoras, televisores, etc., demanda energética o destino final de la energía producida por el

sistema. A esto, añadimos los conductores (que transportan la energía entre los distintos componentes del sistema), los elementos de protección y los interruptores (Style, 2012).

Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico

Existen una gran cantidad de métodos para dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo. Analizando muchos de ellos se han extraído diferentes conclusiones y, se ha observado que, prácticamente todos ellos siguen un esquema muy similar, que presentamos a continuación. Muchas veces la única diferencia entre unos y otros son el empleo de diferentes expresiones a la hora de calcular principalmente el tamaño del generador y del sistema de acumulación, además de lo que podría denominarse la filosofía de dimensionado. Se presentan a continuación los pasos que se han de seguir en el dimensionado de un sistema fotovoltaico autónomo (Aguilera et al., s/f).

Paso 1. Estimación del consumo.

Paso 2. Dimensionado del generador fotovoltaico.

Paso 3. Dimensionado del sistema de acumulación.

Paso 4. Dimensionado del regulador.

Paso 5. Dimensionado del inversor.

Paso 6. Dimensionado del cableado.

A continuación, se presentan los criterios de diseño contemplados para el dimensionamiento adecuado de un sistema solar fotovoltaico:

Demanda Energética

La demanda para cubrir por el sistema solar fotovoltaico será determinada a partir de la caracterización de los aparatos eléctricos componentes de la red.

Potencia total, esta resulta de la multiplicación de la potencia promedio y la cantidad de las mismas luminarias. Horas de uso diario, este valor corresponde al intervalo de tiempo al cual se presta el servicio de energía.

Consumo diario, corresponde a la multiplicación de la potencia total por el número total de horas en las que trabajan las cargas (Caicedo Vargas, 2020).

El tamaño del sistema fotovoltaico se calcula mediante la siguiente fórmula:

Figura 8

Tamaño del Sistema Fotovoltaico

$$P = \frac{\alpha C}{\eta I} \quad ($$

dónde:

- P (kWp) es la potencia de salida del sistema fotovoltaico;
- C (kWh) es el consumo eléctrico anual de la comunidad;
- I (h) es la cantidad anual de horas pico de sol (PSH);
- η (%) es la eficiencia del sistema;
- α es un factor de sobredimensionamiento propuesto en este trabajo para evitar el uso del generador diesel en días con poca irradiación solar .

Nota. Formulas que se usan.

La dimensión de este sistema permite establecer las características necesarias para los elementos a utilizar de acuerdo con la capacidad y necesidad de la comunidad de san José de Oriente por lo que es un paso muy importante ya de aquí depende que se le suministre la energía adecuada a la población y pueda suplir sus necesidades siguiendo los pasos para el dimensionamiento del sistema.

Limitaciones de Autogeneración

La Resolución UPME 281 de 2015 definió un (1) MW como límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala, que corresponde a la capacidad instalada del sistema de generación del autogenerador (Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME, 2015).

Beneficios Ambientales y Económicos

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son una buena fuente de energía renovable y no contaminante por lo que representa una alternativa amigable para el medio ambiente gracias a que no genera ningún gas de efecto invernadero y no deja huella de carbono al medio lo que la hace una opción preferencial.

Los efectos de la energía solar fotovoltaica sobre los principales factores ambientales son los siguientes:

Clima. La generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el efecto invernadero (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2018).

Geología. Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2018).

Medio Social. El suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2018).

Suelo. Al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características físico-químicas del suelo o su erosionabilidad es nula (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2018).

Aguas superficiales y subterráneas. No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2018).

Flora y Fauna. La repercusión sobre la vegetación es nula, y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2018).

Paisaje. Los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2018).

Ruidos. El sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2018).

Como indica la revista *Administración y desarrollo* en su publicación vol. 52 de 2022 titulada *Beneficios económicos de la energía renovable en Colombia*:

Un estudio del potencial de creación de trabajos en la industria global de energía solar descubrió que a corto plazo cada nuevo megavatio de capacidad de energía fotovoltaica creará 20 empleos de manufactura, 30 de instalación y uno de mantenimiento. Suponiendo una vida de 25 años para las plantas de energía fotovoltaica, esto tendría como resultado 0,8 empleos de manufactura y 1,2 empleos de instalación al año por Megavatio de capacidad instalada. Por

añadidura, muchos de los empleos iniciales de energía renovable ocurren en instalación, operación y mantenimiento (Dolezal et al., 2013).

Los beneficios económicos y ambientales que posee este sistema de energía renovable son positivos porque nos permiten generar empleos, la inversión es a largo plazo y son amigables con el medio ambiente en comparación con los sistemas tradicionales. La generación fotovoltaica exhibe ventajas frente a otro tipo de tecnologías debido especialmente a su fácil instalación y a la notable reducción de sus costos debido a recientes desarrollos tecnológicos y representa una buena alternativa para la población de San José de oriente como medida para el acceso al servicio de energía eléctrica, bien establecida en el marco de los derechos humanos básicos (Branker et al., 2011).

Colombia no ha sido ajena a esta realidad, y en la actualidad, el gobierno nacional, por medio del Ministerio de Minas y Energía y de la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), está desarrollando un marco regulatorio que incentive el desarrollo de fuentes de energía alternativa no convencionales, ya que conoce que la red eléctrica en el país se está expandiendo pero las áreas extremadamente aisladas, ZNI, no se beneficiarán de esta expansión en el corto plazo, lo que destaca la importancia de implementar políticas a corto plazo (Gallego et al., 2017) (Restrepo et al., 2016).

Metodología General Ajustada - MGA.

La Metodología General Ajustada (MGA) es el instrumento oficial adoptado por el Estado colombiano para la formulación, evaluación y seguimiento de proyectos de inversión pública. Su propósito es orientar de manera estandarizada la estructuración de los proyectos, garantizando coherencia técnica, económica, social y ambiental en el uso de los recursos públicos.

La MGA establece qué elementos deben desarrollarse en un proyecto, tales como el diagnóstico de la situación actual, la identificación y análisis del problema, la definición de alternativas, la evaluación de costos y beneficios, y la programación de actividades. Esta metodología permite evaluar la viabilidad de los proyectos y facilitar la toma de decisiones por parte de las entidades públicas, asegurando su alineación con los planes de desarrollo y las políticas públicas vigentes.

En el contexto de la inversión pública y el desarrollo territorial, la MGA se constituye en una herramienta fundamental para estructurar soluciones que respondan a necesidades reales de la población, especialmente en zonas rurales y no interconectadas, como los AETCR.

Institute Project Management - PMI.

El Project Management Institute (PMI) es una organización internacional sin ánimo de lucro, reconocida a nivel mundial como la principal entidad promotora de estándares, buenas prácticas y certificaciones en gerencia de proyectos. Su objetivo es fortalecer la disciplina de la gestión de proyectos mediante el desarrollo de conocimientos, metodologías y marcos de referencia aplicables a distintos sectores.

El PMI define la gerencia de proyectos como la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto para cumplir con los requisitos establecidos. Sus lineamientos se encuentran compilados en el Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), el cual organiza las buenas prácticas en áreas de conocimiento como la gestión del alcance, del cronograma, de los costos, de los riesgos y de los interesados.

En el ámbito académico y profesional, el enfoque del PMI aporta el cómo gestionar eficazmente un proyecto, complementando metodologías de formulación como la MGA, y

permitiendo que los proyectos se desarrollen de manera estructurada, controlada y orientada al logro de resultados.

Marco Demográfico

Población Total

Manaure, ubicado dentro del departamento del Cesar en Colombia, figura entre los 15 municipios que componen esta región. Según las estimaciones del DANE, en el año 2024, Manaure alberga una población de 51.188 habitantes, lo que equivale al 4,8% de la población total del departamento del Cesar para ese mismo año.

Distribución por Edad y Género.

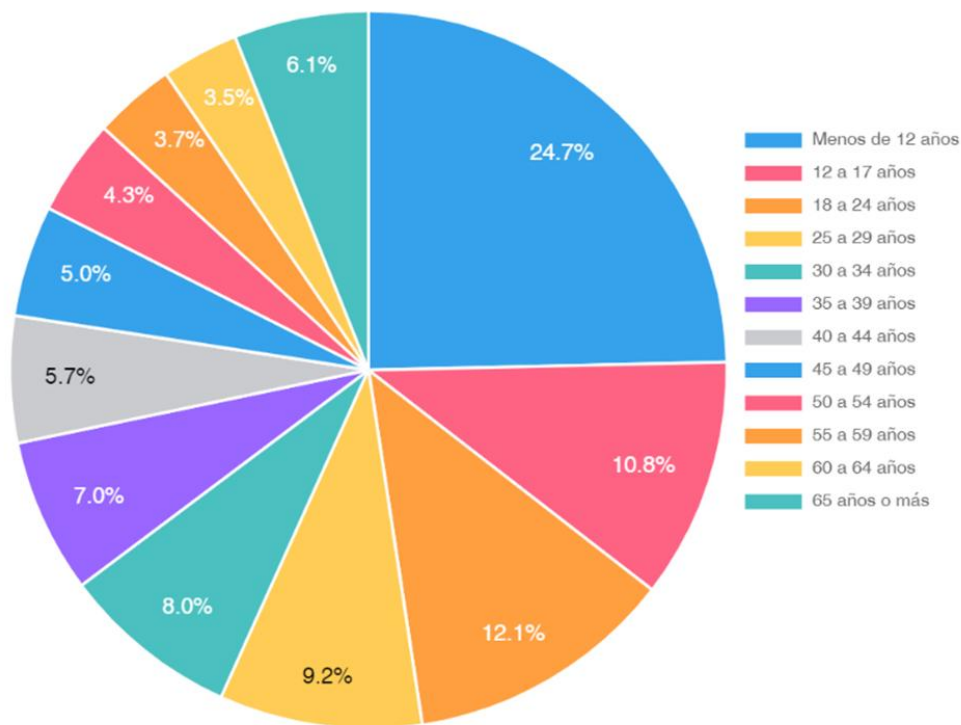
Se encuentra distribuido en 25,936 mujeres (50.7%) y 25,252 hombres (49.3%)

Tabla 3

Distribución por Edad y Genero Manaure

Edades	Mujeres	Hombres	Total
Menos de 12 años	6097	6521	12618
12 a 17 años	2659	2884	5543
18 a 24 años	3124	3078	6202
25 a 29 años	2402	2288	4690
30 a 34 años	2094	2005	4099
35 a 39 años	1827	1739	3566
40 a 44 años	1521	1397	2918
45 a 49 años	1364	1201	2565
50 a 54 años	1188	1032	2220
55 a 59 años	1010	868	1878
60 a 64 años	965	815	1780
65 años o más	1685	1424	3109
Total	25936	25252	51188

Nota. Representa la distribución por edad y genero Manaure. Fuente: (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2021).

Figura 9*Población de Manaure por edad en 2024*

Nota. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2021).

Según lo establecido por el Código de la Infancia y la Adolescencia en Colombia, se considera que las niñas y los niños son aquellos individuos menores de 12 años. En el año 2024, en Manaure, se registraron 12.618 menores de esta franja etaria, distribuidos en 6.097 niñas (48,3%) y 6.521 niños (51,7%). Estos menores de 12 años constituyen el 24,7% de la población total de Manaure para dicho año.

Según lo dispuesto en el Código de la Infancia y la Adolescencia en Colombia, se define como adolescentes a aquellos individuos que tienen entre 12 y 17 años. En el año 2024, en Manaure, se contabilizan 5.543 adolescentes, divididos en 2.659 mujeres (48,0%) y 2.884 hombres

(52,0%). Estos adolescentes conforman el 10.8% de la población total de Manaure para ese mismo año.

Tendencias Demográficas Dentro del AETC

Según el registro poblacional efectuado en el AETCR hasta el 15 de noviembre de 2017, la comunidad estaba compuesta por 250 individuos mayores de edad y 10 menores. Este asentamiento lleva el nombre de 'San José de Oriente', en honor al líder del Frente 59, designación que fue adoptada por los aproximadamente 250 combatientes de los frentes 19, 41 y 59 de las Farc que residen en esta localidad.

Para el año 2019, Tierra Grata se encontraba en una situación de hacinamiento que resultaba en una vulneración de los derechos humanos fundamentales. La población sobrepasaba las 300 personas. Este aumento en la población, entre 2017 y 2019, se debió a la llegada de individuos que trajeron consigo hijos que habían sido criados fuera del entorno montañoso, así como familiares como hermanos y primos, muchos de los cuales también tenían sus propios hijos. Esto explica la presencia de un grupo poblacional de entre 10 y 18 años que no compartieron la crianza con los excombatientes, pero que tienen vínculos familiares con ellos.

De acuerdo con un reporte de la Oficina del Alto Comisionado para la Paz de 2018, se logró alcanzar un progreso del 100% en la infraestructura de Tierra Grata. Esto denota que, en dicho período, el Gobierno había finalizado la construcción y provisión completa de las áreas comunes, viviendas y servicios en la región. El informe también indica que el área construida ocupada comprende 8,228 metros cuadrados.

El enfoque de estudio recae en la población del AETCR San José de Oriente, la cual exhibe una diversidad de grupos etarios y características distintivas.

Marco Legal

La tecnología adoptada para la generación de electricidad en cada país está influenciada por muchas razones, por ejemplo, la geografía, las condiciones climáticas o la densidad poblacional; pero en última instancia, dicha adopción depende de las políticas nacionales. Estas políticas están motivadas por consideraciones económicas, objetivos climáticos propuestos, entre otros, que estableciendo regímenes tarifarios o regulaciones ambientales incentivan algunas tecnologías sobre otras. En algunos casos, los marcos legales son indispensables para lograr la adopción de tecnologías que de otra manera no serían viables en el corto plazo, creando también, nuevos sectores para la economía (Prasad & Findlay, 2015).

Para realizar la Formulación de un proyecto Solar Fotovoltaico off-grid, primeramente, será necesario definir el marco legal de actuación para el desarrollo del proyecto.

La Constitución Política de 1991 señala que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado, es decir, que el Estado debe asegurar la presentación de estos a todos los habitantes del territorio nacional de forma eficiente (Ministerio de Minas y Energía - MME, 2023).

La Ley 142 de 1994, conocida como la “Ley de Servicios Públicos” define los intereses del estado colombiano en la prestación de estos servicios y establece las herramientas para ejercer la vigilancia y control. Dichos intereses incluyen garantizar la calidad del servicio para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios, la ampliación permanente de la cobertura, la prestación eficiente, continua e ininterrumpida de los servicios públicos (Congreso de Colombia, 1994a).

Así mismo, la Ley 143 de 1994 o “Ley Eléctrica” determina que al Estado le corresponde, entre otros “alcanzar una cobertura en los servicios de electricidad a las diferentes regiones o sectores del país, que garantice la satisfacción de las necesidades básicas de los usuarios de los

estratos I, II y III y los de menores recursos del área rural” y establece como sus objetivos en relación con el servicio de electricidad (Congreso de Colombia, 1994b):

Abastecer la demanda de electricidad de la comunidad bajo criterios económicos y de viabilidad financiera, asegurando su cubrimiento en un marco de uso racional y eficiente de los diferentes recursos energéticos del país.

Asegurar una operación eficiente, segura y confiable en las actividades del sector.

Mantener y operar sus instalaciones preservando la integridad de las personas, de los bienes y del medio ambiente manteniendo los niveles de calidad y seguridad establecidos.

De forma complementaria, la Ley 1715 de 2014 modificada parcialmente por la Ley 2099 de 2021, promueve el desarrollo de las energías renovables en Colombia y la transición energética, entre otros, establece incentivos adicionales para proyectos de energías renovables en comunidades rurales y aisladas, donde el acceso a la electricidad es limitado. Estos incentivos pueden incluir exenciones de impuestos, financiamiento preferencial y esquemas de tarifas especiales, lo cual contribuye a mejorar el acceso a la energía limpia y a reducir los costos energéticos en estas comunidades (Castaño-Gómez & García-Rendón, 2020) (Ministerio de Minas y Energía - MME, 2023).

Por otro lado, la Ley 2294 de 2023, que corresponde a las bases Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022 – 2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida” dispone de cinco transformaciones necesarias, siendo una de ella la “Transformación productiva, internacionalización y acción climática” que aborda la Transición Energética Justa en Colombia con consideraciones de eficiencia energética, nuevos energéticos y define el modelo de Comunidades Energéticas (Ministerio de Minas y Energía - MME, 2023).

En consecuencia, el Decreto 2236 de 2023 reglamenta parcialmente la Ley 2294 de 2023 en cuanto a las Comunidades Energéticas, entendidas como un modelo donde personas naturales o jurídicas, pueden tomar parte de la cadena de valor de la electricidad a través de uso de Fuentes No Convencionales de Energía – FNCER, Combustibles renovables y Recursos Energéticos Distribuidos. Adicionalmente, se define que las personas naturales y estructuras de Gobierno Propio de los Pueblos y Comunidades Indígenas y de las comunidades campesinas, negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras serían beneficiarias de recursos públicos para el financiamiento de todo lo requerido para la conformación, operación y mantenimiento de la comunidad (Ministerio de Minas y Energía - MME, 2023).

En concordancia, el Ministerio de Minas y Energía – Minenergía, expidió las Resoluciones 40136 del 23 de abril de 2024, donde crea el Registro Único de Comunidades Energéticas – RUCE y 40137 del 24 de abril de 2024, donde define los criterios de focalización para la orientación de recursos públicos con destino a Comunidades Energética (MME, 2024a) (MME, 2024b).

La norma ISO 50001:2018 establece un marco reconocido internacionalmente para la gestión eficiente de la energía, permitiendo a las organizaciones mejorar su desempeño energético, reducir costos operativos y minimizar su impacto ambiental. En el contexto del proyecto de electrificación del AETCR San José de Oriente, esta norma proporciona lineamientos para asegurar un uso racional de la energía y garantizar que la solución implementada sea sostenible y eficiente a largo plazo. Además, la adopción de estándares como ISO 50001 puede facilitar el acceso a incentivos y fondos de financiamiento nacionales e internacionales destinados a proyectos de energías renovable.

Estado del Arte

Experiencias en Energía Solar a Nivel Global y Nacional

El desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica ha tenido un crecimiento significativo a nivel mundial en las últimas décadas, consolidándose como una de las principales alternativas para la generación de energía limpia, sostenible y confiable. Estas experiencias han permitido demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental de esta tecnología, tanto en grandes sistemas interconectados como en soluciones descentralizadas para comunidades aisladas.

Proyectos en Energía Solar a Nivel Internacional

A nivel internacional, se destacan grandes parques solares que han marcado hitos en la transición energética global. Según el (Sistema de Gestión de Información y Conocimiento sobre Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (SGI&C - FNCER), 2016) uno de los proyectos más representativos es la planta fotovoltaica Topaz Solar Farm, ubicada en California, Estados Unidos, considerada una de las más grandes del mundo. Esta planta cuenta con más de nueve millones de paneles solares instalados en un área aproximada de 26 km² y tiene la capacidad de generar alrededor de 1.096 GWh anuales, suficientes para abastecer cerca de 180.000 hogares.

Otro proyecto relevante es California Valley Solar Ranch, localizado al noroeste de Los Ángeles, con una extensión cercana a las 1.966 hectáreas. Este parque, desarrollado por SunPower y propiedad de NRG Energy, alcanza una producción aproximada de 550 GWh anuales, permitiendo el suministro energético a más de 100.000 hogares. De igual manera, el Proyecto Mesquite Solar, ubicado en el sur de Arizona, cuenta con una capacidad de generación de 413 GWh anuales y tiene el potencial de abastecer aproximadamente 260.000 viviendas, consolidándose como un referente en generación solar a gran escala.

Estas experiencias internacionales evidencian la madurez tecnológica de los sistemas fotovoltaicos y su capacidad para cubrir demandas energéticas significativas, aportando al cumplimiento de metas de reducción de emisiones y seguridad energética.

Proyectos en Energía Solar a Nivel Latinoamérica

En América Latina, la energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento acelerado, impulsado por las condiciones favorables de radiación solar y la necesidad de diversificar la matriz energética. En México, destaca la planta Aura Solar I, inaugurada en 2016 en Baja California Sur, considerada en su momento la más grande de Latinoamérica. Esta instalación cuenta con más de 131.800 celdas solares y contribuye a la reducción de aproximadamente 60.000 toneladas de CO₂ al año.

Por su parte, Chile se posiciona como uno de los líderes regionales en energía solar con el proyecto Amanecer Solar CAP, una planta fotovoltaica con capacidad instalada de 100 MW, resultado de la alianza entre SunEdison y el grupo CAP. Esta central es capaz de abastecer el consumo energético anual de cerca de 125.000 hogares, consolidando a Chile como un referente en el aprovechamiento del recurso solar a gran escala.

Estas experiencias regionales demuestran el potencial de la energía solar como herramienta para el desarrollo sostenible y la reducción de la dependencia de fuentes fósiles en países en vías de desarrollo.

Proyectos en Energía Solar a Nivel de Centroamérica.

En Guatemala se encuentra una de las mayores plantas fotovoltaica de Centroamérica con 5 MW de potencia y aproximadamente 20 mil paneles solares. El país también ha incrementado el uso domiciliario de energía solar y varios hoteles incursionan en el uso de esta tecnología para

generar energía con la irradiación, según informes de la Asociación de Pequeños Hoteles de Guatemala (Asopehgua).

De acuerdo con publicaciones de la revista Energía Limpia XXI el gobierno de El Salvador y las empresas UDP Neoen-Almaval, Solar Reserve Development y UDP Proyecto La Trinidad establecieron alianzas para la producción y el suministro de 94 MW de energía solar por un monto cercano a los 250 millones USD.

En Honduras, en la zona de Choluteca, se encuentra un parque solar de 200MW. Además, las empresas COHESSA y SOPOSA desarrollaron proyectos con generación de 50MW de energía solar en la zona del caserío de Talpetate, departamento de Valle.

En Costa Rica, en el año 2013 China y Costa Rica firmaron acuerdos por 30 millones de USD para financiar la instalación de 50 mil paneles solares.

En Nicaragua, se encuentra una planta solar de 1.3 MW con apoyo de Japón y una planta de 3.1 MW con tecnología de la firma Canadian Solar. Además, la firma HMV PIONEER realizó los estudios para la construcción de una planta de generación solar en el departamento de Chinandega con una producción de 100 MW de energía.

Experiencias de Energía Solar a Nivel Nacional

En Colombia se podría generar en mayor escala en las zonas del Magdalena, La Guajira, San Andrés y Providencia. Según (Rodríguez Murcia, 2008), en Colombia este sistema de generación se ha implementado en muchas partes a lo largo del territorio, resaltan las siguientes instalaciones:

Hospital Pablo Tobón, Medellín, para reducir el consumo de energía, se instalaron 1987 colectores solares de placa plana, para reemplazar una caldera fuera de servicio en la entidad, tendidos en 345 m² para calentar diariamente 22.500 litros de agua a 45°C.

Sistema solar de 2.8 kW instalado por el antiguo ICEL (Instituto Colombiano de Energía eléctrica, hoy IPSE) en la Venturosa -Vichada, en 1996, para suministrar energía a 120 V AC a una comunidad alejada del SIN de 12 familias y un centro escolar.

Sistema Fotovoltaico de 3.4 kW del Oleoducto Caño Limón - Coveñas, en operación desde hace más de 20 años; sistema con la capacidad de realizar la operación de equipos propios del oleoducto, facilitando las condiciones de alimentación eléctrica en áreas alejadas. El sistema permite contar con la disponibilidad de válvulas remotas sin realizar altas inversiones por suministros desde fuentes con generación tradicional hidráulica (Rodríguez Murcia, 2008).

La Institución Educativa IED Martinica, ubicada en la zona rural del municipio de Montería, primera IED en Colombia que funciona con energía solar. Cuenta con 16 paneles solares que garantizan luz durante 24 horas; esta iniciativa permite que aproximadamente 400 kg de CO₂ se dejen de emitir.

Universidad Autónoma de occidente, Cali – Valle del Cauca, en alianza con EPSA, cuenta con 638 paneles solares que han aportado grandes resultados.

Institución Pública Ramón B. Jimeno de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá – EAB, cuenta con 100% de iluminación producida con energía solar, gracias al funcionamiento de 148 paneles solares. La inversión realizada por la EAB lo convierte en uno de los pioneros en el cumplimiento de la ley 1715 de 2014.

Aportes Teóricos y Metodológicos Para la Formulación de Proyectos Solares Fotovoltaicos Off-Grid Comunitarios

La literatura reciente evidencia un creciente interés por el desarrollo de comunidades energéticas basadas en fuentes renovables como una estrategia clave para enfrentar la pobreza energética, promover la transición energética y fortalecer la justicia social en territorios

vulnerables. Diversos estudios coinciden en que los sistemas de generación distribuida, particularmente los sistemas solares fotovoltaicos off-grid, representan una alternativa viable para comunidades rurales y aisladas que no cuentan con acceso confiable a la red eléctrica convencional.

Investigaciones como las desarrolladas por (Young & Halleck Vega, 2024) destacan el papel de las comunidades energéticas en la mitigación de la pobreza energética, resaltando su capacidad para empoderar a las comunidades locales mediante modelos participativos de gestión y uso de la energía. Estos enfoques no solo mejoran el acceso al servicio eléctrico, sino que también contribuyen a reducir desigualdades sociales y a fortalecer la autonomía energética de los territorios.

Por su parte, (Sarfarazi et al., 2024) analizan la integración de comunidades energéticas dentro de los mercados eléctricos, enfatizando el uso de metodologías computacionales y agentes autónomos para optimizar costos y mejorar la eficiencia del sistema. Aunque estos estudios se desarrollan principalmente en contextos interconectados, sus aportes metodológicos resultan relevantes para la estructuración de proyectos off-grid en etapas de planeación y preinversión.

Asimismo, (Campagna et al., 2025) abordan la relación entre las comunidades de energías renovables y la mitigación de la pobreza energética, haciendo énfasis en el análisis de costos y en la aplicación de herramientas como la teoría de juegos para evaluar la sostenibilidad económica y social de estas iniciativas. Estos aportes permiten identificar criterios clave para evaluar la viabilidad de proyectos energéticos comunitarios en el largo plazo.

Finalmente, (Jochemsen et al., 2024) resaltan la importancia de la democracia energética y la legitimidad social en los procesos de transición energética, señalando que el éxito de las

comunidades energéticas depende en gran medida de la participación de los beneficiarios, la gobernanza local y la apropiación social de la tecnología.

En conjunto, estos estudios evidencian que la formulación de proyectos solares fotovoltaicos off-grid en comunidades rurales, como el Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (AETCR) San José de Oriente, constituye una alternativa técnica, económica y socialmente viable para mejorar el acceso a la energía en territorios con limitaciones de infraestructura eléctrica. Asimismo, la literatura resalta la importancia de integrar enfoques participativos, criterios de sostenibilidad económica y esquemas de gobernanza comunitaria en la estructuración de este tipo de proyectos, con el fin de garantizar su apropiación social y permanencia en el tiempo. En este contexto, el presente trabajo de grado se orienta a aportar a la formulación de una solución energética acorde con las necesidades locales, que contribuya al fortalecimiento del proceso de reincorporación, al desarrollo comunitario y a la transición energética justa en el territorio.

Para potenciar la eficiencia de los procesos productivos y fomentar un desarrollo sostenible, es fundamental crear condiciones óptimas en el acceso a servicios públicos. La disponibilidad de recursos renovables, como la energía solar, constituye una oportunidad clave en esta situación, al ser una fuente de energía asequible y no contaminante. Sin embargo, la falta de infraestructura eléctrica en estas zonas es una barrera significativa para el progreso de la comunidad en su camino hacia la reintegración y el desarrollo.

En este contexto, el análisis bibliométrico de la investigación académica sobre proyectos de energía solar fotovoltaica off-grid resulta fundamental. Utilizando la base de datos Scopus, este estudio bibliométrico busca examinar la evolución y las tendencias en la tecnología fotovoltaica y en proyectos de energía renovable en comunidades similares, con el fin de ofrecer una visión

integral del campo y de los factores que influyen en la implementación. de soluciones energéticas sostenibles. La bibliometría como herramienta valiosa, ayuda a analizar y entender cómo los avances científicos influyen en las políticas de sostenibilidad y desarrollo, especialmente en contextos de reincorporación. Al proporcionar datos estratégicos, facilita la toma de decisiones informadas en investigación y desarrollo, lo que es crucial en un campo en constante evolución.

Para realizar los análisis de la información se utiliza la herramienta Bibliometrix para facilitar el proceso bibliométrico.

La herramienta Bibliometrix, es un paquete de software que realiza análisis bibliométricos avanzados, analizando citas y detectando comunidades de investigación. El cual arroja los siguientes resultados:

Figura 10

Informe Principal de Consulta Bibliometrix



Nota. Elaborado con la herramienta Bibliometrix

Tabla 4

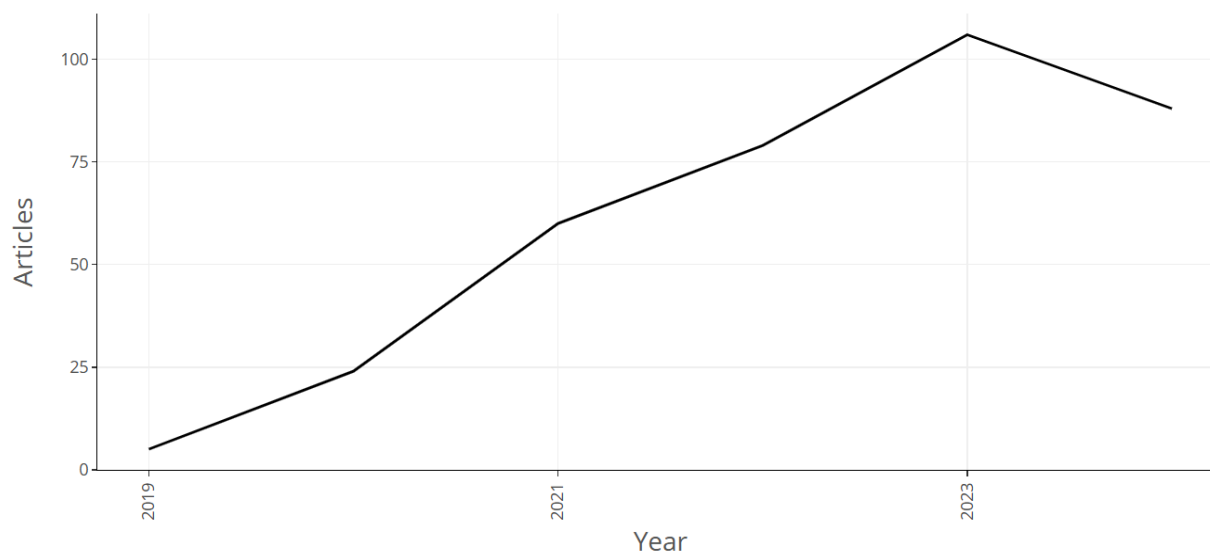
Informe Principal de Datos

Descripción	Resultados
Información principal sobre los datos	

Descripción	Resultados
Intervalo de tiempo	2019:2024
Fuentes (revistas, libros, Etc.)	51
Documentos	362
Tasa de crecimiento anual %	77,46
Edad media del documento	1.56
Citas promedio por documento	15.43
Referencias	17493
Contenido del documento	
Palabras clave plus (ID)	2080
Palabras clave del autor (DE)	1100
Autores	
Autores	1177
Autores de documentos de un solo autor	14
Colaboración de los autores	
Documentos de un solo autor	17
Coautores por documento	4.26
Coautorías internacionales %	33.43
Tipos de documentos	
Artículo	362

Nota. Elaborado con la herramienta Bibliometrix.

Al analizar de manera sistemática los datos obtenidos de la literatura científica en la consulta realizada con Bibliometrix, se refleja la distribución de publicaciones (revistas, libros, documentos), citas, autores, coautores, instituciones y temas a lo largo del tiempo. En total, se analizaron 362 artículos publicados entre 2019 y 2024, tiempo de la primera y última publicación analizada respectivamente, lo que permite entender la evolución temporal de la literatura sobre el tema.

Figura 11*Producción Científica Anual*

Nota. Elaborado con la herramienta Bibliometrix.

Figura 12*Datos Producción Científica Anual*

Año	Artículos
2019	5
2020	24
2021	60
2022	79
2023	106
2024	88

Mostrando 1 a 6 de 6 entradas

Anterior 1 Próximo

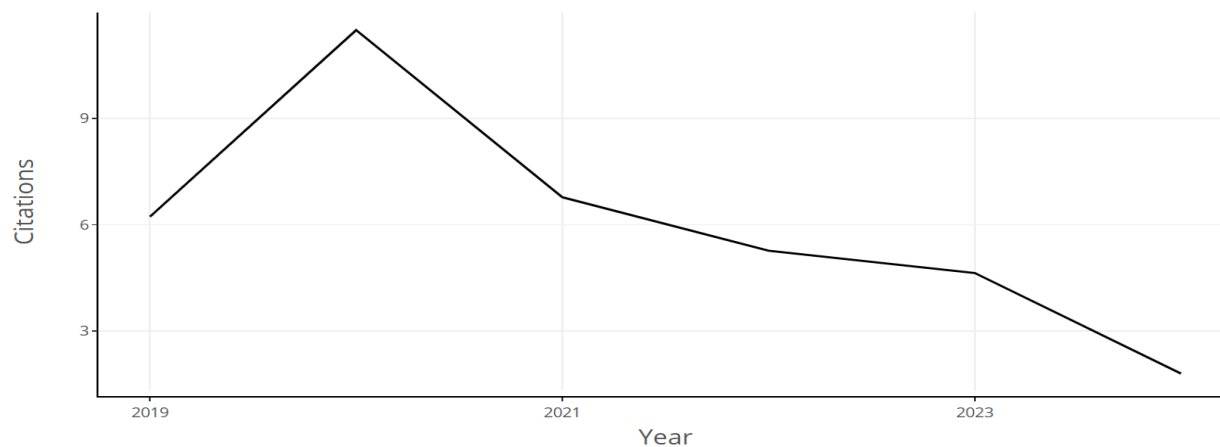
Nota. Elaborado con la herramienta Bibliometrix

Las figuras 13 y 14 muestran la distribución de publicaciones por años, ilustrando como ha variado la cantidad de publicaciones a lo largo del periodo seleccionado. Se destaca el año

2023 como el de mayor actividad, con el mayor número de publicaciones en el área de investigación.

Figura 13

Citas Promedio Por Año



Nota. Elaborado con la herramienta Bibliometrix.

Figura 14

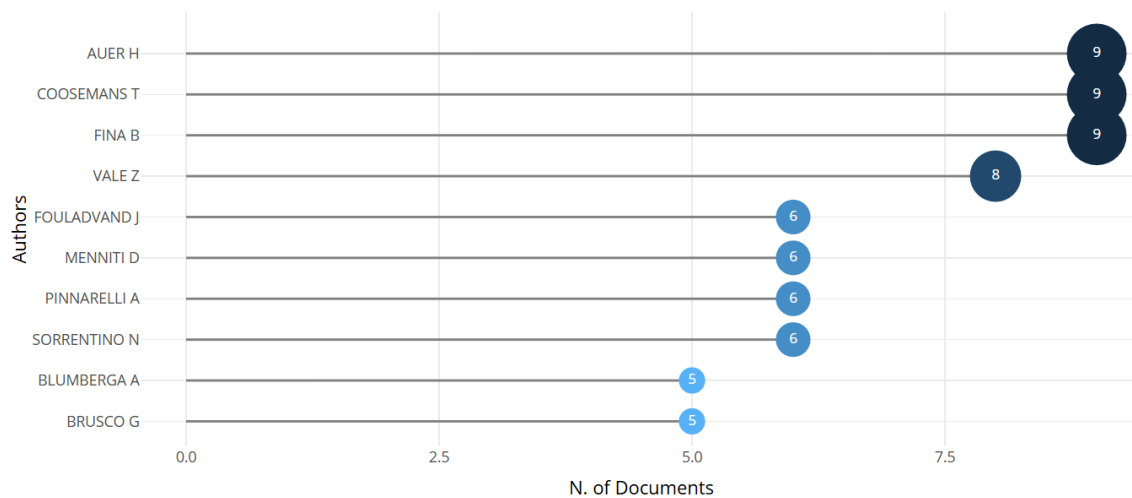
Datos Citas Promedio Por Año

Año	SignificaTCperArt	norte	TCC media por año	Años citables
2019	37,40	5	6.23	6
2020	57,50	24	11,50	5
2021	27.13	60	6,78	4
2022	15.82	79	5.27	3
2023	9.27	106	4.64	2
2024	1,80	88	1,80	1

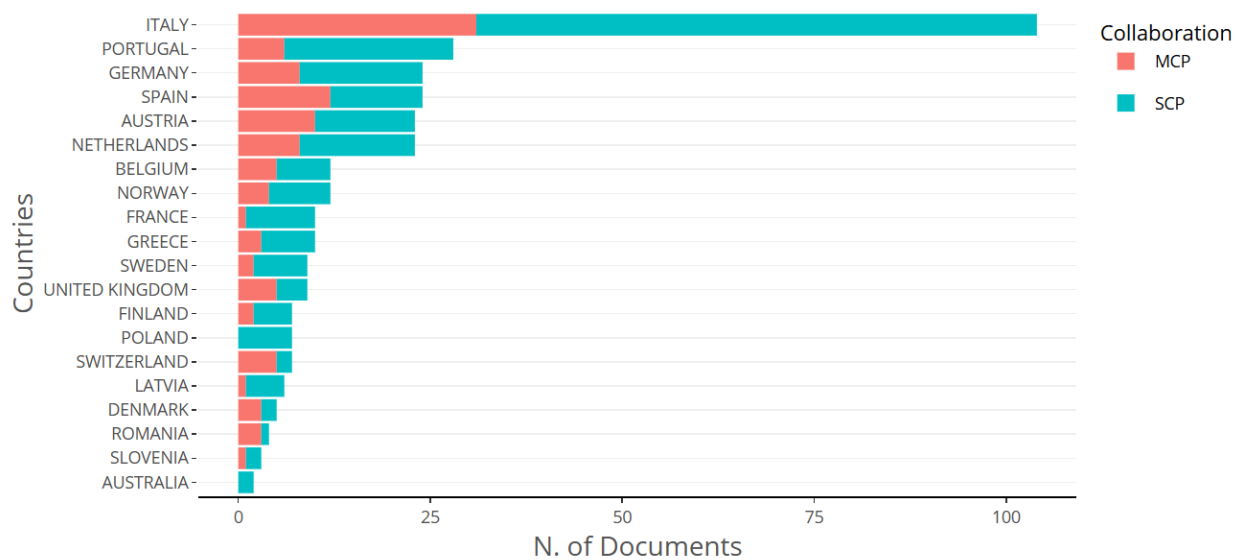
Mostrando 1 a 6 de 6 entradas

Anterior **1** Próximo

Nota. Elaborado con la herramienta Bibliometrix

Figura 16*Autores Más Relevantes*

Nota. Elaborado con la herramienta Bibliometrix.

Figura 17*Países de los Autores Más Relevantes*

Nota. Elaboración propia con la herramienta Bibliometrix.

investigación sobre sistemas solares fotovoltaicos off-grid. La bibliometría de los sistemas solares fotovoltaicos off-grid revela varias tendencias clave en el desarrollo de la investigación en este campo, así como áreas emergentes y las conexiones entre los principales temas de estudio.

El análisis de la evolución temporal (como se muestra en la Figura 16) indica un aumento notable en el interés por los sistemas solares fotovoltaicos off-grid, en la última década. Es decir que esta tecnología está ganando importancia por la creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles en regiones rurales o remotas, donde el acceso a la electricidad es limitado. Este crecimiento en la cantidad de publicaciones refleja la relevancia que están dando los investigadores y las instituciones a este tipo de sistemas, probablemente impulsado por la necesidad de enfrentar el desafío de la transición energética en el uso de Fuentes No Convencionales de Energía – FNCER.

Además, el análisis de la co-citación y la red de colaboración revela la interconexión entre diversos autores y conceptos, lo que proporciona una visión más detallada de cómo los investigadores están trabajando en conjunto para abordar los desafíos técnicos y socioeconómicos relacionados con estos sistemas. Las redes de co-citación también indican que las investigaciones más influyentes en este campo han sido publicadas en revistas especializadas en energías renovables, lo que subraya la importancia de las plataformas científicas dedicadas a la sostenibilidad energética.

Los artículos más citados, como se ha señalado, son generalmente los más influyentes en el campo. Identificar estos trabajos claves, es esencial para comprender los hitos principales en la investigación sobre sistemas solares fotovoltaicos off-grid. Estos artículos no solo han contribuido a la base teórica, sino que también han proporcionado enfoques innovadores para la implementación práctica de estas tecnologías en contextos aislados.

Ahora bien, la investigación sobre sistemas solares fotovoltaicos off-grid ha avanzado considerablemente, pero continúan existiendo desafíos importantes, especialmente en términos de costos, infraestructura y sostenibilidad a largo plazo. Los avances en almacenamiento de energía y la optimización de los costos de los paneles solares fotovoltaicos están impulsando la viabilidad de estas tecnologías, pero la integración con las comunidades locales y la superación de barreras socioeconómicas aún son áreas que requieren atención. Finalmente, a medida que la investigación continua, es importante explorar el potencial de las innovaciones en esta área, para no perder de vista los avances en eficiencia y confiabilidad para los sistemas solares fotovoltaicos en entornos aislados.

En síntesis, el análisis del estado del arte evidencia que los sistemas solares fotovoltaicos se consolidan como una alternativa técnica, ambiental y económicamente viable para ampliar el acceso a la energía y mejorar la calidad de vida de las comunidades, especialmente en contextos rurales y zonas no interconectadas. Diversas experiencias documentadas señalan que los proyectos exitosos de electrificación rural incorporan enfoques participativos, soluciones descentralizadas y estrategias orientadas a la sostenibilidad operativa. Asimismo, los avances tecnológicos en eficiencia de módulos, sistemas de almacenamiento y esquemas de gestión, junto con marcos normativos favorables, han permitido la implementación efectiva de este tipo de iniciativas en contextos similares al área de estudio. En este sentido, el presente proyecto adopta un modelo de autogeneración individual off grid, acompañado de un esquema de gestión basado en la apropiación comunitaria y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles, lo cual refuerza su pertinencia, viabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

Diseño Metodológico

A través del proyecto se pretende formular una solución solar fotovoltaica para la comunidad de San José de Oriente, entendiendo que la baja disponibilidad del servicio de energía tiene un impacto en la calidad de vida de sus habitantes. De acuerdo con lo anterior, y dado que el proyecto se orienta hacia un objetivo práctico específico, se enmarca como una investigación aplicada (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos - OECD, 2018).

Se corresponde con un tipo de investigación de alcance correlacional, dado que se busca relacionar la calidad de vida de la población seleccionada con la disponibilidad del servicio de energía eléctrica (Cruz Chuyma et al., 2023). Su enfoque es de carácter cuantitativo con un carácter deductivo que permitirá determinar si la solución planteada favorece las condiciones de vida de la población (Guerrero & Guerrero, 2014) (Hernández Sampieri et al., 2014).

Teniendo en cuenta el alcance de este proyecto, se hace claro que la población corresponde a los habitantes de la comunidad de San José de Oriente, que tiene una población acreditada de 120 personas a octubre de 2022, dado que es una población pequeña, y que se requiere tener la caracterización completa para calcular la demanda de energía requerida, se considera necesario y factible realizar una identificación completa a través de censo muestral (Cruz del Castillo et al., 2014) (Agencia para la Reincorporación y la Normalización - ARN, 2022).

Adicionalmente, se consideran toda la infraestructura de la comunidad y los sectores que componen su economía, de acuerdo con la Tabla 5.

Tabla 5

Población Estratificada de la Comunidad San José de Oriente

Infraestructura	Cantidad
Módulos habitacionales	15

Infraestructura	Cantidad
Enfermería	1
Biblioteca	1
Áreas de recreación	1
Servicios básicos	4
Proyectos productivos individuales	1
Iniciativas productivas	14

Nota. Elaboración propia, basada en (Agencia para la Reincorporación y la Normalización - ARN, 2022).

Los servicios básicos corresponden a la entrega de agua potable en carrotanque, un electrogenerador PTAR compuesto por cuatro (4) sistemas de tratamiento, suministro de gas y recolección de residuos sólidos (Agencia para la Reincorporación y la Normalización - ARN, 2022).

Para este censo poblacional, se utilizará una encuesta como técnica de investigación cuantitativa con el objetivo de realizar la recolección de información. En el caso de este proyecto, la encuesta se realiza con la finalidad de censar y caracterizar la población como insumo para el desarrollo del estudio de mercado, mediante la aplicación de un cuestionario de forma oral, correspondiente a las condiciones de vida actuales y las necesidades energéticas que se requieren suplir a través del proyecto. De esta forma, se obtendrá información directa de los usuarios finales del servicio de energía eléctrica (Gallardo Echenique, 2017).

Una vez realizadas las encuestas correspondientes, se procederá a realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos, a la estructuración de la información obtenida, y a la redacción del Informe de Resultados.

Para garantizar que la solución fotovoltaica propuesta cumpla con estándares de eficiencia y sostenibilidad, se adoptará un enfoque basado en los principios de la ISO 50001. En la etapa de

estructuración de la solución, se analizarán estrategias de gestión energética que permitan optimizar la generación y consumo de energía, minimizando pérdidas y mejorando la estabilidad del suministro. Adicionalmente, se definirán indicadores de desempeño energético alineados con los criterios de la norma para evaluar la efectividad del sistema y proponer mejoras continuas. Esta metodología asegurará que el sistema solar fotovoltaico no solo satisfaga las necesidades energéticas de la comunidad, sino que también promueva un uso racional y sostenible de la energía.

Estudio Ambiental

Con el fin de evaluar la reducción en la huella de carbono o los beneficios al medio ambiente derivados de la solución solar fotovoltaico, se tendrán en cuenta los estándares de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) establecidos por regulaciones ambientales o normativas específicas que señalan que se emiten al ambiente 2,7 kg de CO₂ por litro de diésel, gasóleo o gasóleo quemado y 1,15 kg de agua, con el fin de determinar la reducción de estas emisiones cuando se utiliza generación a partir de energía solar (UPME, 2022a).

Estructura Metodológica

La formulación del proyecto se apoya en el análisis de actores desarrollado en el Capítulo I, el cual permitió identificar los interesados clave, sus intereses, niveles de influencia y posibles aportes al proyecto. Este insumo fue determinante para la definición de la metodología de intervención, especialmente en las etapas de identificación, estructuración de la solución y sostenibilidad administrativa, en coherencia con los principios de la Metodología General Ajustada (MGA) y la gestión de interesados propia de la gerencia de proyectos. Se propone el siguiente alcance para lograr cada uno de los objetivos establecidos:

Etapas 1. Identificación y Diagnóstico

Corresponde al levantamiento de información de la comunidad, incluyendo el censo poblacional a partir de encuestas y el análisis estadístico de los resultados para cuantificar las necesidades energéticas; también se realizará una investigación de información relevante para el proyecto de diferentes entes territoriales.

Etapa 2. Estructuración de la Solución

Realizar la estructuración del proyecto utilizando la metodología de estructuración de proyectos de electrificación rural hasta la etapa de preinversión cumpliendo con requerimientos técnicos, ambientales, sociales y del posible fondo de financiación.

Etapa 3. Viabilidad Económica de la Solución

Realizar un análisis detallado de la viabilidad económica de la solución, estimando el costo unitario por kWh a partir de los costos iniciales, costos de AOM (Administración, Operación y Mantenimiento) y realizando un cálculo de los beneficios a largo plazo para la comunidad.

Etapa 4. Estructura Administrativa

Realiza un análisis administrativo de la estructura requerida para garantizar la continuidad de la solución propuesta a largo plazo, identificando todas las actividades y consideraciones necesarias para contribuir al desarrollo social y económico de la comunidad de San José de Oriente.

Articulación del Estudio de Factibilidad con la Metodología General Ajustada (MGA)

El estudio de factibilidad desarrolla el proyecto desde lo técnico, financiero y organizacional, mientras que la MGA organiza esa información bajo una lógica de problema, objetivos, alternativas y evaluación para justificar la inversión pública, comparar alternativas y demostrar viabilidad técnica, económica y social.

Con el fin de garantizar la coherencia entre el estudio de factibilidad y los cuatro módulos de la MGA (Identificación, Preparación, Evaluación y Programación) se establece un paralelo que

permite articular los componentes técnicos, financieros y sociales del proyecto solar fotovoltaico en ZNI con los elementos exigidos para su viabilización en el Banco de Proyectos de Inversión Nacional (BPIN). Este paralelo demuestra que no son documentos distintos, sino dos miradas complementarias del mismo proyecto:

Figura 19
Proyecto Solar Fotovoltaico en Zona No Interconectada (ZNI)

Elementos de Estudio de Factibilidad		Elementos de la MGA		Aplicación concreta en Proyecto Solar Off Grid	
E s t u d i o d e M e r c a d o	Análisis de Sector	I d e n t i f i c a c i ó n	E V A L U A C I Ó N	Políticas Públicas	Marco de atención a ZNI, alineación con la política de transición energética, lineamientos FAZNI-FAER, planes de electrificación rural y desarrollo territorial. Normatividad sobre energías Renovables
	Servicio			Problema	Identificación del problema energético: baja calidad del servicio, deficiencia en cobertura eléctrica Operador Red, dependencia de diésel, altos costos y baja confiabilidad.
	Cliente			Participantes / Población	Caracterización de la población beneficiaria directa e indirecta del proyecto solar.
	Estrategias			Objetivos / Alternativas	Garantizar acceso continuo a energía mediante sistema solar aislado; comparación con diésel u otras soluciones energéticas
E s t u d i o T é c n i c o	Tamaño del Proyecto	P r e p a r a c i ó n	D E R I E S G O S	Necesidades / Análisis Técnico	Dimensionamiento según demanda básica del AETCR, censo de cargas de iluminación, refrigeración, comunicaciones, servicios comunitarios, entre otros.
	Localización			Localización	Selección del sitio del proyecto en AETCR San José de Oriente, considerando irradiación solar, accesibilidad y
	Ingeniería del Proyecto			Cadena de valor / Riesgos	Diseño de sistema solar aislado con baterías e identificación de riesgos técnicos y operativos.
O r g a n i z a c i ó n E s t u d i o	Estructura Legal	E v a l u a c i ó n	P r o g r a m a c i ó n	Ingresos	Definición del marco legal, permisos y esquema de ingresos o ahorro por energía generada. El proyecto no genera venta de energía; el beneficio se mide como ahorro social y mejora del bienestar comunitario.
	Estructura Administrativa			Cofinanciación	Entidad pública responsable de ejecución y operación; no aplica endeudamiento, sino inversión estatal (FAZNI)
	Formulación Estratégica			Depreciación	Definición de vida útil de paneles, baterías e inversores; estrategia de reposición y sostenibilidad del sistema.
E s t u d i o F i n a n c i e r o	Inversiones	P r o g r a m a c i ó n	E v a l u a c i ó n	Flujo de Caja	Inversión inicial alta; no hay ingresos monetarios directos, solo beneficios sociales durante la vida útil.
	Costos			Indicadores y Decisión	Costos de operación, mantenimiento y reposición de baterías; insumo clave para decidir viabilidad del proyecto.
	Presupuestos			Indicadores de Producto	Presupuesto detallado y metas físicas: número de paneles solares instalados, capacidad en kWp, grupo de familias AETCR beneficiadas.
	Financiamiento			Fuentes de Financiación / Indicadores de Gestión	Recursos FAZNI para la ejecución del proyecto; no requiere recuperación financiera.
E v a l u a c i ó n	Evaluación Ambiental	P r o g r a m a c i ó n	E v a l u a c i ó n	Evaluación MGA	Identificación y clasificación de impactos ambientales, uso del suelo, manejo de residuos (paneles, baterías), reducción del GEI, medidas de manejo y mitigación. Alineación con normatividad ambiental.
	Evaluación Financiera			Evaluación MGA	Análisis de sostenibilidad operativa, no rentabilidad financiera; análisis de costos evitados (diésel).
	Evaluación Económica			Evaluación MGA	Beneficios económicos y sociales: reducción de pobreza energética, ahorro en combustibles, valor presente neto económico - VPN, mejoras en productividad, relación beneficio/costo.
	Evaluación Social			Resumen del Proyecto	Impactos positivos en calidad de vida, educación, salud, seguridad y sostenibilidad ambiental.

Nota. Elaboración Propia

Variables Propuestas

Variable Independiente

Eficiencia de los paneles fotovoltaicos

Se puede medir la eficiencia de los paneles fotovoltaicos instalados y analizar su relación con la radiación solar y la generación de electricidad. La captación de energía solar a través de paneles solares constituye una de las alternativas clave para aportar al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. Van Campen et al. (2019), señala que el potencial de la implementación de energía fotovoltaica demuestra que en los proyectos de electrificación rural hechos en el mundo aumenta la importancia económica como la experiencia en su aplicación en todos los sectores, como son los servicios sociales y comunales, la agricultura y más actividades productivas capaces de repercutir significativamente en el desarrollo rural. Como objetivo de estudio su principal función es contribuir en las limitaciones y determinar la contribución potencial del sistema fotovoltaico para el desarrollo rural.

Según la monografía realizada por Cote Sánchez (2017) trata de la incidencia de proyectos que emplean sistemas fotovoltaicos frente a la problemática energética de las zonas rurales de Colombia. El enfoque que da el autor relacionado a esta investigación muestra las ventajas que tiene a nivel tecnológico y financiero la implementación de estas energías limpias de menor costo en las zonas aisladas de Colombia y de poca densidad poblacional factor de exclusión de desarrollo e interés llevado a condiciones precarias a comunidades de bajas condiciones socioeconómicas, como es el caso de la comunidad de San José de Oriente.

Radiación solar

La vereda Tierra Grata, ubicada en el departamento del Cesar, Colombia, se beneficia de una notable radiación solar, lo que la hace propicia para la generación de energía fotovoltaica. Según el Atlas de Radiación Solar de Colombia elaborado por la Unidad de Planeación Minero-

Energética – UPME y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), las zonas del Caribe colombiano, incluido el Cesar, reciben una intensidad de radiación solar global superior a 5,0 kWh/m² por día. Específicamente, el norte del Cesar presenta valores entre 5,5 y 6,0 kWh/m² por día, situándose entre las más altas del país (Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME & Instituto de Hidrología, 2005).

Estas condiciones han incentivado proyectos de energía renovable en la región. Por ejemplo, en el municipio de El Paso, se ha desarrollado un parque solar que abarca más de 240 hectáreas, con 274 320 paneles solares, destinado a generar energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales (ENEL S.A., 2024).

Además, la empresa española Zelestra inauguró en 2024 su primer parque solar en Colombia, cerca de Montería, y planea otro en el Cesar con una capacidad de 108 megavatios (MME, 2024c).

La Universidad Nacional de Colombia (UNAL) también ha contribuido al desarrollo de energías renovables en el Cesar. En 2024, se inauguró un laboratorio de energía solar en el municipio de La Paz, cercano a Valledupar, que sirve como espacio para la investigación y formación en tecnologías solares. Este laboratorio se considera una herramienta clave para el aprendizaje y la promoción de parques solares en la región, apoyando la transición energética del país (Asociación Colombiana de Universidades - ASCUN, 2024).

Podemos concluir que la vereda Tierra Grata, al igual que otras zonas del Cesar, cuenta con un alto potencial de radiación solar, favorable para la implementación de proyectos de energía fotovoltaica. La presencia de iniciativas académicas y empresariales en la región refuerza la viabilidad y el interés en aprovechar este recurso natural para la generación sostenible de energía.

Variables Dependientes

Producción del Sistema Solar Fotovoltaico off – grid en kilo watts - hora (kWh)

Para el dimensionamiento del sistema que cubra la demanda energética de la comunidad es necesario efectuar los cálculos de la radiación solar en la zona de estudio, garantizando el funcionamiento eficiente del sistema, además de la relevancia del análisis económico para asegurar la viabilidad del proyecto (Salas Reyes et al., 2018).

De acuerdo con Salas Reyes et al. (2018) un análisis de disponibilidad solar en el lugar de la instalación con el fin de dimensionar adecuadamente todos sus componentes y que éste sea apto para funcionar de forma eficiente supliendo la corriente adecuada para mover las cargas tenidas en cuenta en el diseño.

Primero se debe efectuar el cálculo de las horas solares aprovechables, o recurso solar, para luego medir la potencia paneles solares para suplir la cantidad de kWh de consumo de la comunidad.

El recurso solar se mide acorde a las horas solares a condiciones estándar (STC), o también conocidas como horas solares pico (HSP). Estas horas corresponden al tiempo en que la irradiancia solar llega a un valor acumulado de 1000 W/m^2 , es decir, la irradiación aprovechable por día (AutoSolar Energía del Perú SAC, 2024).

De acuerdo con AutoSolar Energía del Perú SAC (2024), un panel solar de 300 W es capaz de producir 438 kWh al año en condiciones de eficiencia del 80% y con 5 horas de sol, conociendo estos datos se podrá calcular el número de paneles solares necesarios para abastecer las necesidades energéticas de la comunidad.

Reducción en la Emisión de Gases de CO₂ – tonCO₂

Esta variable se refiere a la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) que se dejará de emitir como resultado de la implementación del proyector representa la contribución del proyecto a la

mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de CO₂, siendo la energía solar fotovoltaica una fuente de energía limpia y renovable.

En la Tabla 6 se presentan los factores de emisión a considerar indicados por la UPME para el año 2022 utilizando la metodología de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático para calcular factores de emisión de un sistema eléctrico.

Tabla 6

Factores de emisiones de CO₂ para el año 2022

Descripción	Valor
F.E. de la red para proyectos eólicos y solares	0,154 ton CO ₂ eq/MWh
F.E. de la red para otros proyectos (primer periodo crediticio)	0,165 ton CO ₂ eq/MWh
F.E. de la red para otros proyectos (segundo y tercer periodo crediticio)	0,176 ton CO ₂ eq/MWh

Nota. Tomado de (UPME, 2022a).

Porcentaje de Demanda Energética Cubierta de kWh por los Paneles Solares - %

Es necesario recopilar datos sobre el consumo de energía eléctrica en la comunidad. Esta variable puede estar correlacionada con la capacidad de los paneles fotovoltaicos para satisfacer la demanda de la población.

Ahora bien, como se indica en el artículo del Consejo Mundial de Energía (2010) “se ha demostrado que la falta de energía se correlaciona muy estrechamente con muchos indicadores de pobreza”. La comunidad en el AETCR San José de Oriente aporta actualmente a este indicador por la carencia de un buen servicio de energía eléctrica.

En este momento, la comunidad cuenta con dos generadores de baja capacidad en kW que no supe las necesidades energéticas de la comunidad requeridas para el desarrollo de sus

actividades. Las necesidades insatisfechas de energía requerida para los equipos de agricultura, de carpintería, para los hogares, institución educativa, biblioteca, cooperativas, centro de salud, entre otras, indican que si hay la necesidad de buscar mayor capacidad de potencia para integrarse a las dos plantas electro generadoras y con ello alcanzar un sistema de generación híbrido: Generación desde fuente solar (horas diurnas) más generación con combustible Diesel (en horas nocturnas).

En el artículo realizado por Pinto Siabato (2004) “Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia, caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán”, trata un tema semejante al estudiado en esta investigación el cual destaca ya que son similares los espacios geográficos, sociales y económicos en dicha región, el enfoca su artículo en que demuestra que sólo un enfoque riguroso de la sostenibilidad garantiza un impacto en el desarrollo económico de la comunidad, teniendo en cuenta los criterios de sostenibilidad exigidos por el mecanismo de desarrollo limpio, se identifica como una solución a la necesidad energética adaptando las tecnologías de energías renovables en zonas rurales; sin embargo el porcentaje cubierto de la demanda energética de la comunidad dependerá del dimensionamiento del sistema solar a implementar.

Diseño de Instrumentos para la Recolección de la Información

Tabla 7

Diseño de Instrumentos para la Recolección de la Información

Variables	Sistematización	Objetivos Específicos	Proceso Metodológico	Instrumentos para la Recolección de Información
Costo/beneficio por usuario servido	Se comparan las alternativas de solución energética mediante una evaluación multicriterio basada en el análisis costo-beneficio por usuario servido. Se emplea una matriz de decisión ponderada que considera costos de inversión, costos operativos, impacto social, sostenibilidad técnica y ambiental. Los resultados permiten priorizar la alternativa más eficiente y viable.	Realizar una preselección de alternativas de solución, priorizando energías renovables (específicamente sistemas solares fotovoltaicos), para mejorar la confiabilidad del servicio de energía eléctrica en el AETCR San José de Oriente	Análisis costo/beneficio por usuario servido, de alternativas de solución de la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME para la prestación del servicio: 1. Interconexión al Sistema Interconectado Nacional – SIN 2. Generación aislada con solución individual solar fotovoltaica 3. Soluciones aisladas híbridas con micro -redes/comunidades Energéticas (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2019)	Evaluación Multicriterio de las 3 alternativas (MEC/MCA): - Costo-beneficio. - Impacto ambiental. - Sostenibilidad técnica - Aceptabilidad social - Se ponderan y comparan con matriz de decisión.
1. Costo por panel o por sistema (COP/kWp). 2. Costos de transporte y logística.	Se analizan las especificaciones técnicas de los paneles solares disponibles en el mercado. La eficiencia se expresa	Realizar un estudio de mercado para la alternativa seleccionada, enfocado en tecnologías solares fotovoltaicas	Lineamientos de la gestión de proyectos, guía de PMBOK	1. Análisis del mercado proveedor, análisis comparativo de precios 2. Juicio de expertos: Consultores Especializados, Entrevistas, Grupos Focales.

Variables	Sistematización	Objetivos Específicos	Proceso Metodológico	Instrumentos para la Recolección de Información
3. Disponibilidad de inventario y tiempos de entrega.	como porcentaje de conversión energética (W/m ²) y se compara entre			3. Solicitudes de información (RFI) y cotizaciones (RFQ).
4. Condiciones de pago.	modelos mediante			4. Análisis DAFO/FODA del mercado.
5. Soporte técnico y postventa.	simulaciones (PVsyst) para seleccionar la tecnología			5. Matriz de evaluación multicriterio para comparar proveedores con base en precio, garantía, vida útil, certificaciones, soporte postventa, etc.
6. Ubicación del proveedor.	que maximiza la producción de energía			6. Benchmarking
7. Volatilidad de Precios.	según la radiación solar del sitio.			
1. Tipo de tecnología solar.				1. Visitas Técnicas.
2. Eficiencia de los paneles (%).	Se estima con bases de datos satelitales y			2. Georeferenciación.
3. Capacidad nominal de generación (W o kWp).	estaciones meteorológicas la radiación solar diaria promedio (kWh/m ² /día).		Metodología del ciclo de vida de un proyecto siguiendo los	3. Bases de datos solares (PVsyst, Meteonorm, NASA-SSE, Solargis)
4. Vida útil estimada (años).	Estos datos alimentan los	Realizar un estudio técnico para evaluar la viabilidad y	lineamientos del PMBOK (Project Management Institute),	- Estimaciones de radiación solar diaria y anual en kWh/m ² .
5. Garantía del producto y de desempeño.	modelos de simulación para calcular la energía generada por el sistema fotovoltaico	eficiencia de la alternativa seleccionada	combinados con enfoques específicos de ingeniería energética y análisis técnico-económico	4. Estación meteorológica / Pyranómetro (opcional si ya instalada)
6. Normas de calidad/certificación.- IEC, UL, RETIE	y validar su viabilidad técnica en el contexto del AETCR.			- Medición en sitio para irradiación, temperatura, viento, humedad.
7. Radicación Solar.				Instrumentos para Análisis de la
8. Producción del SSFV				Demanda Energética.

Variables	Sistematización	Objetivos Específicos	Proceso Metodológico	Instrumentos para la Recolección de Información
9. Disminución Emisiones de CO ₂				<p>1. Encuestas estructuradas o entrevistas.</p> <p>2. Lista de carga energética (Load profile).</p> <p>- Registro de equipos eléctricos, consumo estimado (W), horas de uso/día.</p> <p>Instrumentos para el Diseño Técnico del Sistema</p> <p>1. Software de simulación fotovoltaica (PVsyst, HOMER Pro, Helioscope)</p> <p>- Para diseñar, modelar y simular rendimiento del sistema solar.</p> <p>2. Hoja de cálculo técnica (Excel/Google Sheets)</p> <p>- Para balance de energía, cálculos de capacidad, autonomía, baterías.</p> <p>3. Fichas técnicas de componentes (paneles, inversores, baterías, estructuras)</p> <p>- Información de los proveedores para definir el dimensionamiento adecuado.</p>

Variables	Sistematización	Objetivos Específicos	Proceso Metodológico	Instrumentos para la Recolección de Información
<p>Flujo de Caja</p> <p>Gastos de Capital de Inversión</p> <p>Costos Operativos</p> <p>Rentabilidad Social</p>	<p>Se construye un modelo financiero proyectado a 20 años, incluyendo inversión inicial (CAPEX), costos operativos (OPEX) y beneficios económicos directos e indirectos. Se calcula el ahorro frente al uso de diésel, y se proyecta el retorno de la inversión con indicadores como VAN, TIR y LCOE.</p>	<p>Evaluar la viabilidad financiera y administrativo del proyecto</p>	<p>Metodología basada en gestión de proyectos (PMBOK) y análisis financiero clásico.</p>	<p>Instrumentos para Evaluación de Normas y Requisitos Técnicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Normativa RETIE y Reglamento de Alumbrado Público <ul style="list-style-type: none"> - Verificación de cumplimiento normativo colombiano. 2. Checklists o matrices de requisitos técnicos <ul style="list-style-type: none"> - Para evaluar cumplimiento de estándares técnicos y de seguridad <p>Instrumentos para Evaluación Financiera</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Modelo de flujo de caja (Cash Flow Forecast) 2. Tablas de costos e inversiones <ul style="list-style-type: none"> - Detalle de CAPEX (gasto de capital) y OPEX (costos operativos). - Incluye mantenimiento, reposiciones, seguros, administración. 3. Indicadores de rentabilidad social.

Variables	Sistematización	Objetivos Específicos	Proceso Metodológico	Instrumentos para la Recolección de Información
VAN (Valor Actual Neto) TIR (Tasa Interna de Retorno) LCOE (Costo Nivelado de Energía) Flujos de caja	Se evalúan los beneficios sociales derivados de la implementación del sistema (acceso a salud, educación, conectividad, productividad), comparando las condiciones previas y posteriores al proyecto. Se integran indicadores cualitativos y cuantitativos mediante entrevistas, encuestas y análisis de impacto.	Realizar evaluación financiera mediante el análisis de indicadores financieros claves para determinar la viabilidad económica, la rentabilidad de la inversión y los beneficios a largo plazo para la comunidad del AETCR	Metodología basada en gestión de proyectos (PMBOK) y análisis financiero clásico.	- Como el ahorro por usuario, impacto en costo de Diesel, costo/beneficio social. Instrumentos para Evaluación Administrativa 1. Matriz DOFA (FODA). 2. Mapa de actores e interesados 3. Análisis de Riesgos Administrativos Excel: para cálculos de VAN, TIR y flujos de caja- HOMER o PVSyst: para simulaciones técnicas que alimentan el LCOE- Plantillas PMBOK o PMP: para integración con análisis de riesgos y planificación

Nota. Elaboración Propia a partir del análisis del contexto.

Análisis del Entorno – Matriz PESTEL

En el marco del diseño metodológico del proyecto, se aplicó el análisis PESTEL como instrumento de apoyo al diagnóstico del entorno, con el fin de identificar los factores externos que inciden en la formulación y viabilidad del proyecto. A través de este análisis se evaluaron de manera estructurada los aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales relevantes para la implementación del sistema solar fotovoltaico en el área de intervención. Los resultados obtenidos constituyen un insumo fundamental para la identificación de riesgos y oportunidades del proyecto, y sirven de base para la definición de estrategias de gestión orientadas a fortalecer la sostenibilidad técnica, social, ambiental e institucional, conforme a los lineamientos establecidos por la MGA.

Tabla 8*Diagrama PESTEL*

Factor PESTEL	Riesgo identificado	Categoría del riesgo (PMI)	Estrategia de gestión del riesgo (PMI)	Aplicación en la formulación del proyecto
Político	Cambios en prioridades gubernamentales o reducción del apoyo institucional a proyectos en ZNI	Riesgo externo / estratégico	Mitigar	Alinear el proyecto con políticas nacionales vigentes (transición energética, reincorporación y ODS) y documentar su coherencia con planes y programas oficiales. Definir claramente actores institucionales, supuestos y restricciones en la formulación MGA y gestión de interesados.
Político	Retrasos por cambios administrativos o institucionales	Riesgo de cronograma	Mitigar	Identificar fuentes de financiación pública, incentivos FNCER y analizar costos–beneficios para demostrar viabilidad económica.
Económico	Insuficiencia de recursos financieros para la implementación futura	Riesgo financiero	Mitigar	Realizar presupuestos con costos de referencia actualizados y análisis de sensibilidad económica.
Económico	Variación en precios de equipos o condiciones del mercado	Riesgo de costos	Aceptar / Mitigar	Incorporar la gestión de interesados: identificación de
Social	Baja apropiación comunitaria o resistencia al proyecto	Riesgo social / de interesados	Mitigar	

Factor PESTEL	Riesgo identificado	Categoría del riesgo (PMI)	Estrategia de gestión del riesgo (PMI)	Aplicación en la formulación del proyecto
				actores, participación comunitaria y beneficios sociales claros del proyecto.
Social	Limitada capacitación local para operación y mantenimiento	Riesgo operacional	Mitigar	Incluir en la formulación la necesidad de capacitación técnica básica y transferencia de conocimiento.
Tecnológico	Fallas técnicas del sistema o incompatibilidad tecnológica	Riesgo técnico	Mitigar	Seleccionar tecnologías probadas para sistemas off-grid y definir criterios técnicos claros en la formulación.
Tecnológico	Dificultades en mantenimiento por ubicación geográfica	Riesgo operacional	Mitigar	Considerar diseño modular, facilidad de mantenimiento y acceso a repuestos en el análisis técnico.
Ambiental	Eventos climáticos extremos que afecten el sistema	Riesgo ambiental	Mitigar	Diseñar el sistema considerando condiciones climáticas locales y criterios de diseño resiliente.
Ambiental	Gestión inadecuada de residuos al final de la vida útil	Riesgo ambiental	Mitigar	Incorporar lineamientos básicos de gestión ambiental y disposición de equipos, conforme a normativa vigente.
Legal	Cambios normativos que afecten incentivos o requisitos	Riesgo legal	Aceptar / Mitigar	Formular el proyecto conforme al marco legal vigente (Ley 1715, decretos y regulación ZNI)

Factor PESTEL	Riesgo identificado	Categoría del riesgo (PMI)	Estrategia de gestión del riesgo (PMI)	Aplicación en la formulación del proyecto
				y documentar supuestos normativos.
Legal	Incumplimiento de requisitos técnicos o regulatorios	Riesgo de cumplimiento	Evitar	Verificar desde la formulación el cumplimiento de normas técnicas y legales aplicables a proyectos FNCER.

Nota. Elaboración Propia a partir del análisis del contexto.

Metodología de Preselección de Alternativas

Para seleccionar la alternativa óptima de solución para la electrificación del AETCR San José de Oriente en vereda Tierra Grata, Manaure - Cesar, se efectuará análisis costo/beneficio por usuario servido, tomando como referencia las tres (3) alternativas de solución de electrificación propuestas por (UPME, 2019) para la prestación del servicio:

Interconexión al Sistema Interconectado Nacional – SIN.

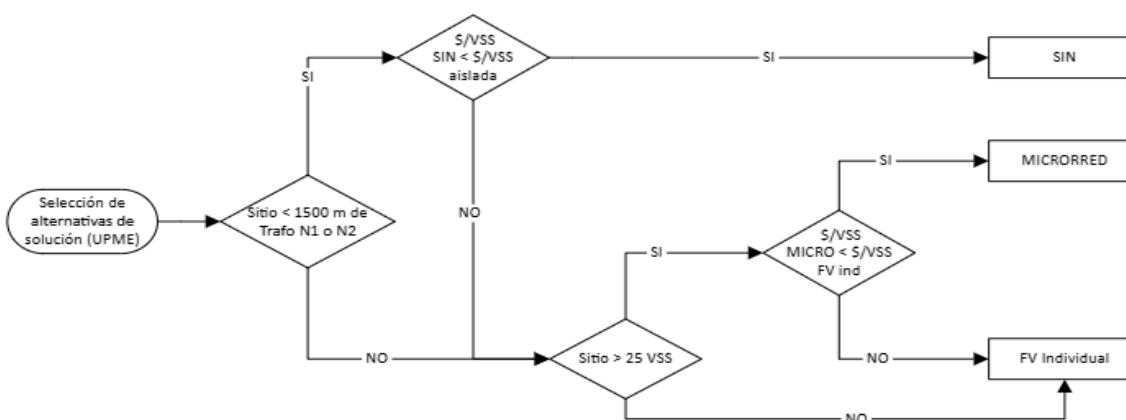
Generación aislada con solución individual solar fotovoltaica.

Soluciones aisladas híbridas con microrredes/Comunidades Energéticas.

Se estimará entonces el costo de la alternativa de interconexión al SIN, el costo de implementación de una solución fotovoltaica aislada individual y el costo de soluciones a través de la implementación de microrredes o comunidades energéticas; para luego comparar las diferentes alternativas y elegir la alternativa viable por su configuración técnica y su costo, teniendo en cuenta su ubicación geográfica en el territorio colombiano. El diagrama de flujo para evaluar las alternativas es el que se muestra en la figura 20.

Figura 20

Diagrama de Flujo del Proceso de Selección de Alternativas de Electrificación



Nota. Adaptada de (UPME, 2019).

De acuerdo con el diagrama anterior, se tiene que para el caso de viabilidad de la interconexión al SIN se tienen dos restricciones, que el sitio se encuentre a menos de 1,5 km de un transformador Nivel 1 (menos de 1000 V) o un transformador Nivel 2 (menos de 30 kV) y que el costo de inversión por VSS sea menor al de una solución aislada (UPME, 2019).

Por otro lado, en caso de que una de estas dos condiciones no se cumpla, se deberá validar si la cantidad de VSS es superior a 25, y se selecciona la solución con menor costo por usuario servido entre una solución individual y una microrred o comunidad energética (UPME, 2019).

Localización

En este contexto, lo primero es validar la ubicación de la zona respecto a las redes de Media Tensión del OR Afinia; en la Figura 20 se presenta una imagen de la Base de Datos de Instalaciones BDI de Afinia (Afinia/CaribeMar de la Costa S.A.S. E.S.P., 2025) y en la Tabla 8 los principales datos del sitio y la red de más cercana. Para interconectar el AETCR al SIN, desde el último transformador cercano al perímetro del AETCR San José de Oriente sería necesario construir una línea de Media Tensión, MT de 2.521 km, y 1.5 km en redes de Baja Tensión, BT; construcción que oscila en \$1.105.961.853 COP, los precios de la construcción ya están tabulados según costos por kilómetro de redes eléctricas de media tensión de acuerdo con diseño y Resolución CREG 098-2014.

Figura 21

Localización Vereda Tierra Grata (zona rural Manaure, Cesar)



Nota. Imagen de Google Earth con georreferencia de la Vereda Tierra Grata tomada de (Afinia/CaribeMar de la Costa S.A.S. E.S.P., 2025).

Tabla 9

Datos de Red de MT más Cercana

Información Técnica de la Red	
Nivel de tensión nominal [kV]	13,2
Circuito Origen	Balcón del Cesar 2
Subestación	Manaure
Distancia [km]	2,5
Conductor	ACSR 1/0
Tipo de red	Aérea

Nota. Elaboración propia a partir de (Afinia/CaribeMar de la Costa S.A.S. E.S.P., 2025).

Preselección de Alternativas de Solución

Considerando las variables a indicadas por la UPME en el diagrama de flujo presentado en la Figura 19, para proceder con la primera parte de la preselección de la alternativa para el AETCR San José de Oriente se requieren los datos de la tabla.

Tabla 10

Información Requerida Para la Preselección

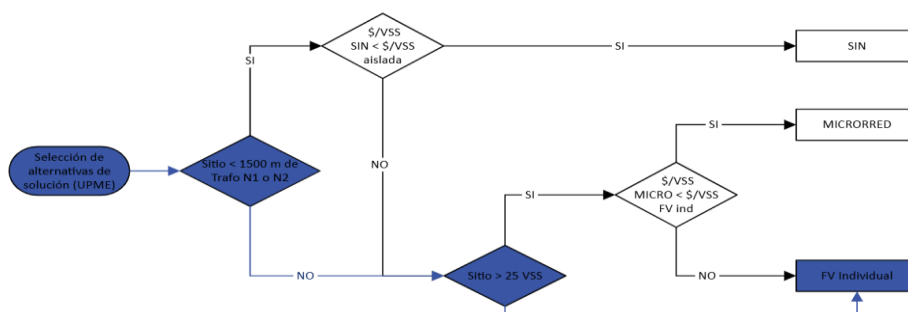
Descripción	Valor
Número de VSS	15
Distancia al Trafo N1 o N2 más cercano	2500 m
Costo por usuario servido por tecnología	Por definir

Nota. Elaboración propia a partir de (Agencia para la Reincorporación y la Normalización - ARN, 2022) (Afinia/CaribeMar de la Costa S.A.S. E.S.P., 2025) (UPME, 2019).

Aplicando la metodología, es posible determinar la solución, como se observa en las ramas del diagrama de flujo coloreadas de azul de la Figura 22. Dado que el sitio se encuentra a más de 1500 m de la red más cercana y se plantea una solución para menos de 25 VSS, el conjunto de soluciones se reduce a una solución fotovoltaica individual.

Figura 22

Diagrama de Flujo del Proceso de Selección de Alternativas Aplicado al Proyecto



Nota. Adaptada de (Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME, 2019)

Estudios

Estudio Técnico-Financiero de la Solución

En el presente capítulo se aborda lo correspondiente al estudio técnico y la valoración financiera del proyecto o CAPEX para determinar las características y costos de la solución preseleccionada para cada unidad habitacional.

Estudio Técnico

Fuentes de Energía No Convencionales de Energía FNCER

Las fuentes no convencionales de energía (FNCER) son aquellas que no provienen de combustibles fósiles ni de grandes hidroeléctricas; son sostenibles, renovables y tienen bajo impacto ambiental. En Colombia, estas fuentes primarias inagotables con capacidad de regeneración, en un periodo de tiempo inferior al de su uso, están promovidas por la Ley 1715 de 2014. Estas fuentes están conformadas por: solar, eólica, pequeñas centrales Hidroeléctricas (PCH), biomasa, geotérmica, mareomotriz y nuclear. La energía solar que aprovecha la radiación del sol mediante paneles solares (Sistemas Solares Fotovoltaicos - SSFV); la disponibilidad de la fuente está sujeta a la geografía, los recursos como el sol tiene alto potencial de explotación en sitios específicos. La capacidad de generación está asociada directamente a la disponibilidad del recurso y este puede presentar grandes variaciones de una hora a otra o entre el día y la noche García et al. (2013).

Sistemas Solares Fotovoltaicos SSFV

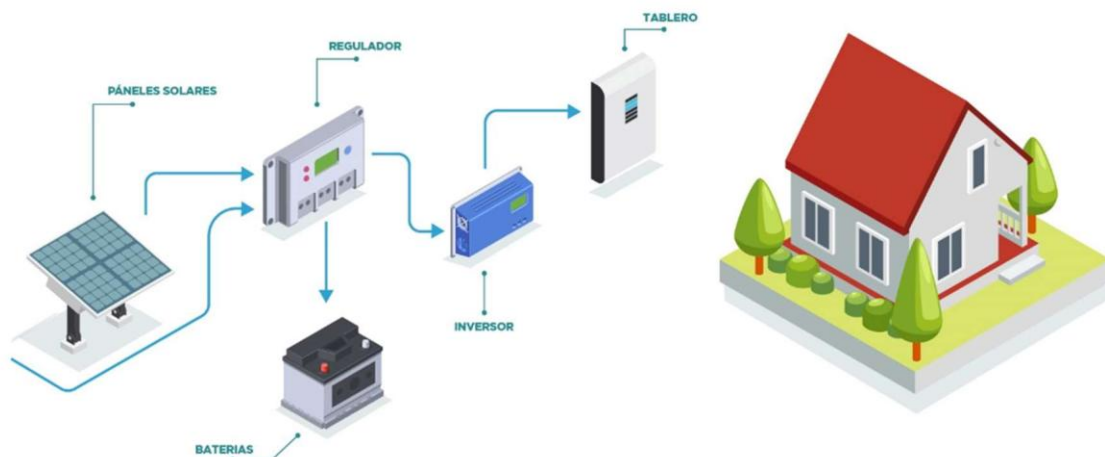
Los inicios de la tecnología de la generación fotovoltaica datan del siglo XIX. En sus escritos (Galdabini, 1991) dice que el físico francés Edmound Becquerel (1839) evidenció su descubrimiento del efecto fotovoltaico al observar que ciertos materiales producían cantidades pequeñas de corriente eléctrica cuando se exponían a la luz, “observó que por la acción de un rayo

de luz del sol sobre dos líquidos diferentes, que interactúan químicamente y cuidadosamente superpuestas en un recipiente de vidrio, una corriente eléctrica se desarrolló, como se indica por un galvanómetro muy sensible conectada con dos placas de platino sumergiendo en las dos soluciones diferentes” (Becquerel, 1867). Este sería el momento inicial para el desarrollo de la tecnología de la energía fotovoltaica. En la actualidad los Sistemas Solares Fotovoltaicos - SSFV siguen siendo la tecnología más utilizada, a nivel mundial, para las soluciones de suministro de energía en zonas aisladas, de acuerdo con lo expuesto por la Agencia Internacional de la Energía, en la actualización del mercado de energía renovable, (UPME, 2019).

En Colombia, la implementación de estos proyectos tecnológicos (SSFV) no han sido la excepción, debido a los costos competitivos que la misma tendencia del mercado ha promovido y por los beneficios tributarios otorgados por la Ley 1715 de 2014; a esto se suma también el geoposicionamiento y favorable índice de radiación solar en Colombia, que impulsa a que estos proyectos tengan mayor relevancia frente a otras tecnologías de generación desde fuentes renovables.

Por lo expuesto anteriormente, el presente estudio considera escenarios basados principalmente en el uso de SSFV, pero no desconoce el potencial de otras tecnologías, como las pequeñas turbinas eólicas, las PCH, biomasa, entre otras, para el suministro de energía en las ZNI.

En la Figura 23 se esquematizan los elementos que pueden llegar a conformar una solución aislada individual según lo concebido en el presente estudio.

Figura 23*Esquema de Solución Fotovoltaica Aislada Individual*

Nota. Tomado de (UPME, 2019).

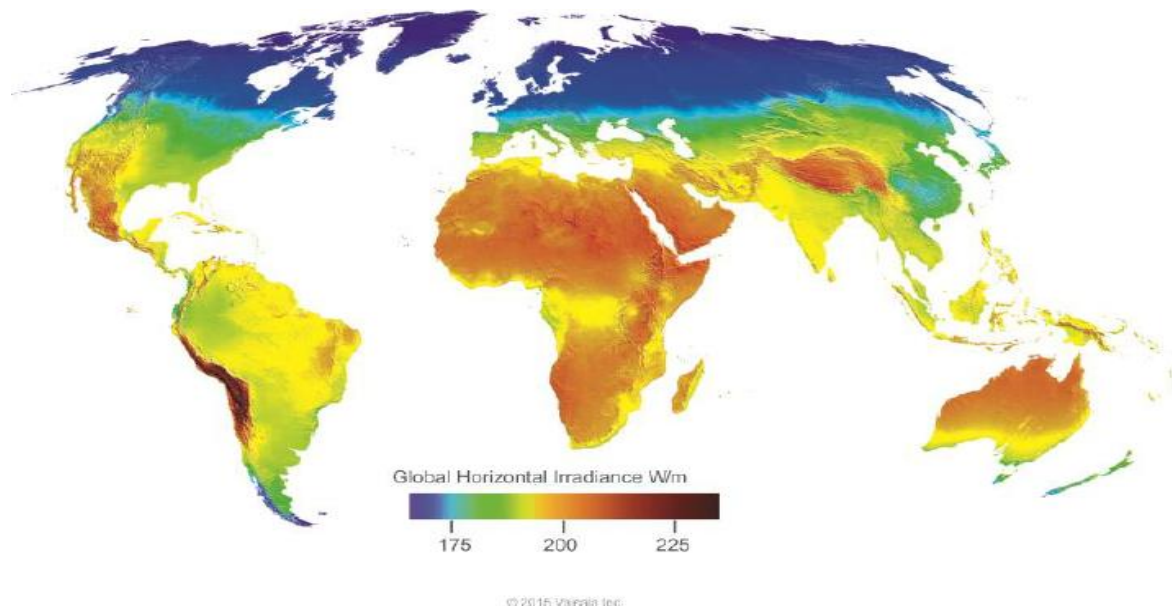
Las superficies (paneles solares) son células formadas por una a o varias láminas de materiales semiconductores, en la mayoría de los casos silicio, y recubiertas por un vidrio transparente que deja pasar la radiación solar y minimiza las pérdidas. Las células se agrupan en módulos para su integración en sistemas fotovoltaicos. Los módulos tienen una vida estimada de 30 años y su rendimiento después de 25 años está por encima del 80% y, aun así, se continúa investigando para incrementar su eficiencia (Sunedison, 2015). Los SSFV deben cumplir su función principal y garantizar la seguridad de las personas; el sistema debe estar en la capacidad de tomar los rayos solares incidentes y convertirlos en energía eléctrica para luego entregarla a las cargas destinadas asegurando ciertas condiciones de funcionamiento de acuerdo con el medio local donde se implemente y la seguridad de la población alrededor del mismo (Suárez Rozo, 2010).

Irradiación Solar

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. La cantidad de energía calórica por unidad de área, en la superficie terrestre se denomina irradiación y se expresa en Watt/m².

Figura 24

Mapa de Irradiación Solar Mundial



Nota. Tomado de (Vaisala Inc., 2015).

Para que una solución solar fotovoltaica sea viable, es necesario contar con una irradiación solar con un potencial alto, de forma que se aproveche de mejor manera el recurso. En lo que respecta al municipio de Manure – Cesar, donde se encuentra ubicado la vereda Tierra Grata, es una de las regiones que presenta un potencial superior a nivel nacional en cuanto a irradiación solar con 4,8 kWh/m² /día (MME, 2024); además en este lugar la irradiación directa para la generación de electricidad tiene un mejor rendimiento ya que la concentración de radiación de luz emitida por el sol, presenta condiciones constantes, sin dejar de lado su magnitud.

Figura 25

Mapa de Potenciales para Comunidades Energéticas (Manaure – César)



Nota. Tomado de (MME, 2024).

Con este valor es posible evaluar la solución conforme con la disponibilidad del recurso solar, y así determinar la cantidad óptima de paneles, baterías e inversores.

Consideraciones Para el Diseño de un SSFV

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Sigla en Inglés IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers), organización profesional internacional dedicada al avance de la tecnología en beneficio de la humanidad y reconocida por promocionar la investigación en ingeniería y publicar normas científicas y técnicas, como las de redes Wi-Fi o Ethernet, señala que el diseño de los sistemas fotovoltaicos debe tener ciertas características que permitan garantizar su calidad o que permitan su uso para la aplicación para la cual se diseñó (Suares R., 2010). Resalta que los sistemas fotovoltaicos deben estar diseñados para garantizar el buen funcionamiento del sistema y que deben poseer la capacidad de absorber los rayos solares incidentes y convertirlos en

energía eléctrica para luego entregarla a las cargas destinadas (residenciales, comerciales e industriales) asegurando ciertas condiciones de funcionamiento.

En el Código Eléctrico Colombiano vigente, Norma Técnica Colombiana NTC 2050 (2.^a edición), se definen los requisitos mínimos para las instalaciones eléctricas de baja tensión en inmuebles residenciales, comerciales e industriales. Estos lineamientos se encuentran en la Sección 220, titulada “Cálculo de los circuitos alimentadores, ramales y acometidas”, y deben aplicarse en conjunto con el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas).

En el caso de viviendas residenciales, estos requisitos permiten determinar las cargas, circuitos y acometidas con base en la demanda eléctrica proyectada. Para el cálculo de la carga total, la norma establece que los primeros 8 kVA se consideran al 100 % y el excedente se calcula aplicando un factor de demanda del 40 %.

Componentes de un SSFV Aislado.

Módulo Fotovoltaico. Componente en el cual se transforma la energía de la radiación solar (energía de los fotones) en energía eléctrica directa; están contruidos con determinados semiconductores contruidos principalmente en silicio monocristalino y policristalino. Su potencia nominal es el Vatio Pico (Wp), que corresponde a la potencia máxima que puede generar dicho módulo, a 25°C de temperatura y con una irradiancia de 1kW/m². Su producción de corriente eléctrica de acuerdo con el voltaje fijo para el panel varía con la temperatura, lo cual especifica el fabricante del panel en la forma de curvas de potencia.

Regulador de Carga. Dispositivo responsable controlar la carga de la batería y protegerla contra sobrecargas. Cuando este elemento detecta que la batería está siendo sobrecargada, desconecta el generador FV y las cargas del sistema.

Batería o Banco de Baterías. Son los encargados de almacenar la energía producida por los módulos solares: la energía producida en las horas del día, no utilizada es almacenada en la batería para ser utilizada en las horas de la noche.

Carga. Son los consumos o cargas que el sistema debe satisfacer, demanda energética, puede ser CD o AC. Las cargas que el SSFV ha de satisfacer (iluminación, radio, TV, bombas, etc.), pueden ser DC o AC. Se considera a los consumos como una parte substancial del sistema fotovoltaico ya que estos son los que determinan el tamaño de este.

la Tabla 12 presenta los componentes requeridos para suplir la demanda de cada una de las unidades habitaciones.

Figura 26*Características Principales de los Componentes para el Análisis de Soluciones Aisladas**Individuales y sus Costos por Unidad*

Equipo	Características	Costo unitario
Panel Solar Monocristalino 	Potencia Pico: 1.5 kWp Dimensiones: 2.2 x 1.1 x 0.045 m Tensión a Pot. Max.: 33.8 VDC Peso 25 Kg Eficiencia del Módulo: 19.4% Temperatura de Operación -40° C +85°C Degradación 25 años	\$ 3.800.000.00
Bateria Estacionaria 	5 kWh útiles, 12V DC Vida útil: 5 años Max. relación Carga: (A/Ah) =1	\$ 8.000.000.00
Inversor 	3 KVA Eficiencia 98% MPPT integrada: 24V Peso 45 Kg Temperatura de Operación -25° C +60°C	\$ 3.500.000.00
Soporte Panel 	Dimensiones: Peso 50 Kg	\$ 1.100.000.00
Estructura y Cableado		\$ 2.000.000.00
Herramientas y transporte 22% del costo total de los equipos		\$ 129.844.000.00

Nota. Elaboración propia a partir del análisis del contexto

Demanda de Energía

De acuerdo con la (UPME, 2004) el consumo mensual promedio de electricidad en un hogar colombiano es de 157 kWh; no obstante, este valor puede variar según la zona climática. En regiones frías (con alturas superiores a 1000 msnm) se estima un consumo aproximado de 130 kWh; mientras que, en zonas cálidas (con alturas inferiores a 1000 msnm) como es el caso de Manaure con una altura sobre el nivel del mar de 775 m, se puede alcanzar consumos de 173 kWh/mes. Esta información estadística es también referencia para la dimensión de las cargas eléctricas a instalar, reflejando una potencia simultánea total de 480W y una energía diaria necesaria, por vivienda de 5.766,6 Wh/día.

Información Recolectada

Mendoza Palacios, (2006) concluye que la investigación cuantitativa “es la que analiza diversos elementos que pueden ser medidos y cuantificados. Toda la información se obtiene a base de muestras de la población, y sus resultados son extrapolables a toda la población, con un determinado nivel de error y nivel de confianza.”

Así las cosas, para el proyecto planteado se diseñaron instrumentos de medición (encuestas y entrevistas) que permitieron recolectar información primaria de la población objeto de estudio, logrando con esto tabular e interpretar la información consignada en los instrumentos e identificar las necesidades energéticas de los habitantes objeto de estudio. Igualmente, con el apoyo de un juicio de expertos en el tema se logró calcular, teniendo en cuenta las necesidades de la población, la demografía, las condiciones ambientales, sociales y topográficas de la zona, las características técnicas mínimas requeridas que deben cumplir los paneles solares para suplir la necesidad

energética de los hogares beneficiarios; con esto se proyectó los costos de adquisición de los materiales necesarios para cumplir este objetivo.

Resultados

La comunidad de AETCR San José de Oriente posee una población de 261 personas aproximadamente entre las cuales están niños, jóvenes, adultos y entre ellos existen quienes integran alianzas productivas por lo que se generan diferentes necesidades, estas son:

Para los niños se presenta la necesidad de tener aulas con energía para poder utilizar los computadores, Tablet, videobeam, abanicos e iluminación que les garantizan el buen desempeño de sus actividades académicas en las aulas y biblioteca del plantel educativo.

Para el funcionamiento de las alianzas productivas es necesario el servicio de energía para que funcionen los equipos de carpinterías, las máquinas de ornamentación y costura, al igual que el uso de los computadores de las oficinas de transportes y los refrigeradores de alimentos de la Cooperativa COOMPAZCOL.

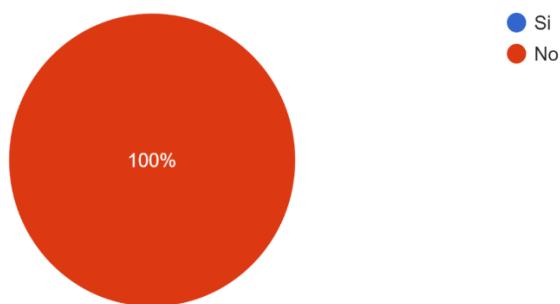
Después de aplicar la técnica de recolección de datos encuesta a la muestra 1 se obtiene como resultado que el 100% de los encuestados presenta una falta de servicio de energía permanente al no contar con el fluido eléctrico de manera permanente, lo que les ha venido afectando en diferentes áreas de sus actividades como son el 42.9% en productividad y actividades detenidas y el 14,3% se han visto afectado en la utilización de los equipos de electrónicos como se muestra a continuación:

Figura 27

¿Tiene Usted Servicio de Energía Permanente?

¿Tiene usted servicio de energía permanente?

7 respuestas



Nota. Elaboración propia

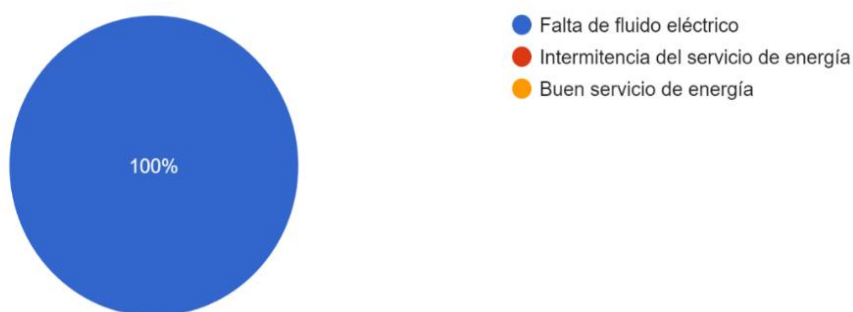
Los resultados evidencian una problemática crítica relacionada con el acceso al servicio de energía eléctrica en el Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (AETCR) San José de Oriente, ubicado en la vereda Tierra Grata de Manaure, Cesar, ya que el 100% de los participantes manifestó verse afectado de manera constante por la falta de fluido eléctrico. Esto indica que la comunidad no cuenta con un suministro energético estable ni continuo, situación que impacta negativamente las actividades cotidianas, productivas y sociales de los habitantes. Asimismo, el hecho de que las opciones “intermitencia del servicio de energía” y “buen servicio de energía” obtuvieran un 0% refleja que el problema no se relaciona con fallas ocasionales o deficiencias parciales del servicio, sino con una ausencia total o permanente de acceso a la energía eléctrica.

Figura 28

De las Sigüientes Opciones ¿Cuál le Afecta de Manera Constante?

De las siguientes opciones ¿cuál le afecta de manera constante?

7 respuestas



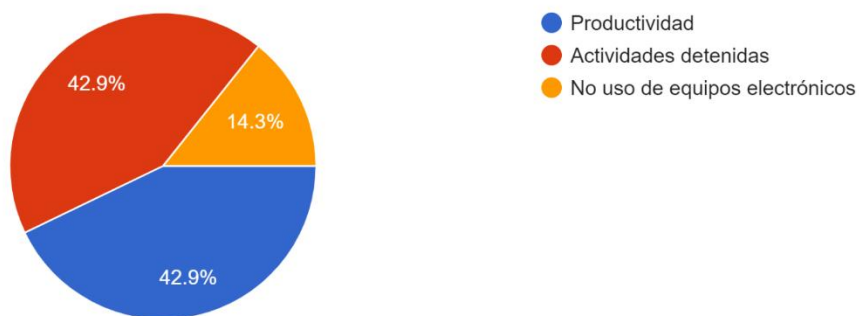
Nota. Elaboración propia

La falta de fluido eléctrico en el AETCR San José de Oriente afecta principalmente la productividad y el desarrollo normal de las actividades diarias, ya que el 42,9% de los participantes manifestó que esta problemática disminuye su capacidad productiva y otro 42,9% señaló que muchas actividades se ven detenidas por la ausencia de energía. Esto demuestra que el acceso limitado a la electricidad constituye una barrera significativa para el desarrollo económico y social de la comunidad. Asimismo, un 14,3% indicó que la carencia de energía impide el uso de equipos electrónicos, lo que limita procesos de comunicación, formación y trabajo.

Figura 29*¿En qué Aspecto le Afecta?*

Si su respuesta fue falta de fluido eléctrico ¿En que aspecto le afecta?

7 respuestas

*Nota.* Elaboración propia

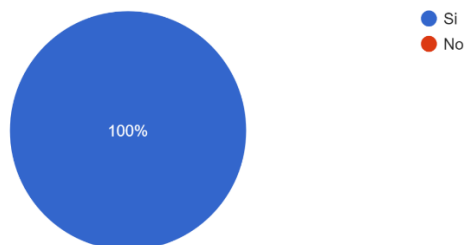
Se evidencian una aceptación total por parte de la población encuestada frente a la implementación de sistemas alternativos de energía solar como estrategia para mitigar la falta de energía eléctrica en el Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reinserción (AETCR) San José de Oriente, ubicado en la vereda Tierra Grata de Manaure, Cesar. El hecho de que el 100% de los participantes respondiera afirmativamente demuestra la percepción positiva y la confianza que existe hacia la energía solar fotovoltaica off-grid como una solución viable, sostenible y eficiente para atender las necesidades energéticas de la comunidad.

Figura 30

¿Cree Usted que un Sistema Alterno de Energía Solar es Buena Alternativa Para Mitigar la Falta de Energía?

¿Cree usted que un sistema alternativo de energía solar es una buena alternativa para mitigar la falta de energía?

7 respuestas



Nota. Elaboración propia

Para la muestra 2 los resultados de la encuesta para la población de estudio entre los 18 y 50 años que indican en el 100% que no cuentan con servicio de energía permanente, pero si tuvieran la oportunidad de tener fluido eléctrico podrían tener acceso a otros servicios según lo encuestado son en un 29% tendría la oportunidad de un trabajo digno. el 19,4% podrían tener acceso a un equipo de odontología; otro servicio importante para ellos y que tuvo un 22,6% de escogencia fue el servicio de agua de un pozo artesano lo que ayudaría a dignificar sus vidas. El sistema de alcantarillado en un 12,9% y con el 16,1% el equipo de enfermería son los dos servicios con menor escogencia, sin embargo, no quiere decir que no son igual de importantes que los demás y sigue siendo la alternativa del SFC la mejor opción de mitigación en un 80,6%.

Figura 31

Resultados de la Encuesta



Nota. Elaboración propia

La muestra 3 corresponde a la población de niños y adolescentes entre los 5 y los 18 años para determinar los factores que se ven afectados por la falta de energía en la comunidad así el 38,1% se ve afectado por la no utilización de la sala de sistemas y la biblioteca sin servicio de internet lo que permite que no desarrollen sus actividades escolares, así como el 23,8% se ve perjudicado el uso de los abanicos y las luces de las aulas de clases cuando no tienen luz.

Figura 32

¿Cree usted que un sistema alternativo de energía solar es una buena alternativa para mitigar la falta de energía?



Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos evidencian una percepción ampliamente favorable hacia la implementación de sistemas alternos de energía solar en el AETCR San José de Oriente, ya que el 80,6% de los encuestados considera que esta tecnología representa una buena alternativa para mitigar la falta de energía en la comunidad. Este alto porcentaje refleja el reconocimiento de la energía solar fotovoltaica como una solución viable, sostenible y pertinente para atender las necesidades energéticas de la vereda Tierra Grata, especialmente en contextos donde el acceso al servicio eléctrico puede ser limitado o inestable. Por otro lado, el 19,4% de las respuestas negativas sugiere la existencia de ciertas dudas o limitaciones relacionadas posiblemente con factores económicos, técnicos o de desconocimiento sobre el funcionamiento y beneficios de estos sistemas.

Figura 33

¿Qué Ocurre Cuando no Hay Energía?



Nota. Elaboración propia

El 38,1% de los encuestados manifestó que, cuando no hay energía, se interrumpe el servicio de internet en las aulas y la biblioteca, mientras que otro 38,1% indicó que no se puede utilizar la sala de computadores, lo que limita el desarrollo de actividades académicas, investigativas y tecnológicas. Asimismo, el 23,8% señaló que no pueden utilizarse los abanicos y las luces, afectando las condiciones de confort y permanencia en los espacios de formación.

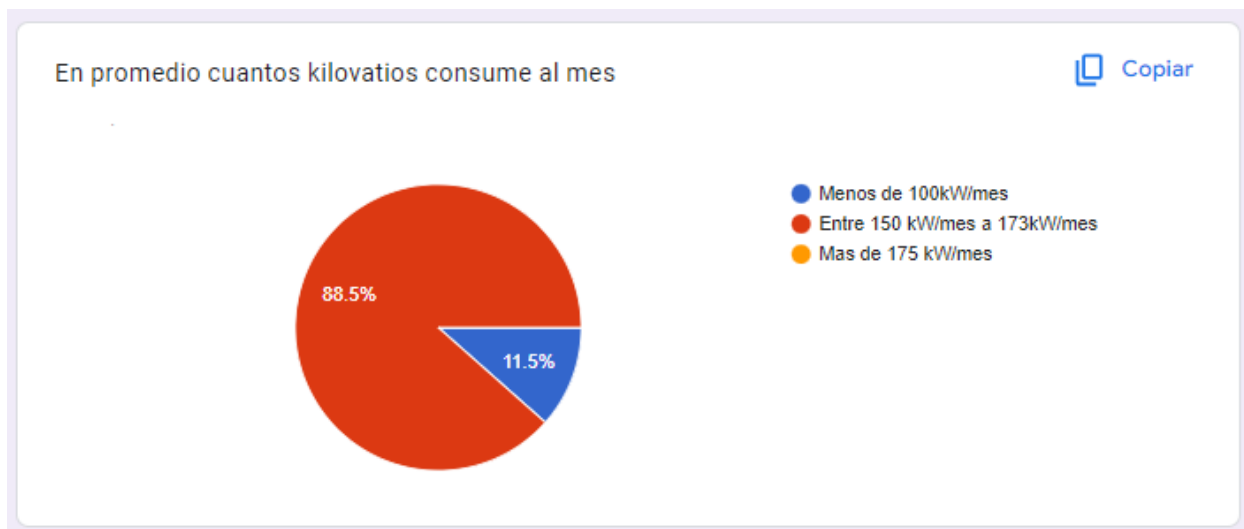
Figura 34*Resultados de la Encuesta*

Nota. Elaboración propia.

Para poder evaluar la capacidad necesaria para suministrar la energía requerida a cada vivienda según el consumo que gasta cada una de acuerdo con los electrodomésticos que utilizan lo que nos resultó que un 23,1% posee televisor, el 19,2% nevera y el 15,4% posee cargador de celular y licuadora en sus viviendas.

Figura 35

En promedio cuantos kilovatios consume al mes



Nota. Elaboración propia

La población del AETCR San José de Oriente presenta un consumo energético relativamente bajo, ya que el 11,5% de los encuestados consume menos de 100 kW/mes, mientras que otro grupo registra consumos entre 150 y 173 kW/mes. Esta información permite inferir que las necesidades energéticas de la comunidad son variables, lo que resulta fundamental para la formulación del proyecto solar fotovoltaico off-grid, debido a que el dimensionamiento del sistema deberá ajustarse a diferentes niveles de demanda eléctrica

Figura 36

¿Cree Usted que un Sistema Fotovoltaico Mejorara la Calidad del Servicio de Energía?



Nota. Elaboración propia.

El consumo de subsistencia también depende de la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra el municipio de la población objetivo. El municipio de Manaure – Cesar está por debajo de los mil metros (<1.000 m.s.n.m) de altura sobre el nivel del mar, el consumo de subsistencia es fijado por el Gobierno Colombiano en 173 kWh. Se anexa cartilla de consumos de electrodomésticos designados por el comercializador Afinia Grupo EPM, mediante el cual se efectuó el cálculo del consumo para los módulos habitacionales en San José de Oriente:

Figura 37

Cartilla de Consumos de Electrodomésticos



Nota. Imagen tomada de (afinia Grupo-epm, 2021).

Cargas de la Instalación SSFV Proyectado.

A los habitantes del AETCR San José de Oriente (población objetivo), se implementaría un sistema fotovoltaico el cual será calculado de acuerdo con el siguiente cuadro de cargas o consumos hipotéticos. Se tomó de base los resultados de la encuesta los cuales son subsecuentes con el consumo de subsistencia en Colombia: 173 kWh-mes (Resolución 355 de 2004 MME), para municipios cuya altura sea inferior a 1000 msnm, como es el caso de AETCR.

Tabla 11

Estimación del Consumo Eléctrico de las Cargas en el AETCR

Tipo de Carga	Cantidad	Voltaje (V)	Potencia (W)	Total, Energía (Wh/día)
Módulos Habitacionales	15	120	480	86400
Bomba Sumergible 20 hp	1	440	17553	140424
Nevera para Vacunas 480 Lt	2	120	277	6648
Ventiladores	10	120	100	12000
Computador	18	120	200	43200
Luces Led	60	120	90	64800
Botelleros 19 pies	2	120	493	11832
Enfriador de 2 cuerpos	2	120	987	23688
Sierra Eléctrica	3	120	1500	36000
Lijadora Eléctrica	3	120	1000	24000
Taladro Eléctrico	2	120	800	12800

Tipo de Carga	Cantidad	Voltaje (V)	Potencia (W)	Total, Energía (Wh/día)
Extractor de Polvo	2	120	2000	32000
Fresadora	1	120	1550	12400
Cortadora Eléctrica	2	120	500	8000
Máquina de coser	8	120	600	38400
Máquina Overlock	2	120	200	3200
Plancha	2	120	1500	6000
Consumo diario total			Wh/día	561792

Nota. Elaboración propia a partir del análisis del contexto.

Análisis de los Resultados

El AETCR San José de Oriente es una comunidad ubicada en el departamento del Cesar, el cual presenta una deficiencia en el servicio de energía debido a que no cuentan con la suficiente potencia para poder utilizar sus electrodomésticos y desarrollar sus actividades cotidianas como ir a la escuela, realizar trabajos en la comunidad y el funcionamiento de alianzas productivas.

La herramienta de investigación utilizada para recolectar la información fue la encuesta la cual nos arrojó que la comunidad está necesitando la instalación de un sistema fotovoltaico por medio de paneles solares que cubra un consumo mínimo de 561792 Wh/día con los cuales estarían funcionando de manera correcta cada electrodoméstico de los quince (15) módulos habitacionales, la carga de las seis (6) iniciativas productivas, el proyecto productivo (cooperativa), aulas, biblioteca, enfermería y bomba sumergible para la distribución de agua potable en el AETCR.

Capacidad del Proyecto

La capacidad del proyecto solar off-grid para San José de Oriente depende la demanda energética del AETCR San José de Oriente, la irradiación solar de la zona, la eficiencia de los paneles solares, la capacidad de las baterías para el almacenamiento de energía y la selección eficiente de inversores necesarios para convertir la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA).

Las necesidades energéticas actuales del AETCR San José de Oriente de acuerdo con el cálculo de demanda es de 562 kWh/día. En la categoría de hora pico solar, se aprecia la irradiación solar promedio en el punto de la instalación se encuentra entre 4,5 y los 5,5 kilovatios hora metro cuadrado útil año (kWh/m²), superior al promedio nacional (4,5kWh/m²) que impacta en la energía total producida por los paneles solares instalados, esta generación total mensual de igual manera que la irradiación solar puede disminuir o aumentar dependiendo del comportamiento del

sol en el transcurso del mes, produciendo para una irradiación de 4,5 kWh.m² en promedio, con máximo de 5,5 kWh-día.

Tamaño del Sistema

La cantidad de paneles solares necesarios depende entonces de varios factores, entre ellos:

La irradiación solar del área, es decir cuánta energía solar llega al lugar por día; en el caso de San José de Oriente según el IDEAM el mínimo de irradiación es de 4.5 kWh/m².

La eficiencia de los paneles solares, la cual varía dependiendo de la marca y el modelo.

La orientación y el ángulo de instalación de los paneles solares.

La capacidad de almacenamiento de las baterías para almacenar la energía generada durante el día, para su uso durante la noche o en días nublados. Esta capacidad dependerá de la cantidad de energía que se necesita almacenar para cubrir la demanda durante el periodo sin sol, la autonomía deseada, es decir, cuántos días debe funcionar el sistema sin generación solar, las baterías generalmente se miden en amperios-hora (Ah) o kilovatios-hora (kWh), y su cantidad dependerá de la demanda energética y de la capacidad del sistema de paneles solares.

Factores para detallar ampliamente en la sección de Ingeniería del Proyecto

Para cuantificar cuántos paneles solares de 1.5 kWp se requieren para cubrir 561,792 Wh/día, es necesario convertir la demanda diaria a kWh: $561,792 \text{ Wh/día} = 561.792 \text{ kWh/día}$.

La producción diaria de un panel de 1.5 kWp depende de las horas solares pico (HSP) del lugar. El promedio común en muchas zonas de Colombia según el IDEAM es de 5 HSP, lo que conduce a una producción diaria por panel:

$$1500 \text{ Wp} \times 5 \text{ h} = 7,500 \text{ Wh} = 7.5 \text{ kWh/día por panel}$$

Cálculo del número de paneles:

$$561.792 \text{ kWh/día} \div 7.5 \text{ kWh/día/panel} = 75 \text{ paneles}$$

Se necesitarían 75 paneles de 1.5 kWp para cubrir esa demanda diaria (con 5 horas solares pico).

Oferta del Mercado - Estudio de Mercado

Análisis de la Demanda

El estudio identifica como población objetivo a 15 viviendas del AETCR San José de Oriente, con una demanda energética promedio de 173 kWh/mes por vivienda, para un total estimado de 2.941 kWh/mes (35.292 kWh/año).

El consumo se destina principalmente a iluminación, refrigeración, carga de dispositivos y pequeños electrodomésticos.

La comunidad no cuenta con red eléctrica cercana, lo cual justifica la implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos.

Análisis de la Oferta

La participación del mercado de energía solar en Colombia está experimentando un auge significativo por la creciente demanda de las zonas comerciales y residenciales debido al aumento del precio de los combustibles fósiles y de las facturas de electricidad. Dado que la energía solar es el método eficaz para generar electricidad a los precios más bajos. Por otro lado, el gobierno colombiano está tomando muchas medidas para apoyar el mercado de la energía solar a través de la exención del IVA y los derechos de aduana en máquinas y equipos de generación de energía que también ofrece oportunidades para la inversión extranjera que contribuyen al alza en la cuota de mercado de la energía solar en el período pronóstico.

Entre las principales empresas que operan en el mercado colombiano se destacan Solen Technology, Enel SpA, Changzhou Trina Solar Energy Co. Ltd, Colombian Solar Energy, Ambiente Solar SAS y Grupo Solaer, entre otras.

De acuerdo con el Catálogo tecnológico colombiano para tecnologías de generación y almacenamiento de energía (MME et al., 2025), las soluciones fotovoltaicas se clasifican en tres niveles principales según la escala de consumo y la autonomía requerida:

Tabla 12

Clasificación de Soluciones

Tipo de Solución	Descripción	Aplicación	Nivel de Demanda
SAI Básico (Solar Home System – SHS)	Kit modular con panel, batería y controlador	Iluminación y carga básica	Hasta 80 kWh/mes
SAI Residencial Intermedio (SAI-R)	Sistema con inversor e instalación domiciliar completa	Viviendas permanentes en ZNI	80–250 kWh/mes
Microred Solar Comunitaria	Sistema centralizado con distribución interna	Comunidades completas o centros productivos	>250 kWh/mes

Nota. Tomado de (MME et al., 2025)

Tipo seleccionado para este proyecto: SAI Residencial Intermedio (SAI-R). Porque la demanda caracterizada en el AETCR es ≈ 173 kWh/mes por vivienda, valor ubicado en el rango recomendado para esta categoría.

Los componentes recomendados según el Catálogo tecnológico colombiano para tecnologías de generación y almacenamiento de energía (MME et al., 2025) para Sistemas Fotovoltaicos Aislados son:

Tabla 13

Componentes Recomendados

Componente	Requisitos mínimos recomendados	Razón técnica
Paneles solares monocristalinos	Eficiencia ≥ 19 %	Mayor energía por área cubierta, óptimo para climas cálidos

Componente	Requisitos mínimos recomendados	Razón técnica
Controlador MPPT	95–98 % de eficiencia	Maximiza la captación en días parcialmente nublados
Inversor-cargador 3 kVA onda senoidal pura	Compatibilidad con electrodomésticos sensibles	Evita daños en equipos electrónicos y refrigeración
Baterías de litio LFP o Gel de Ciclo Profundo	≥ 3.000 ciclos de vida útil	Reduce reposiciones y costos operativos a largo plazo
Protecciones RETIE / NTC 2050	DPS, fusibles, puesta a tierra	Seguridad y durabilidad del sistema

Nota. Tomado de (MME et al., 2025)

La conveniencia para el proyecto es del banco de baterías de litio, puesto que reduce el costo a 20 años en comparación con GEL/AGM, según costo por ciclo útil. En cuanto a los criterios de evaluación teniendo en cuenta el catálogo y los datos analizados en el proyecto son (MME et al., 2025):

Tabla 14

Clasificación de Soluciones

Tipo de Solución	Descripción	Aplicación	Nivel de Demanda
SAI Básico (Solar Home System – SHS)	Kit modular con panel, batería y controlador	Iluminación y carga básica	Hasta 80 kWh/mes
SAI Residencial Intermedio (SAI-R)	Sistema con inversor e instalación domiciliar completa	Viviendas permanentes en ZNI	80–250 kWh/mes
Microred Solar Comunitaria	Sistema centralizado con distribución interna	Comunidades completas o centros productivos	>250 kWh/mes

Nota. Tomado de (MME et al., 2025).

Tipo seleccionado para este proyecto: SAI Residencial Intermedio (SAI-R).

Porque la demanda caracterizada en el AETCR es ≈ 173 kWh/mes por vivienda, valor ubicado en el rango recomendado para esta categoría. Los componentes recomendados según el Catálogo tecnológico colombiano para tecnologías de generación y almacenamiento de energía (MME et al., 2025) para Sistemas Fotovoltaicos Aislados son:

Tabla 15

Componentes Recomendados

Componente	Requisitos mínimos recomendados	Razón técnica
Paneles solares monocristalinos	Eficiencia ≥ 19 %	Mayor energía por área cubierta, óptimo para climas cálidos
Controlador MPPT	95–98 % de eficiencia	Maximiza la captación en días parcialmente nublados
Inversor-cargador 3 kVA onda senoidal pura	Compatibilidad con electrodomésticos sensibles	Evita daños en equipos electrónicos y refrigeración
Baterías de litio LFP o Gel de Ciclo Profundo	≥ 3.000 ciclos de vida útil	Reduce reposiciones y costos operativos a largo plazo
Protecciones RETIE / NTC 2050	DPS, fusibles, puesta a tierra	Seguridad y durabilidad del sistema

Nota. Tomado de (MME et al., 2025).

La conveniencia para el proyecto es del banco de baterías de litio, puesto que reduce el costo a 20 años en comparación con GEL/AGM, según costo por ciclo útil. En cuanto a los criterios de evaluación teniendo en cuenta el catálogo y los datos analizados en el proyecto son (MME et al., 2025):

Tabla 16*Criterios de Evaluación*

<i>Nota.</i> Tomado de (MME et al., 2025).	<i>Nota.</i> Tomado de (MME et al., 2025).	<i>Nota.</i> Tomado de (MME et al., 2025).
<p>La conveniencia para el proyecto es del banco de baterías de litio, puesto que reduce el costo a 20 años en comparación con GEL/AGM, según costo por ciclo útil. En cuanto a los criterios de evaluación teniendo en cuenta el catálogo y los datos analizados en el proyecto son (MME et al., 2025):</p>	<p>La conveniencia para el proyecto es del banco de baterías de litio, puesto que reduce el costo a 20 años en comparación con GEL/AGM, según costo por ciclo útil. En cuanto a los criterios de evaluación teniendo en cuenta el catálogo y los datos analizados en el proyecto son (MME et al., 2025):</p>	<p>La conveniencia para el proyecto es del banco de baterías de litio, puesto que reduce el costo a 20 años en comparación con GEL/AGM, según costo por ciclo útil. En cuanto a los criterios de evaluación teniendo en cuenta el catálogo y los datos analizados en el proyecto son (MME et al., 2025):</p>
<p><i>Nota.</i> Tomado de (MME et al., 2025).</p> <p>La conveniencia para el proyecto es del banco de baterías de litio, puesto que reduce el costo a 20 años en comparación con GEL/AGM, según costo por ciclo útil. En cuanto a los criterios de evaluación teniendo en cuenta el catálogo y los</p>	<p><i>Nota.</i> Tomado de (MME et al., 2025).</p> <p>La conveniencia para el proyecto es del banco de baterías de litio, puesto que reduce el costo a 20 años en comparación con GEL/AGM, según costo por ciclo útil. En</p>	<p><i>Nota.</i> Tomado de (MME et al., 2025).</p> <p>La conveniencia para el proyecto es del banco de baterías de litio, puesto que reduce el costo a 20 años en comparación con GEL/AGM, según costo por ciclo útil. En</p>

<i>Nota.</i> Tomado de (MME et al., 2025).	<i>Nota.</i> Tomado de (MME et al., 2025).	<i>Nota.</i> Tomado de (MME et al., 2025).
datos analizados en el proyecto son (MME et al., 2025):	puesto que reduce el costo a 20 años en comparación con GEL/AGM, según costo por ciclo útil. En cuanto a los criterios de evaluación teniendo en cuenta el catálogo y los datos analizados en el proyecto son (MME et al., 2025):	en cuenta el catálogo y los datos analizados en el proyecto son (MME et al., 2025):

Nota. De acuerdo con el Catálogo tecnológico colombiano para tecnologías de generación y almacenamiento de energía (MME et al., 2025) se encontró los siguientes costos para sistemas SAI-R:

Costo de referencia paneles: \$2,900,000 – \$4,500,000 por kWp.

Costo de banco de baterías GEL: \$5,000,000 – \$7,500,000 (pero vida útil menor).

Costo de banco de baterías LFP (litio): \$7,500,000 – \$11,500,000.

Dado que el proyecto tiene horizonte de 20 años:

La selección de litio reduce la necesidad de reposición, y por tanto el costo nivelado del sistema.

Esto refuerza el valor del costo promedio \$26.6 millones por vivienda calculado del proyecto, lo valida tecnológicamente y lo alinea con estándares nacionales recientes.

Por lo tanto, en cuanto a los costos, la instalación de paneles solares en Colombia puede variar considerablemente según diversos factores, como el tamaño del sistema, la marca de los equipos, el tipo de techo, la ubicación geográfica y si el sistema incluye baterías u otros componentes adicionales.

A continuación, se presenta un resumen con los rangos de precios estimados y los principales factores que influyen en su variación:

Estimación de costo

Para viviendas más pequeñas con aproximadamente una capacidad de 1.5 kW, se estima un costo de adquisición e instalación de paneles solares desde \$3.200.000.

Para sistemas residenciales con mayor consumo de kW, se estiman valores entre \$12.000.000 a \$18.000.000 para casas pequeñas, y de \$18.000.000 a \$25.000.000 para casas grandes.

En zonas donde se quiere cubrir casi todo el consumo eléctrico o con sistemas más complejos, los costos pueden superar los COP \$100.000.000.

Se evaluaron tres alternativas tecnológicas: conexión a red convencional, generación con diésel y sistema solar fotovoltaico. El análisis determinó que la opción solar es la más viable técnica y económicamente, considerando el recurso solar promedio de 4.8 kWh/m²·día.

Tabla 17

Viabilidad de Alternativas

Alternativa	Ventajas	Desventajas	Viabilidad
Red eléctrica	Suministro continuo	Costo alto de extensión	Baja

Generador diésel	Implementación rápida	Coste combustible y ruido	Media
Solar FV Off-grid	Energía limpia, modular	Inversión inicial alta	Alta

Nota. Tomado de (MME et al., 2025).

Análisis de la Competencia

En la región existen proyectos similares desarrollados por FAER, FONENERGÍA, Celsia, Enel-X y cooperación internacional (PNUD, FAO). El presente proyecto se diferencia por su enfoque comunitario en población reincorporada y por ajustarse al Decreto 2236 de 2023 sobre Comunidades Energéticas.

Estructura de Precios y Costos

El costo promedio estimado por punto de demanda (20) en el AETCR San José de Oriente, oscila aproximadamente en \$56.4 millones de pesos. Los componentes principales para las viviendas individuales se detallan a continuación:

Tabla 18

Componente para Vivienda Individual

Componente	Costo (COP)
Paneles FV (1.5 kWp)	\$3.800.000
Baterías (5 kWh útiles)	\$8.000.000
Inversor-cargador 3 kVA	\$3.500.000
Controlador MPPT	\$1.500.000
Estructuras y cableado	\$2.000.000

Nota. El costo total del proyecto se detalla en la Tabla 16

Marco Regulatorio y Fuentes de Financiación

El proyecto se enmarca en la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021, que promueven el uso de energías renovables mediante incentivos tributarios.

Además, puede acceder a mecanismos de apoyo del Decreto 2236 de 2023 y resoluciones 40136 y 40137 de 2024, relacionadas con Comunidades Energéticas (RUCE).

Fuentes potenciales de financiación: FAER, FAZNI, FONENERGÍA y cooperación internacional (PNUD, UE, USAID).

Conclusiones

El proyecto presenta alta viabilidad técnica, económica y social.

El recurso solar es óptimo, la tecnología está disponible en el mercado nacional y el marco normativo favorece su implementación.

El costo por conexión es competitivo frente a alternativas fósiles, generando beneficios ambientales y sociales significativos.

Recomendaciones

Consolidar un modelo financiero con un horizonte de evaluación de 20 años que incorpore indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Costo Nivelado de la Energía (LCOE), utilizando costos actualizados que reflejen adecuadamente la sostenibilidad del proyecto en el tiempo. De igual manera, es pertinente iniciar el registro en el Registro Único de Comunidades Energéticas (RUCE) con el fin de habilitar el acceso a mecanismos de financiación pública, así como presentar solicitudes formales de cofinanciación ante fondos como el FAER y FONENERGÍA. Adicionalmente, se recomienda implementar un plan estructurado de mantenimiento preventivo y reposición de equipos que garantice la continuidad operativa del sistema solar fotovoltaico durante su vida útil. Finalmente, resulta

estratégico articular alianzas con entidades de cooperación, universidades y actores del sector académico, que aporten capacidades técnicas, acompañamiento institucional y fortalecimiento de procesos de formación y apropiación tecnológica en la comunidad.

Costo del proyecto

El costo estimado para la implementación de una Solución Individual Solar Fotovoltaica en el AETCR San José de Oriente se muestra en la siguiente figura.

Figura 38*Costo Total del Proyecto*

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Panel Solar Monocristalino 1.5 kWp	Un	75	\$ 3.800.000.00	\$ 285.000.000.00
Bateria Estacionaria 5 kWh útiles, 12V DC	Un	20	\$ 8.000.000.00	\$ 160.000.000.00
Inversor 3 KVA	Un	20	\$ 3.500.000.00	\$ 70.000.000.00
Controlador MPPT	Un	20	\$ 1.500.000.00	\$ 30.000.000.00
Soporte Paneles	Un	32	\$ 1.100.000.00	\$ 35.200.000.00
Estructura y Cableado	Gl	20	\$ 2.000.000.00	\$ 40.000.000.00
Luces Led	Un	196	\$ 7.500.00	\$ 1.470.000.00
Tomacorrientes	Un	68	\$ 2.550.00	\$ 173.400.00
Interruptores	Un	68	\$ 4.500.00	\$ 306.000.00
Tablero eléctrico	Un	20	\$ 70.000.00	\$ 1.400.000.00
Accesorios de montaje	Gl	Gl	\$ 1.324.000.00	\$ 1.324.000.00
Sistema puesta a tierra - SPT	Gl	20		\$ 9.500.000.00
Herramientas y transporte 22% del costo total de los equipos	Gl			\$ 129.844.000.00
Costo Total de Equipos				\$ 764.217.400.00
Adecuaciones de Red, Capacitaciones y Supervisión				
Entregables del Proyecto - Otros Costos				
Estructurar un plan de inversión y mantenimiento del sistema fotovoltaico en el AETCR San Jose de Oriente (se incluye el cambio de inversores a 10 años)		Gl		\$ 223.437.000.00
Capacitar al personal de la comunidad para el mantenimiento de los equipos.		Gl	\$ 2.500.000.00	\$ 2.500.000.00
Supervisar que el sistema fotovoltaico funciona correctamente y atiende la demanda de energía eléctrica en la población objetivo. (por año).		Gl	\$ 10.000.000.00	\$ 10.000.000.00
Total Adecuaciones, Capacitación y Supervisión				\$ 235.937.000.00
Tramites, Seguros y Gastos Financieros - Otros Costos				
Certificaciones RETIE, tramites UPME	Unidad	Porcentaje		Total
Seguros y Gastos Financieros	Gl			\$ 12.500.000.00
Polizas de Cumplimiento	Gl	10%		\$ 76.421.740.00
Poliza de Responsabilidad Civil	Gl	1%		\$ 7.642.174.00
Total Tramites, Seguros y Gastos				\$ 96.563.914.00
Mano de Obra				
Lider de Implementación		1	\$ 5.000.000.00	\$ 5.000.000.00
Lider Administrativo y Financiero		1	\$ 5.000.000.00	\$ 5.000.000.00
Asesor Juridico		0.5	\$ 5.000.000.00	\$ 2.500.000.00
Ingeniero Electricista		1	\$ 5.500.000.00	\$ 5.500.000.00
Ingeniero Ambiental		1	\$ 4.000.000.00	\$ 4.000.000.00
Ingeniero Civil		0.5	\$ 3.000.000.00	\$ 1.500.000.00
Secretaria		0.5	\$ 1.200.000.00	\$ 600.000.00
Gestoras Sociales		0.5	\$ 2.500.000.00	\$ 1.250.000.00
Técnicos		3	\$ 2.000.000.00	\$ 6.000.000.00
Total Costos Recurso Humano				\$ 31.350.000.00
Total Costos				\$ 1.128.068.314.00

Nota. Elaboración propia a partir del análisis del contexto.

El costo de conexión para la presente alternativa sería:

$$\text{Conex alternativa 2} = \$1.128.068.314/20, \text{ Conex alternativa 2} = \$56.403.415$$

Adicionalmente, se prevé que el sistema estará en óptimas condiciones una vez el Sistema de Distribución Local (SDL) alcance la vereda Tierra Grata, lo que permitirá la venta de excedentes de energía a la red. Esto convierte esta alternativa en una solución óptima para la comunidad del AETCR, ya que podría evolucionar en el futuro hacia una Comunidad Energética.

Actualmente Colombia depende en un gran porcentaje de sus recursos hidroeléctricos (70,5%) con un riesgo constante de escasez y aumento en los precios de la energía (crisis energética generada por el fenómeno de El Niño en los años 1992 y 1993, el aumento en Colombia en los precios de la electricidad, en el último quinquenio, ha aumentado en bolsa con una tendencia constante al alza, llegando actualmente a precios cercanos a los \$1000 COP/kWh (UPME, 2015a).

Evaluación del beneficio ambiental (CO₂)

A continuación, se evalúa la reducción en la huella de carbono o los beneficios al medio ambiente derivados de la solución solar fotovoltaica utilizando los estándares de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) establecidos por regulaciones ambientales o normativas específicas, así:

0,154 tonCO₂eq/MWh (factor que se aplica a proyectos de mecanismo de desarrollo limpio (MDL) específicamente para proyectos eólicos y solares (UPME, 2022a).

2,7 kg de CO₂ por litro de diésel, gasóleo o gasóleo quemado.

Con el fin de hacer estos valores comparables, debemos convertir las toneladas de CO₂ equivalentes a kg y MWh a kWh, dado que en ambos casos la relación es de 1000, el factor de emisión quedaría 0,154 kgCO₂eq/kWh.

Por otro lado, de acuerdo con General Power (s/f), es una regla común es considerar que aproximadamente un generador diésel consume 0,1 galones combustible para generar 1 kWh a

plena carga; y dado que un galón estadounidense (estándar que usa Colombia) equivale a 3,785 litros, podemos decir que 378,5 ml generan 1 kWh de energía eléctrica.

En la tabla 20 se presenta el cálculo de los gases de efecto Invernadero emitidos por cada tecnología, generador diésel y un sistema solar fotovoltaico, lo que permitirá comparar su comportamiento.

Tabla 19

Cálculo de Gases de Efecto Invernadero Emitidos por Cada Tecnología

	Demanda de energía	Diésel requerido	GEI emitidos [kgCO ₂]		
	[kWh/mes]	[litros]	Diésel	SSFV	Δ
Unidad vivienda	173	65,48	176,80	26,64	150,15
AETCR	2.941	1.113,17	3.005,6	452,91	2.552,64

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, se tiene una diferencia de 150,15 kg de CO₂ dejados de emitir al ambiente por unidad de vivienda al mes, es decir, en total, se dejan de emitir 2.552,64 kg de CO₂ al mes considerando la demanda completa de la comunidad y 30.631,69 kg de CO₂ al año.

Conclusiones Técnicas

La solución solar fotovoltaica es una opción viable tanto técnica como económicamente para satisfacer la demanda energética en el AETCR San José de Oriente, región de Colombia con alta irradiación solar. Desde el punto de vista técnico, la tecnología fotovoltaica ha avanzado significativamente, mejorando la eficiencia de los paneles y reduciendo las pérdidas de energía. Además, el modularidad de los sistemas permite su escalabilidad, para el crecimiento futuro del sistema. Económicamente, los costos de instalación han disminuido drásticamente en los últimos años, lo que, combinado con incentivos gubernamentales y la posibilidad de vender excedentes a

la red, hace que la inversión sea rentable a largo plazo. La alta irradiación en esta región del territorio colombiano potencia la generación de energía, reduciendo el tiempo de retorno de la inversión y aumentando la competitividad frente a fuentes tradicionales.

A partir del análisis desarrollado, se concluye que la solución solar fotovoltaica off-grid propuesta es técnica y económicamente viable para el AETCR San José de Oriente. Desde el punto de vista técnico, el sistema responde adecuadamente a la demanda energética identificada, sustentada en cálculos de carga basados en la NTC 2050 y en un dimensionamiento coherente con los niveles de irradiación solar disponibles en el departamento del Cesar, los cuales presentan valores favorables y constantes durante el año. La tecnología seleccionada garantiza confiabilidad operativa, autonomía energética y una vida útil acorde con las condiciones del territorio. En términos económicos, la solución resulta competitiva frente a alternativas basadas en combustibles fósiles, al reducir costos operativos, minimizar gastos asociados a combustible y mantenimiento, y aprovechar los incentivos establecidos en el marco normativo colombiano para fuentes no convencionales de energía renovable. En conjunto, la relación entre demanda, recurso solar disponible y costos de inversión y operación respalda la factibilidad integral del proyecto, consolidándolo como una alternativa sostenible, eficiente y alineada con los objetivos de desarrollo social, económico y ambiental de la comunidad.

Adicionalmente, se puede asegurar que mejora la calidad de vida de las personas ya que se dejan de emitir alrededor de 30 tonCO₂ equivalente al año, lo que impacta directamente en la salud de la comunidad.

Estudio de Viabilidad Financiera y Administrativa

Viabilidad Financiera

El estudio de viabilidad evalúa la rentabilidad financiera (inversión, ahorro en facturas, retorno de inversión o ROI); contiene la Inversión Inicial, el costo de paneles solares, inversores, montaje, mano de obra y trámites. Ahorro y Retorno (ROI), ahorro anual en por la compra de combustible versus la inversión inicial. Análisis de Costos, se requiere una proyección de flujo de caja (cash flow) y el precio nivelado de la energía (LCOE) para determinar la rentabilidad. En resumen, la viabilidad se define por el costo del sistema, la radiación local y la reducción de costos energéticos a largo plazo, usando el ROI.

Enfoque de Evaluación del Proyecto y Marco MGA

El presente proyecto se formula y evalúa principalmente bajo un enfoque de evaluación financiera privada, dado que la alternativa seleccionada demuestra viabilidad económica suficiente mediante la aplicación de indicadores financieros clásicos como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales resultan adecuados y suficientes para sustentar la decisión de inversión desde la perspectiva económica. En este sentido, el análisis financiero constituye el eje central de la evaluación del proyecto, al evidenciar que la solución solar fotovoltaica individual off-grid propuesta es rentable y sostenible en el horizonte de evaluación definido.

No obstante, considerando que el proyecto se desarrolla en un contexto territorial y normativo asociado a Zonas No Interconectadas (ZNI), al Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (AETCR) y a instrumentos de política pública del sector energético, se adopta la Metodología General Ajustada (MGA) como un marco de referencia metodológico, con el propósito de verificar la coherencia del proyecto con los lineamientos de

formulación y evaluación de proyectos de inversión, sin que ello implique sustituir el enfoque financiero privado que fundamenta su viabilidad.

Bajo este marco, la evaluación social del proyecto se entiende como un análisis complementario, orientado a identificar las externalidades positivas y beneficios indirectos derivados de la implementación de la solución energética, los cuales refuerzan su conveniencia desde una perspectiva territorial y de sostenibilidad, pero no constituyen el criterio determinante para la toma de decisión económica, la cual se sustenta en los resultados favorables del análisis financiero.

Evaluación Económica y Aplicabilidad de Beneficios ley 1715 del 2014

La naturaleza de los proyectos solares fotovoltaicos se enmarca en la categoría de proyectos de infraestructura social, ya que contribuyen directamente al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades. Este tipo de proyectos abarca áreas como la educación, ciencia y tecnología, cultura, deporte, salud, seguridad social, urbanización, vivienda y asistencia social, y generalmente son patrocinados mediante recursos de origen estatal.

En este contexto, los sistemas solares fotovoltaicos no solo representan una solución energética sostenible, sino también una herramienta para el desarrollo social, especialmente en zonas rurales o de difícil acceso, donde el acceso a la energía impacta positivamente múltiples dimensiones del bienestar colectivo.

Para llevar a cabo la evaluación económica de la inversión social del proyecto se toma de referencia el total de los costos de la Tabla 10, que incluye el Impuesto al Valor Agregado (MIL CIENTO VEINTIOCHO MILLONES CERO SESENTA Y OCHO MIL TRESCIENTOS CATORCE PESOS MCTE - \$1.128.068.314), un horizonte del proyecto a 20 años, una Tasa Mínima Aceptable de Retorno del 10% con flujos iguales de ahorros anuales; para ello se utiliza

como el valor costo requerido para generar 1 kWh con planta diésel, aprox. 1.200 COP/kWh, el cual se toma obtiene de las siguientes consideraciones:

Según General Power (s/f) es una regla común es considerar que aproximadamente un generador diésel consume 0,1 galones combustible para generar 1 kWh a plena carga.

Adicionalmente, de acuerdo con la Circular CREG No. 233 de 2026 publicada el 31 de enero, el precio promedio del ACPM es de COP \$10.983, con un valor máximo de COP \$11.424 para la ciudad de Cali, en ese orden de ideas y con el ánimo de utilizar un valor conservador dado que el precio de este combustible es variable, se toma como valor base COP \$12.000, por lo tanto, el valor de un kWh generado con un generador diésel sería de \$1.200 COP (CREG, 2026).

Entonces:

$$\text{El ahorro anual estimado} = 202.320 \text{ kWh} \times 1.200 = \$242.784.000/\text{año}$$

Para el cálculo del VPN, se utiliza la fórmula del valor presente de una anualidad:

$$\text{VPN} = -\text{Inversión inicial} + (\text{Flujo anual} \times [1 - (1 + r)^{-n}] / r)$$

Con:

$$- \text{Inversión: } \$1.128.068.314$$

$$- \text{Flujo anual: } \$242.784.000$$

$$- r \text{ (tasa): } 10\% = 0.10$$

$$- n \text{ (años): } 20$$

$$\text{VPN} = -1.128.068.314 + (242.784.000 \times [(1 - (1 + 0.10)^{-20}) / 0.10])$$

$$\text{VPN} \approx -1.128.068.314 + (242.784.000 \times 8.5136)$$

$$\text{VPN} \approx -1.128.068.314 + 2.068.366.822$$

$$\text{VPN} \approx 940.298.508 \text{ COP}$$

Para el cálculo de la TIR

$$VPN = 0 = -Inversión + (\text{Flujo anual} \times [1 - (1 + r)^{-n}] / r)$$

$$TIR \approx \text{Tasa que hace que el valor presente de los flujos} = \$1.128.068.314$$

$$TIR = 14,2\%$$

Tabla 20*Calculo VPN y TIR*

Ítem	Valores
Costo de la instalación	\$ 1.128.068.314
Costo Anual Instalación/ kWh	\$ 5.575,7
Demanda Anual kWh	202320.0
Valor presente neto (VPN) sin crédito	\$ 940.298.508
Tasa interna de retorno (TIR)	14,2%
Horizonte del Proyecto	20 años
Tasa mínima aceptable de retorno (TMAR)	10%
<i>Flujos Iguales (ahorros anuales)</i>	

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de contexto

El proyecto es económicamente viable, ya que el VPN es positivo, lo que indica que recupera la inversión y genera valor adicional. Como la TIR (14.2 %) es mayor que la TMAR (10 %), el proyecto es financieramente viable y ofrece una rentabilidad atractiva. Ahora bien, según la ley 1715 del 2014 aplicaría la exclusión del IVA (artículo 12), lo que cambiaría el costo de la inversión inicial y los valores de VPN y TIR:

Tabla 21*Calculo VPN y TIR aplicando ley 1715 de 2014*

Ítem	Valores
Costo de la instalación	\$ 947.956.566
Costo Anual Instalación/ kWh	\$ 4.685,4
Demanda Anual kWh	202.320
Valor presente neto (VPN) sin crédito	\$ 790.166.813
Tasa interna de retorno (TIR)	18,4%

Ítem	Valores
Horizonte del Proyecto	20 años
Tasa mínima aceptable de retorno (TMAR)	10%
<i>Flujos Iguales (ahorros anuales)</i>	

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de contexto

Con este costo de instalación o inversión menor, el proyecto es aún más rentable y altamente conveniente desde el punto de vista financiero. Finalmente, dada la naturaleza del proyecto de inversión social es necesario hacer el análisis de la Relación Costo-Beneficio (RCB) para el proyecto solar.

$$\text{RCB} = \text{Valor actual de los beneficios} / \text{Valor actual de los costos}$$

Si $\text{RCB} > 1$, el proyecto es viable.

Si $\text{RCB} = 1$, el proyecto se justifica apenas.

Si $\text{RCB} < 1$, el proyecto no es viable.

Costo de inversión: 1.128.068.314:

Beneficio anual (ahorro): \$ 242.784.000

Horizonte del proyecto: 20 años

TMAR (tasa de descuento): 10%

Valor actual de beneficios: $242.784.000 \times 8.5136 = 2.068.366.822$

$\text{RCB} = 2.068.366.822 / 1.128.068.314 \approx 1.53$

$\text{RCB} \approx 1.83$

Por cada peso invertido, el proyecto devuelve \$1.83 en beneficios descontados.

Para calcular la Relación Costo-Beneficio (RCB) para el segundo escenario:

Inversión de \$947.956.566

Beneficio anual (ahorro): \$242.784.000

Horizonte del proyecto: 20 años

TMAR (tasa de descuento): 10%

Valor actual de beneficios: $242.784.000 \times 8.5136 = 2.068.366.822$

$RCB = 2.068.366.822 / 947.956.566 \approx 2.18$

$RCB \approx 2.18$

Por cada peso invertido, el proyecto devuelve \$2.18 en beneficios descontados.

De acuerdo con la relación costo-beneficio, el proyecto resulta socialmente conveniente, ya que presenta múltiples ventajas técnicas que lo respaldan, entre las cuales se destacan:

- Independencia energética: Posibilidad de operar de forma autónoma respecto a la red eléctrica convencional, alcanzando niveles de independencia de hasta el 100 %.

- Acceso en zonas remotas: Permite llevar energía eléctrica a sectores rurales o aislados donde no existe cobertura del servicio eléctrico.

- Alternativa en crisis energéticas: Actúa como una solución viable frente a posibles desabastecimientos o racionamientos de energía.

- Estabilidad en costos: Ayuda a mitigar los efectos de los incrementos tarifarios, contribuyendo al control del gasto energético.

- Potencial fuente de ingresos: Dependiendo del tamaño del sistema, puede generar excedentes de energía que pueden ser vendidos a la red, convirtiéndose en una oportunidad económica.

- Energía limpia y renovable: No produce emisiones de CO₂ ni contaminación térmica, contribuyendo a la reducción del efecto invernadero.

- Instalación ágil y versátil: Su implementación es relativamente rápida y puede realizarse en casi cualquier lugar con acceso a radiación solar.

- Mantenimiento sencillo: Requiere bajos niveles de intervención técnica durante su vida útil.

- Bajo impacto visual: Su diseño se puede integrar fácilmente al entorno sin alterar significativamente el paisaje.

Análisis Económico de Costos Asociados al Pago del Servicio de Energía Eléctrica en Colombia

Una Zona No Interconectada - ZNI puede ser considerada como un área especial para efectos del Fondo de Energía Social - FOES, por sus condiciones socioeconómicas y de gestión y siempre que cumpla los criterios legales, al contar con la certificación correspondiente de área especial, acreditada por la entidad competente. Es imperativo entonces, precisar que la condición de ZNI por sí sola no otorga dicha calidad ni el acceso automático al subsidio del FOES.

Así las cosas, para recibir subsidio del FOES la ZNI debe cumplir con una de las condiciones de las áreas especiales; es decir, debe estar enmarcada en alguna de las siguientes clasificaciones:

Áreas Rurales de Menor Desarrollo (ARMD).

Zonas de Dificil Gestión (ZDG).

Barrios Subnormales (BS).

Estas áreas deben estar certificadas por la Alcaldía o autoridad competente, deben estar reconocidas formalmente para efectos FOES y tener usuarios estratos 1 y 2.

Ahora bien, el FOES – Fondo de Energía Social, es un fondo especial del sector eléctrico, administrado por el Ministerio de Minas y Energía, cuyo objetivo es subsidiar parcialmente el consumo de subsistencia de energía eléctrica de los usuarios más vulnerables (estratos 1 y 2), ubicados en zonas con condiciones especiales de prestación del servicio, clave para garantizar el

acceso al servicio y reducir el impacto del costo de la energía en territorios con dificultades técnicas, sociales o económicas (MME, s/f-b). Fue creado por el artículo 118 de la Ley 812 de 2003 y su reglamentación se encuentra compilada en el Decreto Único 1073 de 2015 (MME, s/f-b) (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

El FOES está destinado principalmente a:

Cubrir parte del valor del consumo de subsistencia de energía eléctrica.

Beneficiar principalmente a usuarios residenciales de estratos 1 y 2.

Apoyar zonas con condiciones especiales de prestación del servicio.

Financiar soluciones energéticas con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable - FNCER en dichas zonas

El consumo de subsistencia es el límite máximo de energía subsidiable por usuario al mes, que depende de la zona y la altitud:

ARMD y ZDG:

173 kWh/mes (\leq 1.000 msnm)

130 kWh/mes ($>$ 1.000 msnm)

Barrios Subnormales:

184 kWh/mes (\leq 1.000 msnm)

138 kWh/mes ($>$ 1.000 msnm) [minenergia.gov.co]

El FOES se financia principalmente con (MME, s/f-b) (Ministerio de Minas y Energía, 2015):

Rentas de congestión del sistema eléctrico.

Aportes por kWh transportado en el SIN.

Recursos del Presupuesto General de la Nación, cuando es necesario.

El manejo financiero de los recursos lo realiza el Ministerio de Hacienda, mientras que la administración sectorial corresponde al Ministerio de Minas y Energía. El beneficio del FOES no se entrega en dinero, Se refleja como un menor valor en la factura de energía. Es deber del comercializador de energía discriminar el beneficio FOES en la factura (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Para efectos académicos, el AETCR San José de Oriente se considerará como un Área Rural de Menor Desarrollo - ARMD beneficiaria del Fondo de Energía Social - FOES, con el propósito de calcular los costos asociados a la prestación del servicio de energía eléctrica por parte de una comercializadora de energía. Este ejercicio se realiza con el fin de estimar el ahorro que tendría cada usuario del AETCR al contar con una solución solar individual, con una vida útil estimada de 20 años, en un escenario en el que el asentamiento estuviera conectado al Sistema Interconectado Nacional - SIN.

Se presentan a continuación los costos asociados al pago de consumos de energía eléctrica cuando un usuario estrato 1 esta conectado al Sistema Interconectado Nacional con el Operador de Red CaribeMar de La Costa SAS ESP:

Figura 39

Operador de Red CaribeMar de La Costa S.A.S. E.S.P.



Nota. Pagina Web CaribeMar de la Costa S.A.S. E.S.P. (Afinia, s/f).

Figura 40

Tarifas (Costo unitario enero de 2026)

TARIFAS

AFINIA S.A.S E.S.P
 Departamentos de : BOLIVAR, CESAR, CORDOBA, SUCRE y municipios del sur de MAGDALENA
 TARIFAS - RES 031-119/07, 097/08, 110/09, 173/11, 083/12, 108/12, 010/13,180/14, 191/14, 036/15,104/20, 010/20, 188/20 y 079/21, 101 028/23
 Costo unitario enero de 2026

	Generación	STN	PR: G y T	D: STR SDL	Restricciones	C/cialización	Cu Mes sin COT	Cu Mes con COT	
Nivel 1 OR propietario activos	288,31	52,97	107,01	196,05	25,04	206,64	798,81	876,02	
Nivel 1 propiedad activos compartida				178,94		206,64	781,70	858,91	
Nivel 1 cliente propietario activos				161,82		206,64	764,59	841,80	
AP Nivel 1				161,82		206,64	764,59	841,80	
SN nivel 2 medio Nivel 1				152,93		186,51	755,69	812,77	
A.P. Nivel 2 censado Nivel 1				152,93		186,51	755,69	812,77	
Nivel 2				22,13		126,23	186,51	644,11	701,19
Clientes que pasaron de N1 a N2				126,23		206,64	644,11	721,32	
Nivel 3				12,18		95,59	129,43	603,52	603,52
Nivel 4				0,46		42,00	129,43	538,22	538,22

Cargo Comercialización	C _{mj}	15.936,69
------------------------	-----------------	-----------

Cv ₁	206,64
Cv ₂	186,51
Cv ₃	129,43
Cv ₄	129,43

Costo por opcion tarifaria (COT)	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
	77,21	57,08	N/A

Estratos	Activos propiedad del OR		Activos propiedad Compartida		Activos propiedad Cliente	
	0 - 173	>173	0 - 173	>173	0 - 173	>173
1	482,90	876,02	475,13	858,91	467,36	841,80
2	603,63	876,02	593,91	858,91	584,20	841,80
3	744,62	876,02	730,07	858,91	715,53	841,80
4	876,02	876,02	858,91	858,91	841,80	841,80
5 y 6	1051,23	1051,23	1030,69	1030,69	1010,16	1010,16

Estratos	SN Nivel 2 medido N1		SN Nivel 2		Nivel 3 medido N1	
	0 - CS	>CS	0 - 184	>184	0 - 184	>184
1 - Subnormal	455,65	812,77	390,63	701,19	408,19	719,66

Nota. Publicación de Tarifas para enero de 2026 (Afinia, 2026).

El ahorro mensual que cada usuario del AETCR tendrá en pesos por contar con solución solar se detallan en la tabla siguiente:

Figura 41*Ahorro Mensual*

Usuario	Valor Tarifa (\$)	Consumo Subsistencia (kWh)	Valor mes	Valor Anual
Residencial E1	482.9	173	\$ 83.541.70	\$ 1.002.500.40

Nota. Elaboración propia a partir del análisis del contexto

Según tableros oficiales de seguimiento y reportes sectoriales el FOES ejecuta anualmente del orden de cientos de miles de millones de pesos. En los últimos años, el gasto total anual se ha ubicado aproximadamente entre \$600.000 millones y más de \$1 billón de pesos, dependiendo del número de usuarios en Áreas Especiales, el valor reconocido por kWh y los recursos disponibles por rentas de congestión y PGN (Intégrame & Ministerio de Minas y Energía, s/f) (MME, s/f-c).

Análisis de costo fiscal evitado

Supuestos normativos válidos

Valor FOES: hasta \$92/kWh (MME, s/f-b)

Consumo de subsistencia:

130 o 173 kWh/mes (según altitud) (MME, s/f-b).

Usuario típico estrato 1 en Área Especial.

Ejemplo de estimación por usuario estrato 1.

$173 \text{ kWh/mes} \times \$92/\text{kWh} = \$15.916/\text{mes}.$

Anual: $\approx \$190.992$ por usuario.

En 20 años (vida útil típica de solución solar):

$\approx \$3,81$ millones por usuario (sin indexación)

Estos costos han motivado al Gobierno Nacional a impulsar soluciones solares, con el fin de reducir la carga fiscal asociada a los subsidios y garantizar la sostenibilidad del servicio de energía eléctrica.

Por otro lado, desde una perspectiva complementaria, la implementación del sistema solar fotovoltaico individual off-grid genera una serie de externalidades positivas que refuerzan la conveniencia del proyecto en el contexto territorial del AETCR San José de Oriente. Entre los

principales beneficios se destaca la reducción anual estimada de 30.631,69 kg de CO₂, derivada de la sustitución de generación eléctrica basada en diésel, lo cual contribuye a la mitigación de impactos ambientales y a la mejora de condiciones de salud asociadas a la disminución de emisiones contaminantes. Asimismo, el acceso a un suministro energético confiable favorece el desarrollo de actividades educativas, productivas y comunitarias, incrementando la productividad y la calidad de vida de los beneficiarios directos. Estos efectos positivos, si bien no constituyen el criterio principal de decisión económica del proyecto, evidencian su coherencia con los lineamientos de la Metodología General Ajustada (MGA) y con los objetivos de sostenibilidad y desarrollo territorial en Zonas No Interconectadas.

Viabilidad Administrativa

La solución seleccionada para el AETCR San José de Oriente corresponde a un modelo de autogeneración individual off-grid, en el cual cada unidad habitacional es propietaria y responsable directa de su sistema solar fotovoltaico. A partir del análisis de stakeholders presentado en el Capítulo I, se definió un esquema de gestión descentralizado en el cual la comunidad beneficiaria asume un rol activo como usuaria y responsable directa de los sistemas instalados, este esquema implica que la operación básica, el uso eficiente de la energía y el mantenimiento preventivo del sistema recaen sobre el usuario final, con acompañamiento técnico institucional en las etapas de formulación y puesta en funcionamiento, regulación y eventual financiación.

La adopción de este modelo administrativo se fundamenta en las condiciones propias del territorio, el cual se encuentra clasificado como Zona No Interconectada (ZNI), sin infraestructura de red eléctrica ni posibilidad técnica o regulatoria de inyección de excedentes o comercialización de energía. En este contexto, no se adopta la figura de Comunidad Energética (Decreto 2236 de 2023), dado que esta se orienta a esquemas de generación colectiva, gestión asociativa de la energía

o interacción con el Sistema Interconectado Nacional, escenarios que no son aplicables a la realidad actual del AETCR.

El modelo de autogeneración individual seleccionado se considera el más adecuado para garantizar la sostenibilidad operativa del proyecto, al reducir la complejidad administrativa, evitar estructuras de gobernanza innecesarias y fortalecer la apropiación tecnológica por parte de cada hogar beneficiario. Este enfoque resulta coherente con los principios de eficiencia administrativa de la Metodología General Ajustada (MGA), al asegurar que la solución propuesta sea acorde con la escala del proyecto, su contexto territorial y las capacidades reales de los beneficiarios.

Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, este esquema permite una asignación clara de responsabilidades, minimiza riesgos asociados a la gestión colectiva en zonas rurales dispersas y contribuye a la sostenibilidad del sistema en su horizonte de evaluación. No obstante, se reconoce que, en un escenario futuro de interconexión del territorio al Sistema Interconectado Nacional, podría evaluarse la transición hacia modelos asociativos o comunitarios, sin que ello forme parte del alcance del presente proyecto.

Síntesis de la Línea Base y Comparación de Escenarios

Esta síntesis cuantificada complementa la línea base descriptiva definida en el Capítulo I, y constituye el escenario de referencia para la evaluación económica, ambiental y fiscal del proyecto.

La línea base consolidada del proyecto evidencia que, en ausencia de la solución solar fotovoltaica propuesta, el Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (AETCR) San José de Oriente mantendría un esquema de abastecimiento energético precario, basado en generación diésel intermitente, con altos costos económicos, impactos ambientales negativos y limitaciones estructurales para el desarrollo social y productivo de la comunidad. Este

escenario implica una dependencia permanente de combustibles fósiles, vulnerabilidad frente a la volatilidad del precio del ACPM y una prestación del servicio que no garantiza continuidad ni calidad.

Desde el punto de vista económico, la línea base cuantificada muestra que la demanda energética anual del AETCR, estimada en 202.320 kWh/año, al ser cubierta mediante generación diésel con un costo promedio de \$1.200 COP/kWh, representa un costo anual aproximado de \$242.784.000 COP. Este valor corresponde al gasto recurrente necesario para mantener la situación actual sin proyecto, sin considerar incrementos futuros en el precio del combustible ni costos asociados a mantenimiento correctivo y fallas del sistema.

Adicionalmente, en un escenario hipotético de conexión al Sistema Interconectado Nacional, cada uno de los 15 usuarios/viviendas del AETCR incurriría en un costo anual estimado de \$1.002.500,50 COP por usuario por concepto del servicio de energía eléctrica. La implementación de sistemas solares fotovoltaicos individuales off-grid permite evitar dicho gasto recurrente, generando un ahorro directo total de \$15.037.507,5 COP frente a la alternativa de suministro convencional.

Desde la perspectiva fiscal, la línea base también incorpora el costo asociado a los subsidios del Fondo de Energía Social (FOES). Para un usuario típico estrato 1 en Área Rural de Menor Desarrollo, el subsidio al consumo de subsistencia representa un costo fiscal aproximado de \$190.992 COP por usuario al año. Considerando las 15 viviendas del AETCR, la permanencia del escenario sin proyecto implicaría una carga fiscal recurrente total de \$2.864.880 CO que puede ser evitada mediante la implementación de soluciones solares individuales, contribuyendo a la sostenibilidad financiera del sector energético y a la reducción de la presión sobre los recursos públicos.

Desde el punto de vista ambiental, la línea base cuantificada evidencia que la generación eléctrica actual basada en diésel genera emisiones anuales estimadas de 30.631,69 kg de CO₂, las cuales se mantendrían de forma permanente si no se implementa una alternativa energética limpia, con efectos negativos sobre la salud de la población y el entorno.

Frente a esta línea base, el proyecto solar fotovoltaico individual off-grid representa un cambio estructural en el modelo de provisión energética del AETCR, al sustituir una solución costosa, contaminante y fiscalmente onerosa por una alternativa técnicamente viable, económicamente conveniente y ambientalmente sostenible. La comparación entre escenarios permite concluir que los beneficios del proyecto superan ampliamente los costos de inversión, generando impactos positivos medibles en términos económicos, fiscales, ambientales y sociales, en coherencia con los lineamientos de la Metodología General Ajustada (MGA).

Requisitos para la presentación de proyectos al FAZNI

¿Qué es el FAZNI?

El Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No interconectadas (FAZNI) es un fondo del Ministerio de Minas y Energía que financia planes, programas y proyectos de infraestructura energética en las Zonas No Interconectadas (ZNI) del país (Presidencia de la República, 2008).

Su objetivo principal es ampliar la cobertura, mejorar la calidad y garantizar la prestación del servicio de energía eléctrica en territorios que no están conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Su objetivo principal es ampliar la cobertura, mejorar la calidad y garantizar la prestación del servicio de energía eléctrica en territorios que no están conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Pueden presentar proyectos ante el FAZNI (Ministerio de Minas y Energía, 2023) (Santos Sarmiento, 2023) (MME, s/f-a):

Entidades territoriales (municipios y departamentos).

Empresas prestadoras del servicio de energía en ZNI.

Operadores de red.

IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las ZNI).

El paso a paso del proceso de gestión de recursos FAZNI es el siguiente (MME, s/f-a):

Identificar una problemática concreta en ZNI:

Falta de cobertura.

Infraestructura deficiente.

Sistemas aislados sin legalización.

Necesidad de energización rural o soluciones alternativas.

Nota: El proyecto debe estar ubicado en una ZNI reconocida legalmente.

Formulación del proyecto.

La formulación debe seguir el Manual Guía FAZNI del Ministerio de Minas y Energía, (2003), que exige, entre otros:

Metodología de Marco Lógico.

Estudios y diseños técnicos.

Presupuesto detallado y análisis de costos.

Modelo de sostenibilidad técnica, financiera y operativa.

Análisis de demanda y beneficiarios.

Cronograma de ejecución.

Certificación de predios y servidumbres (si aplica).

Presentación ante el IPSE.

El proyecto se presenta formalmente al IPSE, que cumple el rol de (MME, 2003) (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Las Zonas No Interconectadas - IPSE, s/f):

Revisión Técnica.

Ajustes y observaciones.

Concepto de viabilidad técnica.

Sin concepto favorable del IPSE, el proyecto no avanza en el proceso (MME, 2003) (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Las Zonas No Interconectadas -IPSE, s/f).

Viabilidad financiera (UPME).

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) evalúa:

Viabilidad financiera.

Coherencia presupuestal.

Cumplimiento de criterios de eficiencia.

Este paso es obligatorio para el registro del proyecto en el BPIN (Banco de Programas y Proyectos de Inversión Nacional) (MME, 2003).

Registro en el BPIN (DNP).

El proyecto debe quedar registrado y viable en el BPIN, cumpliendo requisitos del Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Nota: Sin BPIN aprobado, no hay asignación de recursos FAZNI (MME, 2003).

Evaluación por el CAFAZNI.

El Comité de Administración del FAZNI (CAFAZNI) (MME, 2003) (Ministerio de Minas y Energía, 2023) (Santos Sarmiento, 2023):

Evalúa el proyecto.

Define priorización.

Aprueba, objeta o condiciona la asignación de recursos.

Este comité es la instancia decisoria final (MME, 2003) (Santos Sarmiento, 2023) (Presidencia de la República, 2008) (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

Asignación y ejecución de recursos.

Una vez aprobado:

El Ministerio de Minas y Energía define el esquema de ejecución.

Se adelantan los procesos contractuales.

Se hace seguimiento técnico, financiero y jurídico.

Los recursos pueden financiar (Ministerio de Minas y Energía, 2023) (Santos Sarmiento, 2023):

Nueva infraestructura.

Rehabilitación o reposición.

Soluciones energéticas para usuarios aislados.

El marco normativo clave (Presidencia de la República, 2008) (Ministerio de Minas y Energía, 2023) (Santos Sarmiento, 2023):

Ley 633 de 2000 – creación del FAZNI.

Ley 1099 de 2006 – recursos y vigencia.

Decreto 1124 de 2008 – reglamentación del fondo.

Decreto 1073 de 2015 – compilatorio sector minero-energético.

Resolución 40378 de 2023 – nuevos criterios de asignación de recursos.

Figura 42

Diagrama de Proceso FAZNI



Nota. Elaboración propia con base en (Ministerio de Minas y Energía, 2023) (MME, 2003) (MME et al., 2011) (MME, s/f-a) (UPME, 2022b) (Departamento Nacional de Planeación - DNP & Grupo Asesor de la Gestión de Programas y Proyectos de Inversión Pública, 2006) (Presidencia de la República, 2008) para la aplicación al proyecto del AETCR San José de Oriente.

El proyecto Solar Fotovoltaico off-grid para el AETCR San José de Oriente, ubicado en la vereda Tierra Grata del municipio de Manaure, Cesar, es elegible FAZNI, al encontrarse en una Zona No Interconectada – ZNI reconocida, distante del punto de interconexión más cercano al Sistema Interconectado Nacional, con limitaciones estructurales para el acceso a la red eléctrica convencional, contiene todos los documentos requeridos para la justificación técnica, financiera, presupuestal y operativa.

Ahora bien, las experiencias previas en proyectos de construcción de sistemas solares fotovoltaicos para las comunidades indígenas de Malirrachon, Ushuru y Mapuain del municipio de Manaure, evidencian la pertinencia del FAZNI como mecanismo de financiación para este tipo de iniciativas; al tratarse de territorios rurales dispersos que requieren soluciones energéticas autónomas, sostenibles y socialmente apropiadas.

En este sentido, la formulación del proyecto para el AETCR debe enfatizar:

Su impacto social y comunitario, asociado a los procesos de reincorporación y desarrollo territorial.

El uso de energía solar fotovoltaica como solución sostenible.

La participación de la comunidad beneficiaria.

La sostenibilidad técnica, ambiental y financiera del sistema propuesto.

Es importante entonces, tener en cuenta que se debe acreditar que el área del proyecto Está clasificada como Zona No Interconectada y no cuenta con acceso continuo o confiable al Sistema Interconectado Nacional, para lo cual se tener una certificación de la entidad territorial o concepto técnico del IPSE o MME (MME, 2003) (MME et al., 2011).

El FAZNI exige un proyecto técnico, económico y socialmente viable, que incluya como mínimo lo indicado en la Figura 33:

Figura 43

Componentes Mínimos Requeridos Para Presentar un Proyecto ante FAZNI.



Nota. Elaboración propia a partir del análisis del contexto.

En conclusión el proyecto en el AETCR San Jose de Oriente demuestra que atiende una necesidad real de acceso a energía eléctrica para esa comunidad, que contribuye al cierre de brechas energéticas en zonas rurales no interconectadas, que impulsa el desarrollo rural, productivo y comunitario, y es coherente con los planes territoriales y sectoriales vigentes para ser elegible ante el FAZNI.

De acuerdo con el alcance del proyecto, se deberá presentar concepto de no requerimiento de licencia o los permisos ambientales correspondientes; en sistemas solares fotovoltaicos de pequeña escala, generalmente solo se exige concepto ambiental.

La entidad proponente debe radicar el proyecto ante el Ministerio de Minas y Energía, atender las observaciones técnicas y administrativas y realizar los ajustes requeridos. Tendrán mayor probabilidad de aprobación los proyectos que atiendan población vulnerable utilicen fuentes renovables, generen impacto comunitario o productivo y cuenten con cofinanciación o respaldo interinstitucional.

Conclusiones

El presente estudio de factibilidad permitió formular una solución energética técnicamente viable, económicamente conveniente y socialmente pertinente para el Antiguo Espacio Territorial de Capacitación y Reincorporación (AETCR) San José de Oriente, ubicado en la vereda Tierra Grata del municipio de Manaure, Cesar. A partir de la aplicación de herramientas de gerencia de proyectos, lineamientos de la Metodología General Ajustada (MGA) y criterios técnicos del sector energético colombiano, se determinó que la implementación de un sistema solar fotovoltaico individual off-grid constituye la alternativa más adecuada para mejorar la calidad de vida de la comunidad en un contexto de Zona No Interconectada (ZNI).

La implementación del sistema solar fotovoltaico individual off-grid permitirá una reducción estimada de 30.631,69 kg de CO₂ al año, al sustituir la generación eléctrica basada en plantas diésel. Este resultado constituye un impacto ambiental positivo medible, alineado con los objetivos de mitigación del cambio climático, la Transición Energética Justa y el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 7.

Desde la dimensión social, el acceso a energía eléctrica confiable y continua fortalecerá el desarrollo educativo, productivo y comunitario del AETCR, facilitando el uso de tecnologías de información, la operación de iniciativas productivas y la mejora en las condiciones de salud y bienestar de la población beneficiaria.

El análisis de stakeholders desarrollado en el estudio permitió concluir que el modelo de autogeneración individual con gestión descentralizada es el esquema administrativo más adecuado para garantizar la sostenibilidad del proyecto en el contexto actual del AETCR. Este modelo asigna la propiedad y la responsabilidad operativa básica de cada sistema a los hogares beneficiarios, con acompañamiento institucional en las etapas de formulación, regulación y financiación, reduciendo

la complejidad administrativa y fortaleciendo la apropiación tecnológica por parte de la comunidad.

Dado que el territorio se encuentra en una Zona No Interconectada y no existe posibilidad técnica ni regulatoria de inyección de excedentes a la red, no resulta pertinente adoptar en esta etapa la figura de Comunidad Energética. No obstante, se reconoce que, ante una eventual interconexión futura al Sistema Interconectado Nacional, podrían evaluarse esquemas asociativos sin que ello forme parte del alcance del presente proyecto.

En conjunto, el estudio demuestra que la formulación del proyecto solar fotovoltaico off-grid para el AETCR San José de Oriente constituye una solución integral, coherente con las condiciones territoriales, técnicamente sólida, económicamente conveniente y socialmente transformadora. La alternativa propuesta contribuye de manera directa al cierre de brechas energéticas en zonas rurales no interconectadas, fortalece los procesos de reincorporación y sienta las bases para un desarrollo sostenible, autónomo y replicable en otros territorios con características similares.

Conclusiones por Objetivo Específico 1

El análisis de preselección de alternativas, desarrollado conforme a la metodología de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), permitió concluir que la solución solar fotovoltaica individual off-grid es superior técnica y económicamente frente a la interconexión al Sistema Interconectado Nacional y a las soluciones basadas en microrredes o esquemas colectivos. Esta decisión se fundamenta en la distancia superior a 1,5 km a la red eléctrica más cercana, el reducido número de viviendas sin servicio (15 VSS) y los altos costos de expansión de infraestructura, lo cual hace inviable la interconexión convencional en el corto y mediano plazo.

Conclusiones por Objetivo Específico 2

Desde el punto de vista técnico, el sistema solar fotovoltaico propuesto responde de manera adecuada a la demanda energética caracterizada para el AETCR San José de Oriente. El dimensionamiento del sistema se sustentó en cálculos de carga coherentes con el consumo de subsistencia establecido para municipios ubicados por debajo de los 1.000 msnm (173 kWh/mes por vivienda), así como en la alta disponibilidad del recurso solar en el departamento del Cesar, con valores de irradiación promedio entre 4,5 y 6 kWh/m²/día, superiores al promedio nacional.

Estos factores garantizan la autonomía energética del sistema, su confiabilidad operativa y una vida útil acorde con el horizonte de evaluación del proyecto.

Conclusiones por Objetivo Específico 3

La evaluación financiera evidenció que el proyecto es económicamente viable, presentando un Valor Presente Neto (VPN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior a la Tasa Mínima Aceptable de Retorno (TMAR), tanto en el escenario base como al aplicar los beneficios tributarios establecidos en la Ley 1715 de 2014.

Adicionalmente, la relación costo-beneficio (RCB) obtenida, superior a 1 en ambos escenarios analizados, confirma que el proyecto no solo recupera la inversión inicial, sino que genera beneficios económicos netos para la sociedad, lo cual lo hace conveniente bajo criterios de inversión pública y social, especialmente en territorios rurales y de reincorporación.

Estos resultados se obtienen en comparación con la línea base definida para el AETCR, caracterizada por generación diésel, altos costos operativos, emisiones de CO₂ y carga fiscal asociada a subsidios.

Referencias

- Afinia. (s/f). Afinia | Energía y Servicios en la Costa Caribe. Recuperado el 20 de febrero de 2026, de <https://afinia.com.co/>
- Afinia. (2021). Conoce el consumo de tus electrodomésticos. <https://afinia.com.co>
- Afinia. (2026, enero 19). Tarifas - Costo unitario enero de 2026.
https://afinia.com.co/Portals/afinia/documentos/Documentos%20Tarifas%20y%20subsidi os/Tarifas%202026/Enero/LA_REPUBLICA-LR-19_01_2026-complete.pdf
- Afinia - CaribeMar de la Costa S.A.S. E.S.P. (2025). Base de Datos de Instalaciones BDI Afinia/CaribeMar de la Costa S.A.S. E.S.P. .
- Agencia para la Reincorporación y la Normalización - ARN. (2022, octubre 30). AETCR Cesar-San José de Oriente.
https://www.reincorporacion.gov.co/es/reincorporacion/Paginas/ETCRs/AETCR_san_jose.aspx
- Aguilera, J., Hontoria, L., & Muñoz, F. J. (s/f). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos.
- Amnistía Internacional. (2010). Pueblos indígenas en Colombia: Datos y cifras.
- Asociación Colombiana de Universidades - ASCUN. (2024, mayo 8). Investigación en energías renovables, aporte de la UNAL a Laboratorio de Energía Solar en Cesar. - Asociación Colombiana de Universidades. <https://ascun.org.co/noticias-ies/investigacion-en-energias-renovables-aporte-de-la-unal-a-laboratorio-de-energia-solar-en-cesar/>
- AutoSolar Energía del Perú SAC. (2024). ¿Cuántos kWh puede producir un panel solar?
<https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/cuantos-kwh-puede-producir-un-panel-solar>

- Becquerel, E. (1867). La lumière, ses causes et ses effets. En Librairie de Firmin Didot frères, fils et cie: II. Librairie de Firmin Didot frères, fils et cie.
<https://archive.org/details/lalumieresescaus00becq>
- Botero Botero, S., & Cano Cano, J. A. (2008). Análisis de series de tiempo para la predicción de los precios de la energía en la bolsa de Colombia. Cuadernos de Economía, 48, 173–208.
<http://www.scielo.org.co/pdf/ceco/v27n48/v27n48a07.pdf>
- Branker, K., Pathak, M. J. M., & Pearce, J. M. (2011). A review of solar photovoltaic leveled cost of electricity. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(9), 4470–4482.
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.07.104>
- Caicedo Vargas, J. S. (2020). Evaluación técnico ambiental para la implementación del sistema fotovoltaico para la iluminación de la vía nacional que cruza la ciudad de Sogamoso (Boyacá) [Universidad de La Salle].
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1183
- Campagna, L., Taromboli, G., Bergonzi, C., Bovera, F., Trovato, V., Merlo, M., & Rancilio, G. (2025). Renewable Energy Communities: Frameworks and Implementation of Regulatory, Technical, and Social Aspects Across EU Member States. Sustainability (Switzerland), 17(9). <https://doi.org/10.3390/SU17094195>
- Castaño-Gómez, M., & García-Rendón, J. J. (2020). Installed capacity of photovoltaic solar energy in Colombia: An analysis of economic incentives. Lecturas de Economía, (93), 23–64. <https://doi.org/10.17533/UDEA.LE.N93A338727>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG. (1999). Resolución CREG 042 de 1999. Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG.
https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0042_1999.htm

Congreso de Colombia. (1994a). Ley No. 142 de 1994 (Ley de Servicios Públicos Domiciliarios) (República de Colombia, Ed.). Gestor Normativo Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>

Congreso de Colombia. (1994b). Ley No. 143 de 1994 (Ley Eléctrica) (República de Colombia, Ed.). Gestor Normativo Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631>

Congreso de Colombia. (2014). Ley No. 1715 de 2014. República de Colombia.

Consejo Mundial de Energía. (2010). Eficiencia Energética: Una Receta para el Éxito Consejo Mundial de la Energía Por una energía sustentable.

https://www.worldenergy.org/assets/downloads/PUB_Eficiencia_Energetica_Una_receta_para_el_exito_2010_WEC.pdf

Correa Flórez, C. A. (2024). Paz total y transición energética. En Unidad de Planeación Minero Energética - UPME (Ed.), Nodo - Boletín de la Unidad de Planeación Minero Energética (pp. 3–4).

Cote Sánchez, E. A. (2017). Incidencia de proyectos que emplean sistemas fotovoltaicos frente a la problemática energética de las zonas rurales de Colombia [Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13509>

CREG. (2026). Circular No. 233 de 2026.

Cruz Chuyma, R., Guillén Guillén, E. N., Quispe Berríos, H., & Aceituno Huacani, C. (2023). Trucos y secretos de la praxis cuantitativa. Atenea Editoras.

Cruz del Castillo, C., Olivares Orozco, S., & González García, M. (2014). Metodología de la Investigación. Grupo Editorial Patria S.A. de C.V.

Decreto 1124 de 2008 (2008).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48919>

Decreto Reglamentario Único del Sector Administrativo de Minas y Energía 1073 de 2015

(2015). <https://www.anh.gov.co/documents/3242/36452-Decreto-1073-26May2015.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2021). DANE - Proyecciones de

población. [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion)

[poblacion/proyecciones-de-poblacion](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion)

Departamento Nacional de Planeación - DNP, & Grupo Asesor de la Gestión de Programas y

Proyectos de Inversión Pública. (2006). Manual de procedimientos del Banco de

Programas y Proyectos de Inversión Nacional, BPIN. República de Colombia.

[https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Inversiones%20y%20finanzas%20pblicas/MANUA](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Inversiones%20y%20finanzas%20pblicas/MANUAL_DE_PROCEDIMIENTOS_DEL_BANCO.pdf)

[L_DE_PROCEDIMIENTOS_DEL_BANCO.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Inversiones%20y%20finanzas%20pblicas/MANUAL_DE_PROCEDIMIENTOS_DEL_BANCO.pdf)

Dolezal, A., Majano, A. M., Ochs, A., & Palencia, R. (2013). La Ruta hacia el Futuro para la

Energía Renovable en Centroamérica: Worldwatch Institute (L. D. Marin Mora, Ed.).

TRAYSER S.A. [https://cdkn.org/sites/default/files/files/La-Ruta-hacia-el-Futuro-para-la-](https://cdkn.org/sites/default/files/files/La-Ruta-hacia-el-Futuro-para-la-Energia-Renovable.pdf)

[Energia-Renovable.pdf](https://cdkn.org/sites/default/files/files/La-Ruta-hacia-el-Futuro-para-la-Energia-Renovable.pdf)

ENEL S.A. (2024). Parque solar El Paso. [https://www.enel.com.co/es/energias-renovables-](https://www.enel.com.co/es/energias-renovables-egp/proyecto-solar-el-paso.html)

[egp/proyecto-solar-el-paso.html](https://www.enel.com.co/es/energias-renovables-egp/proyecto-solar-el-paso.html)

Energía Limpia XXI. (2015, marzo 10). Honduras líder indiscutible energía solar. Energía

Limpia XXI. <https://revolucionrenovable.wordpress.com/2015/03/10/6002/>

Fonroche Renewable Energies, S. L. U. (2015). Anexo Circular CREG 083-2015. Consultoría

para establecer una metodología para el cálculo de energía firme de una planta solar.

<https://gestornormativo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/502f1965690c521e05257e8c0076887e.html>

Galdabini, S. (1991). Instruments and experiments in the history of physics.

Gallardo Echenique, E. E. (2017). Metodología de la Investigación. Universidad Continental.

Gallego, J. D., Franco, C. J., & Zapata, S. (2017). Policies for the utilization of hydropower potential in Colombia using small plants. *IEEE Latin America Transactions*, 13(12), 2844–3850. <https://doi.org/doi.org/10.1109/TLA.2015.7404918>

García, H., Corredor, A., Calderón, L., & Gómez, M. (2013). Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia. <https://fedesarrollo.org.co/medio-ambiente/a03b5300-dc80-4d5f-9752-0518d3816d2e>

García Rendón, J., Gaviria Hinestroza, A., & Salazar Moreno, L. (2011). Determinantes del precio de la energía eléctrica en el mercado no regulado en Colombia. *Revista Ciencias Estratégicas*, 19(26), 225–246. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=151322415007>

General Power. (s/f). Complete Guide: How Much Diesel Does a Generator Use? - General Power Limited. Recuperado el 7 de febrero de 2026, de <https://www.genpowerusa.com/blog/complete-guide-how-much-diesel-does-a-generator-use/>

Gil Vera, V. D. (2016). Pronóstico de la demanda mensual de electricidad con series de tiempo. *Revista EIA*, 13, 111–120. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149250081008>

Guerrero, G., & Guerrero, C. (2014). Metodología de la investigación. Grupo Editorial Patria.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). Metodología de la investigación. McGraw-Hill Education.

- Huang, L., Chen, Z., Cui, Q., Zhang, J., Wang, H., & Shu, J. (2018). Optimal planning of renewable energy source and energy storage in a medium- and low-voltage distributed AC/DC system in China. *The Journal of Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1049/joe.2018.8546>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2022). Radiación solar. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Las Zonas No Interconectadas -IPSE. (s/f). Proyectos FAZNI. Recuperado el 20 de febrero de 2026, de <https://ipse.gov.co/mapa-del-sitio/proyectos-ipse/proyectos-fanzi/>
- Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. (2018). Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias . INEEL. <https://www.gob.mx/ineel>
- Intégrame, & Ministerio de Minas y Energía. (s/f). Balance de Subsidios y Consumo del Fondo de Energía Social FOES. Recuperado el 20 de febrero de 2026, de <https://www.integrame.gov.co/tablero/balance-de-subsidios-y-consumo-del-fondo-de-energia-social-foes/>
- International Energy Agency. (2020). *Renewables 2020 - Analysis and forecast to 2025* (IEA Publications, Ed.).
- Jochemsen, N., Mees, H., & Akerboom, S. (2024). Renewable energy communities: Democratically legitimate agents in governing the energy transition? *Energy Research and Social Science*, 117. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2024.103732>
- Levy, A. (2020, junio 24). La calidad del servicio en la provisión de electricidad en América Latina - Energía para el Futuro. *Energía para el futuro*.

<https://blogs.iadb.org/energia/es/la-calidad-del-servicio-en-la-provision-de-electricidad-en-america-latina/>

Mendoza Palacios, R. (2006). Investigación cualitativa y cuantitativa -Diferencias y limitaciones.

https://www.academia.edu/4704231/Investigaci%C3%B3n_cualitativa_y_cuantitativa_Diferencias_y_limitaciones

Ministerio de Minas y Energía - MME. (2023). Decreto 2236 de 2023. República de Colombia.

MME. (2024). Comunidades Energéticas - Mapa Descripción de Potenciales.

<https://www.minenergia.gov.co/es/comunidades-energeticas/>

MME, UPME, & IPSE. (2011). Guía: Formulación y presentación de proyectos fondos FAER, FAZNI, SGR, FECF y programa PRONE. República de Colombia.

https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Impresos/Guia_proyectos_upme_2011.pdf

MME. (s/f-a). Fondo de apoyo financiero para la energización de las zonas no interconectadas - FAZNI. Recuperado el 20 de febrero de 2026, de

<https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/fondos-especiales/fondo-de-apoyo-financiero-para-la-energizaci%C3%B3n-de-las-zonas-no-interconectadas-fazni/>

MME. (s/f-b). Fondo de Energía Social (FOES). Recuperado el 20 de febrero de 2026, de

<https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/subsidios/fondo-de-energ%C3%ADa-social-foes/>

MME. (s/f-c). Subsidios. Recuperado el 20 de febrero de 2026, de

<https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/subsidios/>

MME. (2003). Manual guía para la formulación, presentación y registro de proyectos, para acceder a los recursos del Fondo de Apoyo Financiero para la eterminación de las Zonas No

Interconectadas - FAZNI. República de Colombia.

https://www.minenergia.gov.co/documents/3965/Manual_FAZNI.pdf

MME. (2024a). Resolución 40136 de 2024. República de Colombia.

MME. (2024b). Resolución 40137 de 2024. República de Colombia.

MME. (2024c, septiembre 27). Gobierno del Cambio inaugura parque solar fotovoltaico en La Unión, Córdoba. <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/gobierno-del-cambio-inaugura-parque-solar-fotovoltaico-en-la-uni%C3%B3n-c%C3%B3rdoba/>

MME, UPME, DEA, & Emergente. (2025). Catálogo tecnológico colombiano para tecnologías de generación y almacenamiento de energía 2025.

Muñoz-Arias, C., Villamil-Villar, B., Restrepo-Álvarez, A., & Bolívar-Chaves, O. (2021).

Estudio socio-técnico del uso de energías renovables como alternativa de iluminación en las comunidades de las zonas no interconectadas. *Revista UIS Ingenierías*, 21(1).

<https://doi.org/10.18273/revuin.v21n1-2022002>

Naciones Unidas. (2015). *Energía - Desarrollo Sostenible*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos - OECD. (2018). *Manual de Frascati - Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental*. En Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT.

Pareja Aparicio, Miguel. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*.

Pérez, L. C., Yepez, A., Hallack, M., & Chueca, E. (2023, abril 23). ¿Qué tiene que ver la energía y la pobreza? Energía para el futuro - BID. <https://blogs.iadb.org/energia/es/que-tiene-que-ver-la-energia-y-la-pobreza/>

Pinto Siabato, F. (2004). Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán. Cuadernos de Desarrollo Rural, 53, 103–132.

<https://doi.org/https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/1262/750>

Prasad, S., & Findlay, C. (2015). Varying Currents. *Living Energy*, 1(12), 15–17.

<https://new.siemens.com/customer-magazine/en/home/energy/fossil-power-generation/the-role-of-regulatory-systems-in-the-energy-mix.html>

Resolución MME 40378 de 2023 (2023).

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_minminas_40378_2023.htm

Resolución UPME 355 de 2004 (2004).

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_upme_0355_2004.htm#INICIO

Restrepo, A. R., Fernando Manotas, D., & Lozano, C. A. (2016). Self-generation of Electricity, Assessment and Optimization Under the New Support Schemes in Colombia. *IEEE Latin America Transactions*, 14(3), 1308–1314. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7459614>

Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.

Revista de Ingeniería, (28), 83–89.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932008000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=es

- Roldan Viloria, J. (2013). Energías renovables. Lo que hay que saber - ROLDÁN VILORIA, JOSÉ - Google Libros. Energías renovables: Lo que hay que saber. <https://books.google.com.co/books?id=yKh2AgAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Ruiz, I. (2017). Análisis prospectivo de la Generación Fotovoltaica Distribuida en Colombia, en el marco legal de la Ley 1715 de 2014. Universidad Industrial de Santander.
- Salas Reyes, Y., Gómez Blanco, H., Vanegas Chamorro, M., Valencia Ochoa, G., & Villicaña Ortíz, E. (2018). Diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada. *Prospectiva*, 16(2), 82–88. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612018000200082
- Sandoval, A. M. (2004). Monografía del sector de electricidad y gas colombiano: Condiciones actuales y retos futuros. En Departamento Nacional de Planeación & Dirección de Estudios Económicos (Eds.), *Archivos de Economía* (Vol. 272). República de Colombia. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Econmicos/272.pdf>
- Santos Sarmiento, S. J. (2023, noviembre 30). La resolución 40378 de 2023 por medio de la cual se deroga la resolución 41208 de 2016 y se establecen nuevos parámetros para la asignación de recursos del “FAZNI”. Castro Nieto. <https://castronieto.co/la-resolucion-40378-de-2023-por-medio-de-la-cual-se-deroga-la-resolucion-41208-de-2016-y-se-establecen-nuevos-parametros-para-la-asignacion-de-recursos-del-fazni/>

Sarfarazi, S., Sasanpour, S., & Bertsch, V. (2024). Integration of energy communities in the electricity market: A hybrid agent-based modeling and bilevel optimization approach.

Energy Reports, 12, 1178–1196. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2024.06.052>

Serna Duque, L. Y., Pérez Cuartas, S., & Aristizábal Álzate, P. A. (2016). Análisis con base en la falla del servicio pública de energía en Colombia y consecuencias en su economía [Universidad Libre].

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16796/AN%C3%81LISIS%20C ON%20BASE.pdf?sequence=1>

Sistema de Gestión de Información y Conocimiento sobre Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (SGI&C - FNCER). (2016). Las plantas de energía solar más importantes que existen en todo el mundo. Unidad de Planeación Minero Energética ' -

UPME. <http://www1.upme.gov.co/sgic/?q=content/las-plantas-de-energ%C3%ADa-solar-m%C3%A1s-importantes-que-existen-en-todo-el-mundo>

Style, O. (2012). ENERGIA SOLAR AUTONOMA. Planificacion, dimensionado e instalacion de un sistema fotovoltaico autonomo, 168.

https://books.google.com/books/about/Energ%C3%ADa_Solar_Aut%C3%B3noma.html?hl=es&id=cNJB5tdbcJ0C

Suárez Rozo, A. F. (2010). Diseño y Análisis del esquema de conexión de un sistema fotovoltaico a la red de baja tensión en zona rural [Universidad de los Andes].

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/efaf9831-902f-4c92-8513-e2288d56a5bf/content>

Sunedison. (2015, mayo 13). Energía Solar Fotovoltaica. <http://www.sunedison.es/energia-solar-fotovoltaica/>

Superintendencia Delegada para Energía y Gas Combustible. (2017). Zonas No Interconectadas - ZNI: Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017.

<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/diagnosticozni-superservicios-oct-2017%20%281%29.pdf>

Unidad de Planeación Minero - Energética - UPME. (2025). Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2024-2028. Gobierno de Colombia.

https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Energia%20Electrica/PIEC/2024-2028/PIEC_2024-2028_Vfinal.pdf

UPME. (2015a). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia.

https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Doc_Hemeroteca/Estudio_integracion_energias/Integracion_energias_renovables.pdf

UPME. (2015b). Resolución 281 de 2015 (República de Colombia, Ed.).

UPME. (2019). Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica. República de Colombia.

UPME. (2022a). Factores de Emisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en Colombia para el 2022. República de Colombia.

UPME. (2022b). Guía metodológica para la viabilización de proyectos de energía para el Fondo para Plan Todos Somos Pazcífico - FTSP (2a ed.). República de Colombia.

https://www1.upme.gov.co/fondos-apoyo-financiero/Documents/Guia_pazcifico/Guia_presentacion_proyectos_FTSP_actualizacion_abril_2022.pdf

UPME. (2024). Capacidad Asignada UPME.

<https://upme.maps.arcgis.com/apps/dashboards/a12f7d6ec89a47ca913f6b275a05f4a1>

UPME, & IDEAM. (2005). Atlas de radiación solar de Colombia (Gobierno de Colombia, Ed.).

Vaisala Inc. (2015). Global solar map.

https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Vaisala_global_solar_map.pdf

Van Campen, B., Guidi, D., & Best, G. (2019). Energía solar fotovoltaica para la agricultura y el desarrollo rural sostenibles. En Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://bio->

[nica.info/Biblioteca/VanCampen2000EnergiaSolarFotovoltaica.pdf](http://bio-nica.info/Biblioteca/VanCampen2000EnergiaSolarFotovoltaica.pdf)

Weiss, M., Ravillard, P., Sanin, M. E., Carvajal, F., Daltro, Y., Chueca, J. E., & Hallack, M.

(2021). Impacto de la regulación en la calidad del servicio de distribución de la energía eléctrica en América Latina y el Caribe. Inter-American Development Bank.

<https://doi.org/10.18235/0003762>

Young, J., & Halleck Vega, S. M. (2024). What is the role of energy communities in tackling energy poverty? Measures, barriers and potential in the Netherlands. *Energy Research & Social Science*, 116, 103693. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2024.103693>