

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, FINANCIERA Y AMBIENTAL DE PROYECTOS DE
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE SISTEMAS SOLARES
FOTOVOLTÁICOS Y SU IMPACTO EN LAS COMUNIDADES INDÍGENAS DEL
DEPARTAMENTO DE VAUPÉS.

TERCER INFORME

ELABORADO POR:

PEDRO FELIPE GONZÁLEZ MALDONADO

PRESENTADO A:

LUZ MARINA SANCHEZ AYALA

ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE LA CALIDAD Y LA INNOVACIÓN

UNIVERSIDAD EAN

BOGOTÁ JUNIO DE 2023

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	3
Summary:	3
Problema de Investigación	4
Pregunta de investigación	5
Objetivos	5
Justificación	6
Marco Teórico	8
Marco institucional	22
Organigrama	23
Metodología	24
Variable Económica	27
Variable Social	28
Variable Técnica	29
Variable Ambiental	30
Segundo nivel	31
Desarrollo y Análisis de Resultados	32
Costo de implementación solución solar fotovoltaica zona rural del Vaupés	38
Costo de implementación sistema de distribución en Zona Rural del Vaupés	40
Discusión de Resultados:	50
Conclusiones:	58
Lista de referencias	59

Resumen

En el país se encuentran comunidades aisladas que no cuentan con acceso a los servicios básicos incluido el servicio de energía eléctrica. Por más de 50 años el gobierno nacional a través de recursos administrados por el ministerio de minas y sus institutos han desarrollado proyectos alternativos para llevar energía eléctrica a las denominadas “Zonas No Interconectadas”. Es importante que se implementen proyectos de energía solar fotovoltaica ya que a través de ellos se beneficiarían diferentes poblaciones que, aunque aisladas tienen condiciones favorables para el aprovechamiento de la luz solar. De acuerdo con esto se busca evaluar su viabilidad con respecto a la implementación.

Palabras clave: Paneles Fotovoltaicos, Energía Solar, Desarrollo Sostenible

Summary:

In Colombia, there are isolated communities that lack access to basic services, including electricity. For over 50 years, the Colombian government, through financial resources managed by the Ministry of Mines and its institutes, has developed alternative projects to bring electricity to these "Non-Interconnected Zones." It is important to implement photovoltaic solar energy projects as they would benefit various populations that, despite being isolated, have favourable conditions for harnessing solar power. Therefore, the aim is to assess the viability of implementing such projects.

Keywords: Photovoltaic Panels, Solar Energy, Sustainable Development

Problema de Investigación

En el país se encuentran comunidades aisladas que no cuentan con acceso a los servicios básicos incluido el servicio de energía eléctrica. En el país la gran mayoría de la población se encuentra en zonas urbanas, las cuales se encuentran conectadas al sistema interconectado nacional (SIN) lo cual permite el acceso tanto doméstico como industrial de energía eléctrica. Por más de 50 años el gobierno nacional a través de recursos administrados por el ministerio de minas y sus institutos han desarrollado proyectos alternativos para llevar energía eléctrica a las denominadas “Zonas No Interconectadas”, estos proyectos se desarrollan de acuerdo con la tecnología disponible y pretenden satisfacer la necesidad de energía eléctrica de aquellas comunidades remotas que por su ubicación geográfica no tienen acceso a este servicio.

Por lo menos desde mediados de los años noventa se han invertido recursos en proyectos relacionados con el aprovechamiento de la energía solar a través de soluciones fotovoltaicas para zonas apartadas del país, algunas de estas soluciones han logrado cumplir con su función, otras lastimosamente no, por falta de seguimiento, monitoreo y actualización a nuevas tecnologías.

El proyecto pretende determinar la viabilidad de la implementación de soluciones fotovoltaicas en áreas rurales de Colombia, determinar si los resultados obtenidos justifican la inversión que se está realizando y establecer hasta qué punto esta iniciativa hace parte con alguno de los 17 objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas.

De acuerdo con las condiciones descritas es común encontrar que las poblaciones y comunidades que no hacen parte del Sistema Interconectado Nacional (SIN), tienen dificultades

para acceder a un servicio de energía eléctrica confiable e ininterrumpido, que les garantice una oferta energética suficiente con sus necesidades de consumo. Sumado a esto, las alternativas a las que se tiene acceso usualmente no son eficientes o sustentables con el medio ambiente, uno de estos escenarios es la generación de energía eléctrica a partir de plantas diésel, que aparte que generan emisiones de CO₂, traen consigo costos adicionales asociados a la compra y transporte de combustibles.

Con base en esta necesidad y en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se plantea analizar los costos beneficios de los sistemas fotovoltaicos en zonas cuyo potencial energético como el departamento de Vaupés brindan una alternativa sustentable, versus fuentes convencionales de generación de energía, en este caso sistemas convencionales son generadores de combustible fósil, por medio de una comparación técnica y económica que permita decidir cuál es la mejor alternativa para la limitada cobertura de las redes de distribución de energía en zonas no interconectadas.

Pregunta de investigación.

¿Son viables técnica, financiera y ambientalmente los proyectos de generación de energía eléctrica basados en sistemas solares fotovoltaicos para las comunidades indígenas del Vaupés?

Objetivos

Objetivo general

- Examinar la factibilidad técnica, financiera y ambiental de proyectos de generación de energía eléctrica a través de sistemas solares fotovoltaicos en las comunidades indígenas del Vaupés.

Objetivos específicos

- Evaluar la viabilidad técnica a mediano y largo plazo de los sistemas solares fotovoltaicos, teniendo en cuenta las dificultades logísticas y demandas de energía por núcleo familiar.
- Evaluar la viabilidad financiera de la implementación de un proyecto de sistemas solares fotovoltaicos en el departamento del Vaupés.
- Establecer los beneficios ambientales y su impacto en la mitigación de expulsión de partículas de CO₂ a la atmosfera.
- Identificar los beneficios sociales que generarían los sistemas de energía solar fotovoltaicos en la zona rural del departamento del Vaupés.

Justificación

Si bien es importante conocer la conveniencia y viabilidad de este proyecto, vale la pena indicar que la energía eléctrica producida a través de paneles solares fotovoltaicos es inagotable y adicionalmente no contamina, por lo tanto, favorece el desarrollo sostenible además de promocionar el empleo local. Si se logran implementar proyectos de este tipo a gran escala se beneficiaría notablemente el medio ambiente, ya que la energía solar fotovoltaica no emite gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global en el proceso de generación de energía, convirtiéndolos en una de las soluciones más viables y limpias previniendo la degradación ambiental.

La electricidad hoy en día es indispensable para el desarrollo humano, está presente casi en todo, no es posible concebir el funcionamiento de hospitales, industria, medios de transporte entre otros sin este preciado servicio.

Teniendo en cuenta la alta demanda de energía eléctrica, el suministro de la misma a través de soluciones fotovoltaicas cobra una gran importancia en especial en zonas donde no es

posible acceder al sistema interconectado nacional. Adicionalmente ofrece otros grandes beneficios como disminución en los costos del mantenimiento del sistema, disminución en la contaminación es decir una positiva huella de carbono y con el cuidado adecuado es una fuente inagotable de energía.

Marco Teórico

Reseña Histórica

De acuerdo con Adams (1877), la energía fotovoltaica, también conocida como energía solar, es una fuente de energía renovable y sostenible que se utiliza desde hace más de un siglo. Los orígenes de la tecnología fotovoltaica de acuerdo con Chadwick-Healey (1878), se remontan a 1839, cuando el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico. Este fenómeno se refiere a la capacidad de ciertos materiales para convertir la luz solar en electricidad cuando se exponen a la luz. Sin embargo, no fue hasta la década de 1950 cuando la tecnología fotovoltaica empezó a desarrollarse para aplicaciones prácticas.

Una de las primeras aplicaciones prácticas de la tecnología fotovoltaica fue en la industria espacial. En 1958, de acuerdo con Gevorkian (2007) el primer satélite, el Vanguard 1, se puso en órbita con un panel fotovoltaico que alimentaba su sistema de comunicaciones. Esto marcó el inicio del uso de la tecnología fotovoltaica en la exploración espacial. Con el paso de los años, la tecnología fotovoltaica siguió evolucionando y, en la década de 1970 según Cayetano (2004), ya se utilizaba en lugares remotos y sin conexión a la red para suministrar energía a hogares y empresas.

Según Jones (2012), en la década de 1980, la industria fotovoltaica experimentó un periodo de crecimiento significativo, impulsada por la creciente demanda de fuentes de energía renovables. En esa época, los avances tecnológicos permitieron desarrollar células solares más eficientes y el coste de producción de los paneles fotovoltaicos empezó a disminuir. Esto hizo que la energía solar fuera más accesible y asequible para un mayor número de consumidores.

Hoy en día, de acuerdo con Markvart (2003), la tecnología fotovoltaica se ha convertido en un componente vital de la combinación energética mundial, con instalaciones en todo el mundo capaces de producir más de 500 GW de electricidad. El uso de la tecnología fotovoltaica también se ha extendido más allá de las aplicaciones tradicionales y ahora según Alstone (2015),

se utiliza de formas innovadoras como en el desarrollo de vehículos propulsados por energía solar y en la integración de paneles fotovoltaicos en materiales de construcción.

Generalidades de la Energía Solar.

De acuerdo con Ladino (2011), la energía fotovoltaica se genera mediante el uso de células solares. Las células fotovoltaicas o células solares están hechas de materiales semiconductores, normalmente silicio, y convierten la luz solar en electricidad. Según Cayetano, la eficiencia de las células fotovoltaicas ha aumentado considerablemente con los años, lo que las ha convertido en una opción cada vez más popular para hogares, empresas e incluso gobiernos de todo el mundo.

Según Noguera-Salas (2018), el proceso de generación de electricidad mediante células fotovoltaicas es relativamente sencillo. Cuando la luz solar incide en las células, hace que los electrones de éstas se muevan, generando un flujo de electricidad. La electricidad generada por las células puede utilizarse inmediatamente o almacenarse en baterías para su uso posterior. De acuerdo con Cortés (2020), el uso de células fotovoltaicas tiene numerosas ventajas, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la disminución de los costes energéticos y el aumento de la independencia energética.

De acuerdo con Paternina (2012), las células fotovoltaicas pueden instalarse en tejados, en el suelo o incluso en plataformas flotantes en masas de agua. También pueden utilizarse en diversas aplicaciones, como suministrar energía a hogares, empresas e incluso ciudades enteras. Según Ladino (2011), los gobiernos de todo el mundo invierten cada vez más en energía

fotovoltaica para reducir su dependencia de los combustibles fósiles y satisfacer sus necesidades energéticas con fuentes limpias y renovables.

A pesar de las numerosas ventajas de la energía fotovoltaica, aún quedan retos por afrontar. Uno de los principales es el coste de instalación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, a medida que avance la tecnología y se consigan economías de escala, de acuerdo con Ladino (2011), se espera que el coste de la energía fotovoltaica siga disminuyendo. Además, preocupa la eliminación de las células fotovoltaicas viejas o dañadas, ya que contienen materiales tóxicos. Los investigadores están trabajando para desarrollar formas de reciclar y reutilizar estos materiales de manera segura y sostenible.

Sistemas Solares Fotovoltaicos de uso Residencial.

Según Bravo Tapia (2016), los sistemas solares fotovoltaicos de uso residencial son sistemas de generación de energía eléctrica que utilizan la radiación solar para producir electricidad en viviendas o edificios residenciales. Estos sistemas están compuestos por varias partes:

Paneles solares fotovoltaicos: De acuerdo con la Biomass Users Network (BUN-CA) (2002), los paneles solares son los dispositivos que convierten la energía solar en electricidad. Estos paneles están compuestos por células solares que absorben la luz solar y la convierten en electricidad.

Inversor: el inversor es el dispositivo que convierte la electricidad generada por los paneles solares de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC), que de acuerdo con la Biomass Users Network (BUN-CA) (2002), es la forma de electricidad que se utiliza en los hogares.

Baterías: Según Preciado y Hurtado (2018), las baterías son opcionales en los sistemas solares fotovoltaicos de uso residencial y sirven para almacenar la electricidad generada durante el día para su uso en horas de baja producción de energía solar o en caso de cortes de energía eléctrica.

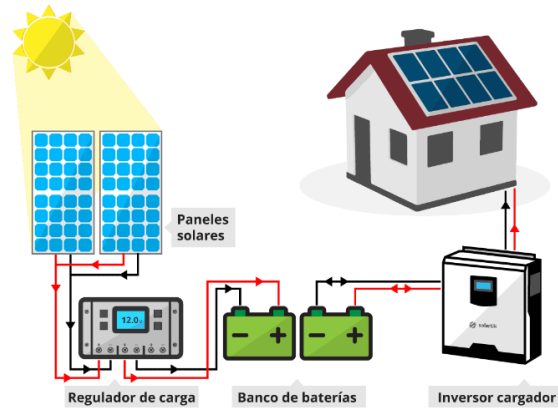
Medidor bidireccional: De acuerdo con Preciado y Hurtado (2018), este dispositivo mide la cantidad de electricidad que se consume del sistema y la que se genera para ser entregada a la red eléctrica.

Estructura de soporte y cableado: Según Preciado y Hurtado (2018), estas son las partes que sostienen los paneles solares y conectan todos los componentes del sistema.

Los sistemas solares fotovoltaicos de uso residencial son una forma de generar energía renovable y reducir la dependencia de la red eléctrica convencional. Además según Bravo Tapia (2016) estos sistemas pueden generar ahorros en la factura eléctrica al utilizar la electricidad generada por el sol en lugar de comprarla a la compañía eléctrica.

Figura 1. Componentes típicos del Sistema Solar Fotovoltaico para uso residencial

Fuente: (Castaño-Gómez, García-Rendón. 2020)



Teniendo en cuenta la descripción general del funcionamiento de este sistema adicionalmente se deben evaluar las **desventajas** descritas a continuación:

- Altos costos de instalación: Se considera un obstáculo para masificar esta energía, su instalación es costosa debido a que los paneles solares requieren de una alta inversión.
- Mano de obra calificada: Para la instalación y mantenimiento del sistema solar fotovoltaica se requiere de mano de obra especializada y generalmente escasa.
- Cobertura: Para lograr que una vivienda familiar pueda obtener la energía que requiere de los paneles solares es necesario contar con grandes superficies.
- Almacenamiento: Los dispositivos que se requieren para almacenar esta energía y poderla utilizar en horas de la noche, o en temporadas en la que el sol no genera mucha radiación es necesario instalar dispositivos de almacenamiento de gran tamaño que por lo general implica costos adicionales.

Energía Renovable en el mundo

Las energías renovables son un aspecto vital de la combinación energética mundial, ya que según datos del informe de estadísticas de capacidad renovable de 2021 de IRENA, proporcionan una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente a los combustibles fósiles tradicionales. Las energías renovables son la eólica, la solar, la geotérmica, la hidráulica y la biomasa. Según IRENA (2021), el uso de energías renovables ha aumentado rápidamente en los últimos años, y se espera que siga creciendo en el futuro debido a la creciente preocupación por el cambio climático, el agotamiento de los recursos no renovables y el aumento de la demanda de energía.

De acuerdo con Castaño-Gómez, García-Rendón (2020), una de las principales ventajas de las energías renovables es que son limpias y no producen emisiones nocivas que contribuyan al cambio climático. También tiene un impacto mucho menor en el medio ambiente en comparación con las fuentes de energía tradicionales, ya que según Castaño-Gómez, García-Rendón (2020), no requiere la extracción, perforación o transporte de combustibles fósiles. Además, las fuentes de energía renovables son abundantes y pueden aprovecharse en muchas partes del mundo, lo que reduce la dependencia de la energía importada.

El sector de las energías renovables ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, con un aumento de las inversiones en tecnologías e infraestructuras de energías renovables. De acuerdo con el reporte IRENA (2019), muchos países han fijado objetivos ambiciosos para el uso de energías renovables, y algunos pretenden alcanzar el 100% de energías renovables en 2050. La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2021) ha informado de que el sector de las energías renovables emplea actualmente a más de 11

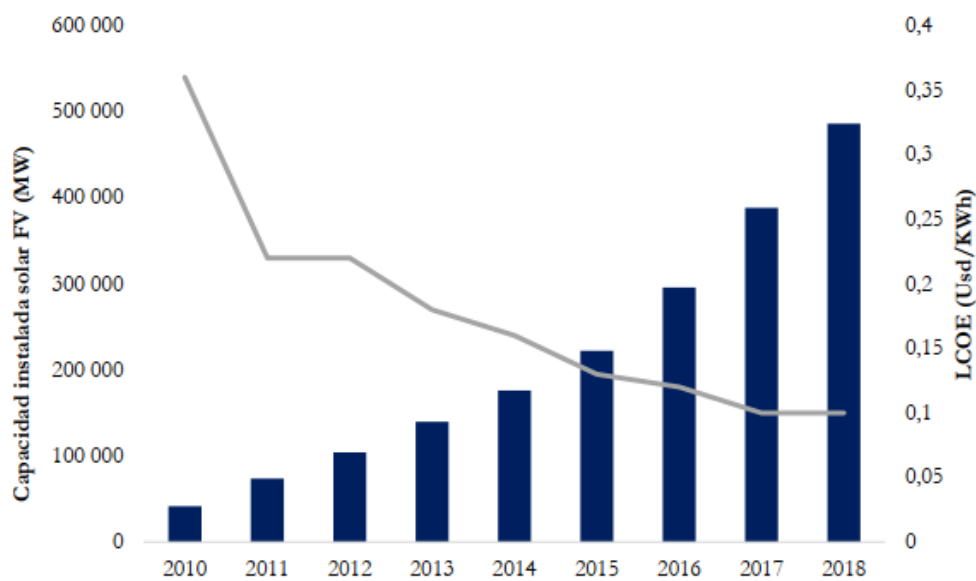
millones de personas en todo el mundo, lo que pone de relieve el potencial de creación de empleo de la industria.

unque existen retos para la adopción generalizada de las energías renovables, como la intermitencia y la necesidad de soluciones de almacenamiento de energía a gran escala, los avances tecnológicos mejoran continuamente la eficiencia y la asequibilidad de las fuentes de energía renovables. Gobiernos y empresas de todo el mundo reconocen la importancia de invertir en energías renovables, no sólo para combatir el cambio climático, sino también para reducir los costes energéticos y aumentar la seguridad energética.

Se espera que el sector de las energías renovables siga creciendo, impulsado por la creciente preocupación por el cambio climático y el agotamiento de los recursos no renovables. Aunque sigue habiendo retos, los beneficios potenciales de las energías renovables, como la creación de empleo y la seguridad energética, las convierten en una inversión vital para el futuro.

Figura 2 Capacidad instalada FV vs. Costo nivelado de la energía solar FV

Fuente: (Castaño-Gómez, García-Rendón. 2020)



Energía Renovable en Latinoamérica y el Caribe

Las energías renovables se han convertido en un tema cada vez más importante en América Latina, ya que la región busca reducir su huella de carbono y aumentar la seguridad energética. De acuerdo con Sandra (2015), la región cuenta con vastos recursos energéticos renovables, como la energía solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica. América Latina está bien posicionada para aprovechar estos recursos, con abundante sol, fuertes vientos y amplios recursos hídricos. Según IRENA (2021), la región alberga también algunas de las mayores presas hidroeléctricas del mundo, como la presa de Itaipú, en la frontera entre Brasil y Paraguay, que genera energía suficiente para cubrir las necesidades energéticas de ambos países.

Varios países de América Latina ya han avanzado mucho en la transición a las energías renovables. Según Washburn y Romero (2019), Costa Rica, por ejemplo, se ha fijado el objetivo de ser neutra en carbono para 2050 y ya ha logrado importantes hitos en este sentido. El país ha sido capaz de generar casi toda su electricidad a partir de fuentes renovables durante más de 300 días en 2019, gracias a sus abundantes recursos hidroeléctricos, eólicos y geotérmicos. El mismo autor también señala que Uruguay, por su parte, ha sido capaz de generar casi el 100% de su electricidad a partir de renovables, gracias a sus inversiones en energía eólica y solar.

Según Washburn y Romero (2019), otros países de América Latina también están realizando importantes inversiones en energías renovables. Brasil, por ejemplo, se ha fijado el objetivo de generar el 45% de su electricidad a partir de fuentes renovables para 2030 y está invirtiendo mucho en energía eólica y solar. México se ha fijado un objetivo similar de generar el 35% de su electricidad a partir de fuentes renovables para 2024 y está invirtiendo en energía eólica, solar y geotérmica.

Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, aún quedan retos por superar en la transición hacia las energías renovables en América Latina. Entre ellos figuran el elevado coste de las infraestructuras de energías renovables, la necesidad de modernizar la red y la falta de marcos reguladores que apoyen el desarrollo de las energías renovables. No obstante, América Latina está haciendo progresos significativos en la transición a las energías renovables y está bien posicionada para convertirse en un líder mundial en este campo.

Energía Renovable en Colombia

Las energías renovables son un tema cada vez más importante en Colombia. De acuerdo con Rodríguez (2008), el país ha dependido durante mucho tiempo de fuentes no renovables como el petróleo y el gas para satisfacer sus necesidades energéticas, pero según el informe de capacidad mundial renovable de IRENA (2021) en los últimos años se ha producido un impulso hacia formas de energía más sostenibles. Este cambio se debe a varios factores, como la preocupación por el cambio climático y la necesidad de diversificar la combinación energética de Colombia.

Una de las formas más prometedoras de energía renovable en Colombia es la hidroeléctrica. De acuerdo con el Consejo Privado de Competitividad (2018), el país tiene abundantes recursos hídricos, y la energía hidroeléctrica representa actualmente alrededor del 70% de su generación de electricidad. Sin embargo, preocupa el impacto medioambiental de los proyectos hidroeléctricos a gran escala, y algunas comunidades indígenas se han visto desplazadas por la construcción de presas.

Además de la energía hidroeléctrica, según Eraso Checa (2020) en Colombia crece el interés por la energía solar y eólica. El país tiene un clima soleado y fuertes vientos en algunas regiones, lo que lo hace idóneo para estas formas de energía renovable. El Gobierno de Iván Duque se ha fijado el objetivo de generar el 10% de su electricidad a partir de fuentes renovables no convencionales para 2022, y existen varias iniciativas destinadas a promover el desarrollo de proyectos solares y eólicos.

A pesar del potencial de las energías renovables en Colombia, aún quedan varios retos por superar. De acuerdo con Jimenez Castilla (2014), uno de los mayores es la falta de inversión en el sector, ya que muchos inversores siguen más atraídos por los proyectos tradicionales de petróleo y gas. También existen barreras normativas para el desarrollo de proyectos de energías renovables, así como según Pérez Castañeda (2019) falta de conocimientos técnicos en algunas áreas.

En general, sin embargo, el futuro parece prometedor para las energías renovables en Colombia. Con un gobierno favorable, abundantes recursos naturales y una conciencia cada vez mayor de la necesidad de energía sostenible, el país tiene un gran potencial para convertirse en líder de la región en materia de energías renovables.

Principales Normas Legales relacionadas con el Servicio de Energía Eléctrica para las Zonas No Interconectadas en Colombia – ZNI.

La Ley Eléctrica en Colombia establece el régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, la planeación de la

expansión, régimen económico y tarifario para las ventas de electricidad, ahorro, conservación y uso eficiente de la energía, la cual se resume a continuación:

Tabla 1. Principales Normas Legales relacionadas con el Servicio de Energía Eléctrica para las Zonas No Interconectadas en Colombia – ZNI

Fuente: Elaboración Propia

Ley/Decreto/ Resolución	Descripción General	Importancia para el Estudio
Ley 142 de 1994:	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.	Ley de carácter general que define el ámbito jurídico general de los servicios públicos en Colombia
Ley 143 de 1994:	Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.	Ley de carácter general que define el ámbito jurídico general de los negocios asociados al sector eléctrico en Colombia
Ley 855 de 2003:	Por la cual se definen las ZNI	Ley que define y precisa las Zonas No Interconectadas, el presente estudio se enfoca a las zonas no interconectadas
Ley 1117 de 2006:	Por la cual se expiden normas sobre normalización de redes eléctricas y de subsidios para estratos 1 y 2.	Las áreas rurales por ser de bajos recursos recogen elementos asociados a los estratos 1 y 2
Decreto 4977 de 2007: .	Por el cual se modifica el Decreto 387 de 2007, que establece las políticas generales en relación con la actividad de comercialización del servicio de energía. eléctrica y se dictan otras disposiciones	Este Decreto es importante porque se precisan y actualizan algunas disposiciones legales en relación al negocio de comercialización de energía eléctrica en Colombia

<p>Res MME182138 de 2007:</p>	<p>Por la cual se expide el procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las ZNI.</p>	<p>Esta resolución define y precisa el procedimiento para otorga subsidios las Zonas No Interconectadas, el presente estudio se enfoca a las zonas no interconectadas</p>
<p>Res. CREG 091 de 2007:</p>	<p>Por la cual se establecen las metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, y las fórmulas tarifarias generales para establecer el costo unitario de prestación del servicio público de energía eléctrica en ZNI.</p>	<p>Esta resolución define y precisa procedimientos esenciales en la remuneración de las actividades económicas en el sector energético para las Zonas No Interconectadas, el presente estudio se enfoca a las zonas no interconectadas</p>
<p>Res. MME 181891 de 2008:</p>	<p>Por la cual se adopta un procedimiento transitorio para otorgar subsidios del Sector Eléctrico en las ZNI.</p>	<p>Esta resolución define y precisa procedimientos transitorios para otorgar subsidios las Zonas No Interconectadas, el presente estudio se enfoca a las zonas no interconectadas</p>
<p>Decreto 099 de 2021:</p>	<p>Por el cual se modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Minas y Energía, 1073 de 2015 en lo relacionado con los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas.</p>	<p>Este decreto está relacionado con lineamientos de políticas energéticas en las Zonas No Interconectadas, el presente estudio se enfoca a las zonas no interconectadas</p>
<p>Ley 2099 de 2021:</p>	<p>Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.</p>	<p>Esta Ley define el plan de ruta para el manejo de la transición energética, el uso de energías renovables y su implementación en Colombia incluidas las ZNI</p>

Departamento de Vaupés

Según el DANE, el departamento del Vaupés se encuentra situado en el sureste de Colombia, presenta fronteras con Brasil y Venezuela. Con una superficie total de 54.135 kilómetros cuadrados, se considera uno de los departamentos más pequeños de la amazonia del país, pero también una de las regiones con mayor biodiversidad. El departamento es conocido por sus vastos paisajes selváticos, su flora y fauna únicas y su rica cultura indígena.

La capital del departamento del Vaupés es Mitú, que es también la ciudad más grande de la región. Mitú está situada a orillas del río Vaupés y se considera la puerta de entrada a la selva amazónica. La ciudad alberga muchas comunidades indígenas, como los cubeo, los tukano y los desana, que según estudios poblacionales del DANE habitan la región desde hace miles de años.

A pesar de su tamaño, el departamento del Vaupés es una región importante para la economía colombiana. El departamento es rico en recursos naturales, como madera, oro y petróleo. La región también alberga muchas comunidades indígenas que dependen de la tierra para su subsistencia. Por ello, el gobierno mediante el proyecto de Transición Energética ha puesto en marcha programas para promover el desarrollo sostenible y proteger el medio ambiente.

El turismo según Jimenez Castilla (2014), también es una industria importante en el departamento del Vaupés. Los paisajes únicos y la cultura indígena de la región atraen a muchos visitantes cada año. Entre las actividades más populares están el senderismo por la selva, la observación de aves y las visitas a comunidades indígenas. El departamento también alberga muchos parques nacionales y zonas protegidas, como el Parque Nacional Alto Fragua Indi Wasi, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

A pesar de su remota ubicación, el departamento de Vaupés desempeña un papel importante en la economía colombiana y es un destino popular para los turistas que buscan aventura y experiencias culturales. Con sus paisajes únicos y su rica historia, el departamento del Vaupés es una joya oculta que poco a poco se abre campo en la escena nacional.

Figura 3 Ubicación del Departamento de Vaupés

Fuente: Leiva, A. (2012).



Marco institucional

IPSE – Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas.

De acuerdo con la pagina oficina del IPSE el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE) es una entidad del gobierno colombiano encargada de promover y desarrollar soluciones energéticas sostenibles en las zonas rurales y apartadas del país que no están conectadas a la red eléctrica nacional.

Las funciones principales del IPSE incluyen:

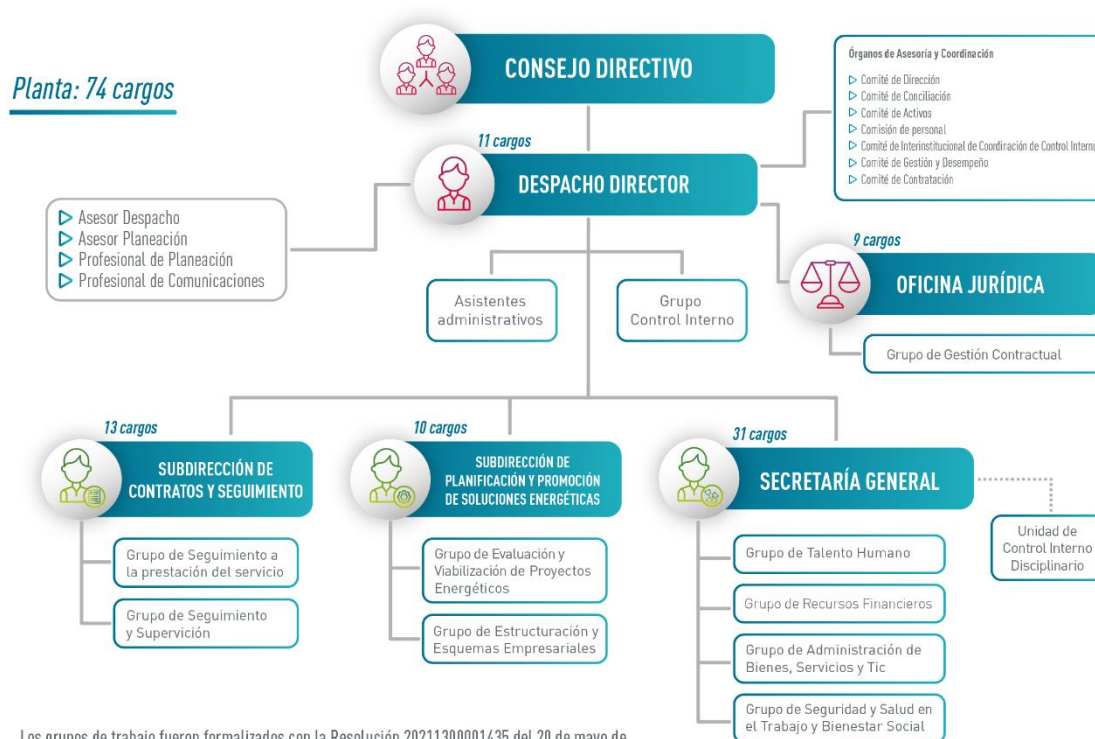
- Elaboración de planes y programas para el desarrollo de soluciones energéticas sostenibles en las zonas no interconectadas.
- Promoción de proyectos de energías renovables y eficiencia energética en las zonas rurales y apartadas.
- Asesoramiento técnico y financiero a los gobiernos locales, comunidades y empresas interesadas en implementar soluciones energéticas sostenibles.
- Gestión de proyectos de electrificación rural y fomento de la utilización de energías renovables en el ámbito rural.
- Implementación y operación de sistemas de generación de energía renovable y distribución de energía eléctrica en las zonas no interconectadas.

En resumen, el IPSE tiene como objetivo promover el acceso a la energía sostenible en las zonas rurales y apartadas de Colombia, contribuyendo al desarrollo económico y social de estas regiones y al mismo tiempo reducir la dependencia del país en combustibles fósiles.

Organigrama

Figura 4 Organigrama IPSE

Fuente: Instituto de Promoción y Planificación de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas IPSE



Metodología

La metodología para desarrollar en la investigación es de tipo descriptivo-correlacional, en donde se realiza un análisis de los objetivos ya propuestos, para dar solución a la problemática planteada.

Tabla 2: Metodología de Investigación

Fuente: Elaboración Propia

OBJETIVOS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES
Comparar los costos económicos del sistema de generación tradicional y un sistema fotovoltaico.	Costo generación de energía. (\$)	El costo se define como el valor que se da a un bien o servicio.	El valor generado por el consumo del proceso requerido para la producción de energía.	Económica	El valor a pagar por el servicio.
Evaluar la viabilidad técnica de la implementación de un proyecto solar fotovoltaico.		.	Consiste en calcular el costo promedio de los equipos y su puesta en operación para generar energía eléctrica fotovoltaica.	Técnica	Cantidad de energía demandada por la población.
Evaluar la viabilidad financiera de la implementación de un proyecto de sistema fotovoltaico.	Demanda de energía de las comunidades indígenas del Vaupés (kW/h)	La demanda se define como la cantidad de un bien o servicio	Cantidad de energía que necesita una población, para suplir sus necesidades.	Económica	Comunidades aisladas sin acceso al suministro de energía.

Establecer los beneficios ambientales y su impacto en la mitigación de expulsión de partículas de CO2 a la atmosfera	Cantidad de partículas de CO2 emitidas a la atmósfera a través de sistema de generación Diesel.	La contaminación se define como la cantidad de partículas de CO2 emitidas a la atmosfera en un año.	Cantidad CO2 que se deja de emitir a la atmosfera	Ambiental	Reducción huella de carbono.
Identificar los beneficios sociales que generarían los sistemas de energía solar fotovoltaicos en la zona rural del departamento del Vaupés.	Beneficios adicionales asociados al uso de la Energía eléctrica		Cantidad de Beneficios adicionales plenamente identificados	Social	Numero de beneficios sociales adicionales asociados a la energía eléctrica.

Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

A través de una investigación descriptiva, se pretende evaluar la viabilidad de un proyecto de paneles solares fotovoltaicos que pueda ser instalado e implementado en las comunidades indígenas del departamento del Vaupés. El estudio evaluará los costos fijos y variables asociados a la inversión en maquinaria, equipos y puesta en marcha, así como los gastos potenciales relacionados con la generación de servicios energéticos, incluyendo los costos administrativos, operativos y de mantenimiento. Para lograr este objetivo, se emplearán métodos cuantitativos de recopilación de datos utilizando el enfoque deductivo a través de la investigación bibliográfica. Se recopilará información de fuentes que proporcionen costos estandarizados de combustible y gastos de generación de energía. Además, se compararán los hallazgos con datos de proyectos similares desarrollados a nivel ecuatorial, que comparten condiciones geográficas similares al entorno operativo del presente proyecto.

Tabla 3: Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

Fuente: Elaboración Propia

Información	Fuente	Dimensión
Precio combustible	Índice de precios: Global PetrolPrice	Económica
Demanda de energía	UPME: Unidad de Planeación Minero Energético	Económica
Potencial energético	Atlas de potencial energético en Colombia	Social

Técnicas de análisis de datos

Para el análisis de la información se utilizarán las siguientes técnicas

Tabla 4: Técnica de Análisis de Datos

Fuente: Elaboración Propia

INSTRUMENTO	TÉCNICA DE ANÁLISIS	DESCRIPCIÓN
Investigación basada en información actual sobre los avances, e informes estadísticos de la implementación de paneles solares fotovoltaicos.	Técnica de asociación y correlación.	Se analizará la información dependiente e independiente de los costos en la implementación de los paneles solares fotovoltaicos. A su vez se evaluará la demanda de energía teniendo en cuenta la disponibilidad que tiene la población indígena del departamento del Vaupés.
	Técnica comparativa	Se realizará una comparación entre la implementación con la luz

		solar y luz eléctrica, se utilizará esta técnica como base para la evaluación y validación de la hipótesis.
	Técnica segmentación de datos.	Se tendrá en cuenta dentro de la investigación la población de interés y adicionalmente los lugares las comunidades indígenas del Vaupés que tienen las características necesarias para implementar el uso de los paneles fotovoltaicos

Teniendo en cuenta las variables a utilizar, a continuación, se definen y explican de acuerdo con los requerimientos del proyecto.

Variable Económica

Dentro de la variable económica se consideró el valor a pagar por el servicio de energía eléctrica, según la evaluación de resultados de la Política de Servicios Públicos Domiciliarios en temas de energía eléctrica del Departamento Nacional de Planeación para el año 2020, los cobros diarios oscilan entre 3.000 pesos y 10.000 pesos diarios. Si bien se hace un contraste con lo que puede recibir de ingreso diario una persona en zona rural del departamento de Vaupés que está alrededor de los 30.000 -40.000 pesos colombianos, se hace evidente la necesidad de implementar nuevas estrategias.

Por otro lado, existen las deudas y problemas de pagos por mal servicio, o por falta de acompañamientos por parte de las empresas prestadoras de este servicio. Al final se deberán instaurar estrategias para poder garantizar la prestación del servicio y el cual no debería incurrir en cobros exagerados.

Variable Social

En cuanto al análisis de la variable social, esta alternativa permite concientizar a la población de la zona en el uso de la energía renovable y amigable con el medio ambiente que contribuye en gran medida con la reducción del calentamiento global. La implementación de este tipo de proyectos no solo trae beneficios a la población en cuanto suministro de energía sino también la generación de empleos temporales en el momento de la instalación, adicionalmente la productividad de la zona se puede ver incrementada gracias a la posibilidad de contar con energía a bajo costo.

Para brindar un servicio eficiente se debe operar teniendo en cuenta primero las disposiciones legales, seguidamente se debe tener en cuenta que para socializar el proyecto a la comunidad se deben emplear diferentes métodos y lineamientos, diseño de instrumentos de investigación y técnicas para conocer la población y el lugar, dentro de las cuales se tienen: entrevistas, actividades de integración, presentación de proyectos en operación. Como objetivo principal del proyecto en el ámbito social es garantizar condiciones que favorezcan un desarrollo social y humano de características sostenibles y sustentables para los habitantes.

Con el fin de garantizar el involucramiento de la población, se plantean algunas medidas a implementar en el proyecto, una de ellas por ejemplo podría ser tratar de emplear personal de la zona, asegurar una formación adecuada para el personal de mantenimiento y/o resaltar que los bienes y servicios requeridos sean provistos por empresas locales.

Variable Técnica

En general, los sistemas solares fotovoltaicos ofrecen ventajas significativas sobre los sistemas diésel en términos de eficiencia, costo, impacto ambiental y disponibilidad de recursos. Sin embargo, la elección entre ambos sistemas depende de las necesidades específicas de energía, el entorno operativo y las limitaciones presupuestarias de cada situación.

El análisis comparativo entre sistemas de generación de energía eléctrica diésel y sistemas solares fotovoltaicos implica considerar varios aspectos, como la eficiencia, el costo, el impacto ambiental y la disponibilidad de recursos. Se presenta un análisis comparativo de estos dos sistemas:

Eficiencia: Los sistemas solares fotovoltaicos convierten directamente la radiación solar en electricidad mediante paneles solares, mientras que los sistemas diésel generan electricidad a través de la combustión de combustible diésel. En términos de eficiencia, los sistemas solares fotovoltaicos son generalmente más eficientes, ya que no hay pérdidas asociadas con la combustión de combustible y la conversión térmica. De acuerdo con Pinilla (2016), los sistemas diésel suelen tener una eficiencia en el rango del 30% al 45%, mientras que los sistemas solares fotovoltaicos pueden alcanzar eficiencias superiores al 20%.

Costo: Inicialmente, los sistemas diésel suelen tener un costo de instalación más bajo en comparación con los sistemas solares fotovoltaicos. Sin embargo, los costos de operación y mantenimiento de los sistemas diésel son generalmente más altos debido al costo del combustible y el mantenimiento de los motores. Por otro lado, los sistemas solares fotovoltaicos tienen costos de operación y mantenimiento más bajos, ya que no requieren combustible y tienen menos partes móviles que necesitan mantenimiento. Además, a medida que la tecnología solar ha avanzado, los costos de los paneles solares han disminuido significativamente, lo que hace que los sistemas solares sean más competitivos en términos de costos a largo plazo.

Disponibilidad de recursos: Los sistemas diésel dependen del suministro de combustible, que puede estar sujeto a fluctuaciones en los precios y la disponibilidad. Además, la dependencia de los combustibles fósiles plantea preocupaciones sobre la seguridad energética a largo plazo. Por otro lado, la energía solar es una fuente renovable y abundante, ya que el sol es una fuente inagotable de energía. Si bien la disponibilidad solar varía según la ubicación geográfica y las condiciones climáticas, en general, la energía solar es más accesible y sostenible a largo plazo.

Variable Ambiental

Dentro de la variable Ambiental y enfocada a la justificación principal del proyecto donde la reducción de la huella de carbono es fundamental adicional a la implementación de energías renovables. Es importante mencionar que el consumo básico en los sectores residenciales es de 189 kWh, si bien se quiere calcular la utilización de una planta eléctrica cuanto CO₂ produce, se debería considerar el promedio de Lts o galones que utiliza en una unidad de tiempo determinado.

Mediante la utilización de calculadoras de huella de carbono disponibles en la web se puede tener claridad de lo que cada persona u hogar producen de acuerdo con el tipo de energía que usa. Según la calculadora de la CeroCO₂, por cada kWh utilizado se está produciendo 0.25Kg de CO₂. Además, según el Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética, indica que “El consumo mensual de electricidad de un hogar promedio colombiano es de 157 kWh, para el año 2015”.

Según Correa y Marulanda (2016), en 5 años el consumo se ha incrementado en un 5,51% considerando toda la nueva implementación de tecnologías y utilización de combustibles fósiles para su desarrollo. Según portafolio “Discriminado por tipo de consumidor, en el consumo

residencial y pequeños negocios (mercado regulado) se presentó un crecimiento de 2,32 %.” Y también menciona a la costa Caribe como la segunda región con Mayor crecimiento en la demanda de energía eléctrica.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente y considerando un consumo per cápita a 2019 de 1,300Kwh, dejaría una huella de carbono de 325Kg de Carbono. Si bien se evidencia la utilización de esta energía por litros de combustibles fósiles utilizados para su producción, se podría concluir que si bien el precio de la gasolina ha ido en aumento. Actualmente (Mayo 2023) el precio del galón de gasolina en Colombia esta sobre los 11.800 COP, según Ramírez-Murillo (2019), una planta de gasolina con potencia de 1KW, tiene un consumo de 0,5L por hora, es decir 0,11gl, cada W sale a 1375 pesos. A diferencia de panel que, al trabajar con energía solar, no tiene costo de producción.

Con estos valores se evidencia que la implementación de los paneles fotovoltaicos reduciría considerablemente la producción de Gases de Efecto Invernadero alineándose así a los objetivos estratégicos.

Los sistemas diésel emiten gases de escape y partículas que contribuyen a la contaminación del aire y al cambio climático. Además, el transporte y almacenamiento de combustible diésel también pueden generar riesgos ambientales. Por otro lado, los sistemas solares fotovoltaicos son una fuente de energía limpia y no emiten gases de efecto invernadero ni contaminantes atmosféricos durante su operación. Esto los convierte en una opción más ecológica y sostenible, especialmente en términos de reducción de emisiones de carbono.

Segundo nivel

Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

Por medio de una investigación descriptiva se busca medir la viabilidad del proyecto de paneles solares fotovoltaicos para la instalación e implementación en zonas rurales del Vaupés, analizando los costos fijos relacionados con la inversión de maquinaria, equipo y puesta en marcha, a su vez los costos variables que podría incurrir el proceso de generación del servicio de energía, considerando gastos administrativos, operativos y costos de mantenimiento.

Para llevar a cabo este objetivo, se considera como instrumento de investigación la recolección de datos cuantitativos usando el método deductivo por medio de la consulta bibliográfica, en fuentes donde se registran los costos estandarizados del combustible, los costos de generación de energía, a su vez los comparativos frente a la inversión de otros proyectos similares desarrollados a nivel ecuatorial los cuales por características geográficas se asemejan a las condiciones de operación de dicho proyecto.

Por otra parte, serán consultadas bases de datos gubernamentales, repositorios institucionales, proyecciones de demanda, mapas de potencial de generación de energía solar, bases de datos académicas, aspectos regulatorios y normativos, boletines minero-energéticos.

Desarrollo y Análisis de Resultados

Desarrollo de Indicadores Técnicos

Temperatura promedio y radiación solar:

Las características geográficas y ambientales son el punto de partida para un estudio de generación de energía eléctrica con fuentes renovables de energía, en este caso para la generación con energía solar, es necesario conocer principalmente la temperatura y la capacidad

aprovechable del recurso de radiación solar. A partir de esta información, se valida el potencial energético de la localidad de Mitú, donde se toman como referencia los datos de radiación y temperatura suministrados por la NASA por medio de su herramienta “*Prediction Of Worldwide Energy Resources*” y el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia del IDEAM.

En la tabla 5 se muestran los datos históricos de temperatura consolidados desde el año 1984 al año 2013 para la localidad de Mitú, en cuanto a la temperatura máxima, media y mínima promedio para cada uno de los meses del año.

Tabla 5. Información mensual de temperatura

Fuente: NASA Prediction of Worldwide Energy Resources

Mes del año	Temperatura Máxima °C	Temperatura media °C	Temperatura mínima °C
Enero	31,74	26,24	21,74
Febrero	32,88	27,27	22,72
Marzo	32,59	27,49	23,23
Abril	31,09	26,83	23,22
Mayo	29,73	25,99	22,78
Junio	28,76	25,25	22,14
Julio	28,47	24,93	21,71
Agosto	29,23	25,44	21,95
Septiembre	29,95	25,94	22,23
Octubre	29,86	25,94	22,45
Noviembre	29,48	25,73	22,53
Diciembre	29,86	25,5	21,9

En la Tabla 6 se indica el promedio diario mensual de radiación solar para la zona rural del departamento del Vaupés; en esta se hace una comparación mensual de los datos de radiación solar del IDEAM contra la información de radiación solar de la NASA, junto con el promedio anual de radiación que se presenta en esta zona, adicionalmente se especifica la cantidad de años de información con los que se tiene información histórica en esta zona.

Tabla.6 Promedio diario mensual de radiación solar –

Fuente: Elaboración propia datos de Atlas de radiación solar IDEAM -
NASA Prediction of Worldwide Energy Resources

Meses del año	Radiación Solar IDEAM [Kwh/m ²]	Radiación Solar NASA [Kwh/m ²]
Enero	4.84	5.22
Febrero	4.98	4.65
Marzo	4.73	3.55
Abril	4.42	2.93
Mayo	3.86	2.66
Junio	4.41	3.25
Julio	4.60	3.37
Agosto	4.35	3.19
Septiembre	4.23	2.93
Octubre	4.32	2.74
Noviembre	3.73	3.25
Diciembre	4.30	4.72
Promedio Año	4.36	3.53

Años de información	10	22
---------------------	----	----

A partir del promedio diario mensual de radiación solar, es posible determinar la viabilidad de la instalación solar las áreas rurales del Vaupés, ya que las características de radiación de esta localidad son similar al de las zonas rurales. Un dato relevante es que la zona cuenta con una radiación anual promedio entre 3.53 y 4.36 kWh/m² siendo este el principal parámetro de diseño por ser potencial del recurso energético.

Proyección de carga del Sistema fotovoltaico

Una vez caracterizada esta zona se procede a hacer una proyección conceptual con base en los datos encontrados de condiciones meteorológicas y energéticas de la zona, de acuerdo con el modelo de proyectos tipo del DNP, que ofrece una guía metodología para la instalación de celdas solares fotovoltaicas en zonas no interconectadas, se hace una estimación teórica de la carga necesaria la zona rural del departamento del Vaupés, considerando tanto la potencia necesaria, como en energía proyectada, esta estimación se realiza con base en la descripción de cargas tipo, establecidas en las recomendaciones del Ministerio de Minas y Energía para proyectos en zonas no interconectadas.

Los proyectos tipo para los que se hace el dimensionamiento recomendado, contemplan que cada unidad familiar, tiene un consumo estimado de 40 kWh/mes, en la siguiente tabla se muestra el cuadro de cargas, donde se especifica la energía consumida para cada uno de los posibles electrodomésticos disponibles por los usuarios.

Tabla 7. Energía Consumida por Electrodomésticos
Fuente: (DNP 2020) Proyectos tipo

CARGAS TIPO VOLTAJE 120 V-AC					
Carga	Cantidad	Potencia Unitaria [W]	Potencia Total [W]	# horas de uso [h]	Energía diaria [Wh-d]
Iluminación	4	9	36	5	180
Licuadaora	1	450	450	0.1	45
Nevera	1	70	70	8	560
Tomacorriente	2	30	60	2	120
Radio	1	25	25	4	100
Televisor	1	70	70	4	280
Cargador de celular	1	5	5	4	20
Potencia Total			716	Energía Total/día	1.305
Energía total/ mes					40 kW-h/mes

Análisis de Demanda de Energía zona rural del Vaupés.

Continuando con el proceso de estimación de la demanda de energía eléctrica en las zonas rurales del Vaupés se proyecta que la cantidad de energía por familia consumida, la cual para el objeto de este estudio se determina en 3.5 habitantes por núcleo familiar y de acuerdo con los datos de la anterior tabla, donde a partir de un consumo promedio diario por núcleo

familiar en 1.305 Wh/día se procede a calcular la demanda total de energía de la población el cual se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Tabla 8. Demanda eléctrica Zona Rural del Vaupés
Fuente: *Elaboración Propia*

	Número de Habitantes según el DANE	Numero de núcleos familiares asumiendo 3.5 integrantes en promedio	cantidad promedio de Energía daría por núcleo Familiar en kWh-día	Subtotal en kWh-día
Caruru	5000	1428	1,305	1864
Taraira	2500	714	1,305	932
Papunaua	2000	571	1,305	745
Total	9500	2713		3540

A partir de los datos obtenidos, se considera por criterio de contingencia proyectando un incremento de la demanda, un factor incremental de 10%, con lo que la demanda total de energía para todo el conjunto de la zona rural del Vaupés se proyecta para un consumo diario y uno mensual respectivamente de la siguiente manera:

Tabla 9. Estimación Demanda Energética
Fuente: *Elaboración Propia*

CANTIDAD ESTIMADA DE ENERGÍA	
Proyección diaria (kWh-día)	3.894

Proyección mensual (kWh-mes)	116.820
------------------------------	---------

Costo de implementación solución solar fotovoltaica zona rural del Vaupés

De acuerdo con la información presentada en la tabla 9 se desprende que si un sistema solar fotovoltaico logra generar 1 kWh-día para alcanzar la demanda total de 3894 kWh-día será necesario adquirir 3894 unidades, es decir la cantidad de sistemas solares fotovoltaicos individuales necesarios para cubrir la demanda es de 3894.

Por otra parte para presupuestar el costo unitario de cada sistema solar fotovoltaico se tendrá en cuenta el presupuesto general de proyectos tipo considerado por el DNP, como valores de referencia de inversión de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos, el valor total de inversión de un proyecto de esta naturaleza a todo costo es de \$19.248.569, este valor considera materiales, componentes, mano de obra, transporte, instalación de sistemas de medición general y gestión de energía, también incluyen valores de supervisión, capacitación e interventoría. Por lo tanto la inversión total para cubrir la demanda de electricidad la zona rural del Vaupés ascendería a \$74.953.927.686. Como resultado de multiplicar el costo unitario \$19.248.589 x 3894 unidades

La vida útil de estos sistemas fotovoltaicos de acuerdo con los datos del fabricante es de 25 años y requiere cambio de baterías cada 30 meses o 2.5 años, el costo actual a pesos corrientes de 2023 de una batería de plomo de 12V y 200ah es de \$700.000 en el mercado colombiano y cada sistema solar requiere 2 baterías es decir que cada sistema solar requiere a pesos constantes de 2023 una inversión en baterías de \$1.400.000 cada 30 meses.

Adicionalmente se requiere un trabajo de mantenimiento anual de limpieza de las canaletas por donde se ubican los cables de los paneles al gabinete y será necesario cambiar

algunos inversores y paneles durante los 25 años los cuales se estimarán en el 5% de las cantidades totales.

Sera necesario crear una oficina administrativa con un Gerente, una secretaria, 5 técnicos electricistas, un taller de mantenimiento, herramientas y demás cuyos gastos ascienden aproximadamente a 35 millones mensuales.

Tabla 10. Estimación de Costos de mantenimiento asociados al proyecto durante 25 años
Fuente: Elaboración Propia

	Costos Anuales	Costo Vida Útil proyecto
Costos de Mantenimiento		
Costos Administrativos	\$ 420.000.000	\$ 10.500.000.000
Reposición de Baterías	\$ 2.180.640.000	\$ 54.516.000.000
Reposición de otros equipos	\$ 374.769.638	\$ 9.369.240.961
TOTAL	\$ 2.975.409.638	\$ 74.385.240.961

Una vez conocidos los costos de mantenimiento durante la vida útil del proyecto sumamos el costo de la inversión inicial más los costos de operación y tenemos los siguientes resultados:

Tabla 11. Costos Totales del Proyecto durante 25 años de Operación

Fuente: Elaboración Propia.

Inversión Inicial	\$ 74.953.927.686
Costos de Administración y Mantenimiento	\$ 74.385.240.961
TOTAL	\$ 149.339.168.647

Figura 5. Típico Sistema Solar Fotovoltaico en Zona Rural selvática colombiana

Fuente: Instituto de Planeación y Planificación de Soluciones Energéticas IPSE



Costo de implementación sistema de distribución en Zona Rural del Vaupés

Para poder calcular el costo de implementación de un sistema de generación acompañado de un sistema local de transmisión es necesario determinar la cantidad de electricidad a generar y transportar.

Teniendo en cuenta la información de la tabla 8 retomamos nuevamente que las localidades rurales son 3, Carurú, Taraira y Papunaua y la cantidad total diaria de electricidad a generar es de aproximadamente 3900 kWh-día

Con esta información se desarrollará el modelo financiero asociado a 3 sistemas de generación y transmisión utilizando como elementos principales:

- 1- Unidades de Generación Diesel (Costo de adquisición, montaje y operación)
- 2- Infraestructura de transmisión de la electricidad producida para transportar energía a los usuarios (Costo de adquisición, montaje y operación)
- 3- Administración, transporte y gestión del (combustible)
- 4- Administración, gestión y mantenimiento del sistema de Generación-transmisión.

Unidades de generación Diesel:

Una unidad de generación Diesel es una instalación que utiliza motores que funcionan con Diesel para producir energía eléctrica. Estas unidades son ampliamente utilizadas en diferentes aplicaciones, como respaldo de emergencia, generación en áreas remotas o temporales, y en instalaciones donde no es factible la conexión a la red eléctrica. El motor Diesel utiliza combustible diésel como fuente de energía y funciona mediante la ignición por compresión del combustible. El generador convierte la energía mecánica del motor en energía eléctrica.

Las unidades de generación Diesel son relativamente compactas y portátiles, lo que las hace fáciles de transportar y configurar en diferentes lugares. Además, ofrecen una mayor flexibilidad en términos de tamaño y capacidad, lo que permite adaptarse a las necesidades específicas de cada aplicación. Sin embargo, las unidades de generación Diesel presentan algunas desventajas. El combustible diésel puede ser costoso y su disponibilidad puede verse afectada en áreas remotas. Además, los motores Diesel generan emisiones contaminantes, como dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas, lo que puede tener un impacto ambiental negativo.

De esta manera, con base en las características de la tipología eléctrica de las 3 poblaciones rurales del Departamento de Vaupés se proyectan los costos asociados a la adquisición y montaje de las Unidades de generación.

Figura 6: Unidades de generación Diesel en áreas Rurales
Fuente: Instituto de Planeación y Planificación de Soluciones Energéticas IPSE



Para el caso particular en zonas rurales del Vaupés el costo sería el siguiente:

Tabla 12. Costos Asociados a las Unidades de generación
Fuente: Elaboración Propia

	CARURU	TARAIRA	PAPUNAUUA
Consumo KWH/día	2050	1025	820
# Plantas Necesarias	2	1	1
Capacidad Max Generacion/UN en KWH/día	1100 (2 – 2200KWH/día)	1100	1100
Plantas	\$3.780.000.000	\$1.890.000.000	\$1.890.000.000
Transporte	\$350.000.000	\$150.000.000	\$100.000.000
Obras Civiles	\$550.000.000	\$250.000.000	\$225.000.000
Instalacion	\$180.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000
SUBTOTAL	\$4.860.000.000	\$2.350.000.000	\$2.275.000.000

Infraestructura de transmisión de la electricidad producida para transportar energía a los usuarios

Un sistema de distribución local de energía eléctrica es una red de infraestructuras que permite el suministro de electricidad desde las unidades de generación hasta los usuarios finales, asegurando una distribución eficiente y confiable de la energía eléctrica en una determinada área geográfica.

El sistema de distribución local consta de diferentes componentes, como líneas de distribución, subestaciones, transformadores, medidores y equipos de protección. Las líneas de distribución son cables conductores que transportan la electricidad desde las subestaciones hasta los puntos de consumo. Las subestaciones se encargan de recibir la electricidad proveniente de las unidades de generación y ajustar su voltaje para distribuirlo adecuadamente. Los transformadores, por su parte, modifican los niveles de voltaje para adaptarse a las

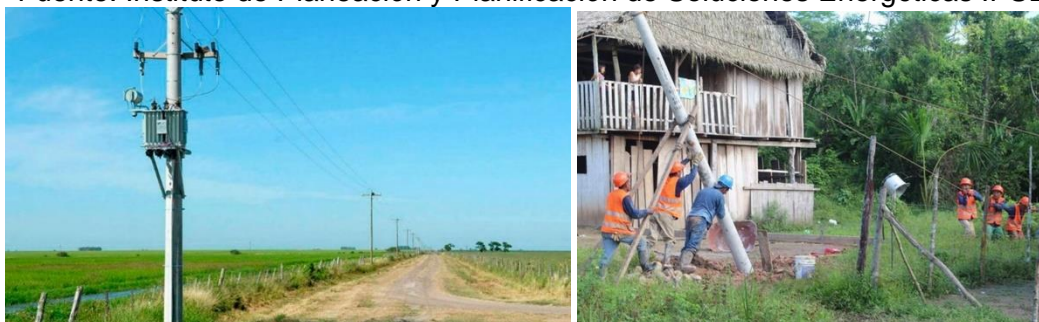
necesidades de los usuarios. Los medidores miden el consumo de energía y permiten la facturación precisa.

De acuerdo con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, una instalación de distribución es el conjunto de aparatos y de circuitos asociados para el transporte de energía eléctrica con tensiones de operación mayores a 120 Voltios y menores de 57.500 Voltios.

Infraestructura asociada a una red de distribución rural de Energía eléctrica.

Figura 7: Sistema de transmisión Local MT/BT en Zonas No Interconectadas

Fuente: Instituto de Planeación y Planificación de Soluciones Energéticas IPSE



De esta manera, con base en las características de la tipología eléctrica de las 3 poblaciones rurales del Departamento de Vaupés se proyectan los costos asociados a la implementación de las redes de MT/BT.

Tabla 13. Costos Asociados al sistema de distribución local MT/BT de acuerdo con la resolución 015-2018 CREG Fuente: Elaboración Propia

	# usuarios	MEDIA TENSION (13.2 KW) CABLE			MEDIA TENSION (13.2 KW) APOYOS		
		MT LINEAL	V/R UNITARIO	SUBTOTAL	# POSTES	V/R UNITARIO	SUBTOTAL
CARURU	5000	50000	\$ 60.000	\$ 3.000.000.000	625	\$ 8.000.000	\$ 5.000.000.000
TARAIRA	2500	25000	\$ 60.000	\$ 1.500.000.000	312,5	\$ 8.000.000	\$ 2.500.000.000
PAPUNAU	2000	20000	\$ 60.000	\$ 1.200.000.000	250	\$ 8.000.000	\$ 2.000.000.000

9500 95000 \$ 5.700.000.000 1188 \$ 9.500.000.000

**BAJA
TENSION
(110/220V)**

**BAJA
TENSION
(110/220V)**

CABLE

APOYOS

	# usuarios	MT LINEAL	V/R UNITARIO	SUBTOTAL	# POSTES	V/R UNITARIO	SUBTOTAL
CARURU	5000	60000	\$ 30.000	\$ 1.800.000.000	2000	\$ 5.000.000	\$ 10.000.000.000
TARAIRA	2500	30000	\$ 30.000	\$ 900.000.000	1000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000.000
PAPUNAU	2000	24000	\$ 30.000	\$ 720.000.000	800	\$ 5.000.000	\$ 4.000.000.000
	9500	114000		\$ 3.420.000.000	3800		\$ 19.000.000.000

Con esta información se puede inferir los costos totales de inversión para un sistema de generación acompañados de un sistema de transmisión de energía, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 14. Costos de Inversión Asociados a la Implementación de un Sistema de Generación Convencional Acompañado de un Sistema de Transmisión de Energía eléctrica hasta el Usuario Final. Fuente: Elaboración Propia

	CARURU	TARAIRA	PAPUNAU	TOTAL
UN DE GENERACION (DIESEL)	\$ 4.860.000.000	\$ 2.350.000.000	\$ 2.275.000.000	\$ 9.485.000.000
MT CABLE	\$ 3.000.000.000	\$ 1.500.000.000	\$ 1.200.000.000	\$ 5.700.000.000
MT POSTES	\$ 5.000.000.000	\$ 2.500.000.000	\$ 2.000.000.000	\$ 9.500.000.000
BT CABLE	\$ 1.800.000.000	\$ 900.000.000	\$ 720.000.000	\$ 3.420.000.000
BT POSTES	\$ 10.000.000.000	\$ 5.000.000.000	\$ 4.000.000.000	\$ 19.000.000.000
TRANSFORMADORES	\$ 1.800.000.000	\$ 900.000.000	\$ 720.000.000	\$ 3.420.000.000
ACCESORIOS	\$ 750.000.000	\$ 375.000.000	\$ 300.000.000	\$ 1.425.000.000

COSTOS DE TRANSPORTE	\$ 700.000.000	\$ 350.000.000	\$ 300.000.000	\$ 1.350.000.000
COSTOS DE INSTALACION	\$ 240.000.000	\$ 120.000.000	\$ 96.000.000	\$ 456.000.000
AIU	\$ 1.164.500.000	\$ 582.250.000	\$ 466.800.000	\$ 2.213.550.000
SUBTOTAL	\$ 29.314.500.000	\$ 14.577.250.000	\$ 12.077.800.000	\$ 55.969.550.000

Costos del Combustible

De acuerdo con datos consolidados de información comercial en el ZNI del Sistema Único de Información - SUI, en el que de acuerdo con la CREG 091 de 2007, la cual se establece las metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, y las fórmulas tarifarias de la prestación del servicio público de energía eléctrica en Zonas No Interconectadas.

Es decir que quienes participen de actividades de generación y comercialización para usuarios de zonas que no hacen parte de la red nacional, deben reportar de manera periódica por medio del formato ZNI – C2 los siguientes valores de datos.

Columnas en este Conjunto de Datos		
Nombre de Columna	Descripción	Tipo
IDENTIFICADOR_EMPRESA		Texto simple T
PERIODO		Texto simple T
ANIO		Texto simple T
CODIGO_LOCALIDAD		Texto simple T
FECHA		Fecha y hora
FACTURA_COMPRA		Texto simple T
VALOR_GALON		Número #
VALOR_TOTAL		Número #
VALOR_MANTENIMIENTO_ELEC		Número #
OTROS_GASTOS		Número #
VALOR_TRANSPORTE		Número #
PLANTA_ABASTOS		Texto simple T

Figura 8. Indicadores de información para el reporte de datos al SUI

Fuente: Formato ZNI-C2, Sistema Único de Información

De acuerdo con la información reportada, se encontraron valores de referencia para la localidad de Mitú, correspondiente al reporte realizado de enero a septiembre del año 2022, en el que se encuentra el precio de compra del combustible, el valor total de la compra de combustible realizada durante el mes y adicionalmente el costo asociado del transporte de combustible y el mantenimiento de las unidades de generación Diesel.

Tabla 15. Cantidad y Costos de Combustible necesarios para el funcionamiento del Sistema de Generación. Fuente: Elaboración Propia

	# GAL/AÑO	V/R UNITARIO	VALOR TRANSPORTE	COSTO ANUAL COMBUSTIBLE
CARURU	120000	\$ 14.000	\$ 9.100	\$ 2.772.000.000
TARAIRA	60000	\$ 14.000	\$ 9.100	\$ 1.386.000.000
PAPUNAU	48000	\$ 14.000	\$ 9.100	\$ 1.108.800.000

	228000	\$ 5.266.800.000
25 AÑOS	5.700.000	\$ 131.670.000.000

Al igual que los sistemas de generación fotovoltaicos los sistemas convencionales de generación de energía también tienen unos costos de operación y mantenimiento, los cuales deben contemplarse durante el tiempo de operación del proyecto, dichos costos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 16. Costos de Operación y Mantenimiento del Sistema Convencional de Generación de Energía Eléctrica – Diesel. Fuente: Elaboración Propia.

	Costos Anuales	Costo Vida Útil Proyecto
Costos de Administración	\$ 840.000.000	\$ 21.000.000.000
Reposicion equipos	\$ 600.000.000	\$ 15.000.000.000
Costo combustible	\$ 5.266.800.000	\$ 131.670.000.000
		\$ 167.670.000.000

Una vez ya calculados los costos finales de Operación y mantenimiento se suman los costos de inversión con los costos de operación y mantenimiento para establecer un valor total del proyecto, los cuales se resumen en la siguiente Tabla:

Tabla 17. Costos Totales del Proyecto – Sistema Convencional de Generación de Energía Eléctrica – Diesel. Fuente: Elaboración Propia

COSTOS DE INVERSION	\$ 55.969.550.000
COSTOS DE ADMINISTRACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO	\$ 167.670.000.000
TOTAL	\$ 223.639.550.000

Cantidad de CO2 generada por un sistema convencional de generación Diesel:

La cantidad exacta de emisiones de CO2 producidas por una unidad de generación Diesel depende de varios factores, como la eficiencia del motor Diesel y el contenido de carbono del combustible diésel utilizado. Sin embargo, se puede hacer una estimación aproximada.

En promedio, se estima que una unidad de generación Diesel emite aproximadamente 2.68 kilogramos de CO2 por cada kilovatio-hora (kgCO2/kWh) generado. Si una unidad de generación Diesel genera 1000 kWh al día, se puede calcular las emisiones de CO2 anuales.

$$1000 \text{ kWh/día} * 365 \text{ días/año} = 365,000 \text{ kWh/año}$$

$$365,000 \text{ kWh/año} * 2.68 \text{ kgCO2/kWh} = 978,200 \text{ kgCO2/año}$$

Por lo tanto, se estima que una unidad de generación Diesel que genera 1000 kWh al día emite aproximadamente 978.2 toneladas de CO2 a la atmósfera en un año.

Con esta información se infiere la cantidad de CO2 emitida a la atmosfera de acuerdo a la generación de electricidad de cada una de las localidades.

Tabla 18: Cantidad de CO2 Generada por las Unidades de Generación Diesel durante 25 años en Zona Rural del Vaupés. Fuente: Elaboración Propia

	GENERACION EN KWH/DIA	GENERACION EN KWH/AÑO	CANTIDAD DE CO2EN KGCO2/KWH
CARURU	2050	748250	2005310
TARAIRA	1025	374125	1002655
PAPUNAU	820	299300	802124
TOTAL AÑO			3.810.089
25 AÑOS			95.252.225

En un año el proyecto emite a la atmosfera aproximadamente 3810 toneladas de CO2 y durante el proyecto (25 años) 95.252 Toneladas de CO2

Cabe destacar que esta estimación es solo un cálculo aproximado y puede variar dependiendo de los factores mencionados anteriormente, así como de las condiciones de operación de la unidad de generación Diesel. Además, es importante considerar que las unidades de generación Diesel también emiten otros contaminantes, como óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas, que también tienen un impacto ambiental significativo.

Discusión de Resultados:

A partir de cada uno de los objetivos específicos planteados al inicio del informe se plantea la siguiente discusión:

- Realizar una comparación entre los costos económicos del sistema de energía tradicional y un sistema solar fotovoltaico.

Se realizó un análisis cuidadoso de los costos asociados a la implementación de dos sistemas de generación de energía eléctrica para las comunidades rurales del departamento del Vaupés, lo primero en establecer fue la demanda de energía eléctrica con el fin de dimensionar el proyecto, con esta información se formularon dos opciones, la primera una solución basada en sistemas solares fotovoltaicos y la segunda una opción más tradicional a través de unidades generadoras de energía eléctrica cuyo insumo primordial es el Diesel y la cual va acompañada de un sistema local de distribución.

Tabla 19. Cuadro comparativo 2 opciones de generación de energía.
Zona Rural Departamento de Vaupés
25 Años de Operación
Fuente: Elaboración Propia

	Opcion. 1 SSF	Opcion. 2 Gen Diesel & Sist Trans Local
Inversion Inicial	\$ 74.953.927.686	\$ 55.969.550.000
Costos de Admon & Mmto	\$ 74.385.240.961	\$ 167.670.000.000
TOTAL	\$ 149.339.168.647	\$ 223.639.550.000

Se puede observar que, aunque es más costosa la inversión inicial asociada a Sistemas Solares Fotovoltaicos sus costos de operación y mantenimiento son significativamente menores a los costos de operación y mantenimiento de la Opción asociada a Unidades de generación Diesel lo cual hace que la opción 1 sea más atractiva a lo largo de 25 años. Asumiendo eso si que los

costos de financiación del proyecto correspondan a tasas de interés relativamente bajas y asumiendo un escenario macroeconómico estable durante los 25 años.

- Evaluar la viabilidad técnica a mediano y largo plazo de los sistemas solares fotovoltaicos, teniendo en cuenta las dificultades logísticas y demandas de energía por núcleo familiar.

Los sistemas solares fotovoltaicos a mediano y largo plazo demuestran ser una alternativa viable y sostenible para la generación de energía en hogares y comunidades, se realizó un análisis detallado de la demanda de energía eléctrica por núcleo familiar y a pesar de que la generación de cada sistema solar fotovoltaico no es sobrada, si alcanza a suministrar la energía eléctrica mínima necesaria para generar bienestar al núcleo familiar realizar un análisis detallado y una evaluación de los requisitos específicos de cada caso antes de realizar la inversión en un sistema fotovoltaico.

En cuanto a las dificultades logísticas, es importante tener en cuenta que aunque no es fácil el traslado de los materiales la accesibilidad es posible a través de transporte aéreo, fluvial y terrestre en vías terciarias. Si es posible capacitar personal de la zona para la instalación del sistema y para continuar la operación y el mantenimiento de los paneles solares durante los 25 años del proyecto. Además, es importante tener en cuenta que los paneles cumplen los requisitos legales, normativos y ambientales para la instalación y conexión de sus diferentes componentes.

- Evaluar la viabilidad financiera de la implementación de un proyecto de sistemas solares fotovoltaicos en el departamento del Vaupés.

Una viabilidad financiera positiva en un proyecto de inversión depende de varios factores, incluyendo la rentabilidad, los costos, el financiamiento, el riesgo y el plazo del proyecto.

Para evaluar la viabilidad Financiera del proyecto realizaremos la modelación de Ingresos y Gastos resumidos en las siguientes tablas:

Tabla 20 Relación de Ingresos del Proyecto durante 25 años

Fuente: Elaboración Propia

Precio KWh

	KWH/AÑO	\$ 7.500	Inversión Inicial	Total Ingresos
Año 0			\$ 74.953.927.686	\$ 74.953.927.686
Año 1	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 2	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 3	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 4	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 5	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 6	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 7	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 8	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 9	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 10	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 11	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 12	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 13	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 14	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 15	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 16	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 17	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 18	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 19	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 20	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 21	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 22	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 23	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 24	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000
Año 25	1421310	\$ 10.659.825.000		\$ 7.106.550.000

De la misma manera establecemos una relación de egresos del Proyecto

Tabla 21. Relación de Egresos del Proyecto durante 25 años

Fuente: Elaboración Propia

	Costos de inversión	Costos Administrativos	Reposición de Baterías	Reposición Otros equipos	Costo financiero	Total Egresos
Año 0	-\$ 74.953.927.686					-\$ 74.953.927.686
Año 1		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469

Año 2		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 3		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 4		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 5		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 6		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 7		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 8		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 9		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 10		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 11		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 12		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 13		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 14		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 15		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 16		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 17		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 18		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 19		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 20		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 21		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 22		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 23		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 24		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469
Año 25		-\$ 420.000.000	-\$ 2.180.640.000	-\$ 374.769.638	-\$ 2.248.617.831	-\$ 5.224.027.469

1. Rentabilidad: El proyecto genera suficientes ingresos para cubrir los costos y proporcionar una ganancia adecuada a los inversores. La rentabilidad se mide mediante indicadores financieros como el retorno sobre la inversión (ROI), la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN). En el caso particular del proyecto los 3 indicadores financieros son los siguientes:

ROI: 12.79%

Tasa Interna de Retorno: 5.22%

Valor Presente Neto: Con una tasa de descuento del 5% el valor del VPN es de \$ 1.657.901.394

2. Costos: Los costos del proyecto son razonables y bien controlados lo cual garantiza que no superaran los ingresos generados por el proyecto. Se tuvieron en cuenta tanto los costos directos como los indirectos.

3. Financiamiento: El proyecto cuenta con un plan de financiamiento sólido el cual incluye una combinación adecuada de capital propio y ajeno. Para este caso la nación realizara los aportes de capital a una tasa de interés de un 3% EA.

4. Riesgo: El riesgo asociado al proyecto es bajo. La nación esta dispuesta a asumir cierto nivel de riesgo, pero este debe ser equilibrado con la rentabilidad esperada.

5. Plazo: El plazo del proyecto es de 25 años el cual es realista y coherente con las expectativas de los inversionistas.

- Establecer los beneficios ambientales y su impacto en la mitigación de expulsión de partículas de CO₂ a la atmosfera.

La generación de energía eléctrica a través de sistemas solares fotovoltaicos puede permitir la reducción significativa de la emisión de partículas de CO₂ a la atmósfera. Esto se debe a que los sistemas fotovoltaicos no emiten gases de efecto invernadero durante su operación y producción de energía, lo que contribuiría a una reducción neta de la emisión de gases nocivos hacia la atmósfera.

Otro de los beneficios notables es la reducción de la dependencia de combustibles fósiles, los sistemas solares fotovoltaicos pueden reducir la dependencia de combustibles fósiles y reducir la contaminación del aire y el agua asociada con la extracción, producción y transporte de combustibles fósiles.

También contribuyen en la reducción de la huella de carbono, la instalación y operación de sistemas solares fotovoltaicos tiene una huella de carbono relativamente baja en comparación

con la generación de energía a partir de combustibles fósiles como lo es la opción de generación de energía a través de unidades de generación Diesel.

Finalmente, también ofrecen una mejora de la calidad del aire, los sistemas solares fotovoltaicos no emiten contaminantes atmosféricos, lo que puede ayudar a mejorar la calidad del aire y reducir los problemas de salud asociados con la contaminación del aire. Como se demostró en el estudio la generación de energía eléctrica a través de unidades de generación Diesel generaría aproximadamente 95.252 toneladas de CO₂ a la atmosfera durante 25 años, en caso de escoger la opción de paneles solares fotovoltaicos se dejaría de emitir esa cantidad importante de CO₂ al aire del departamento desmejorando la calidad del aire afectando no solo las comunidades de la región sino la flora y fauna del departamento.

- Identificar los beneficios sociales que generarían los sistemas de energía solar fotovoltaicos en la zona rural del departamento del Vaupés.

La implementación de sistemas de energía solar fotovoltaicos en la zona rural del departamento del Vaupés puede generar múltiples beneficios sociales para la población y el entorno. A continuación, se describen algunos de ellos:

Acceso a energía eléctrica: uno de los principales beneficios que se obtienen al implementar sistemas de energía solar es el acceso a una fuente de energía eléctrica confiable y sostenible en las zonas rurales. Esto permite mejorar la calidad de vida de las comunidades y aumentar su productividad.

Mejora de la salud: al tener acceso a una fuente de energía eléctrica confiable, se pueden mejorar las condiciones de salud en las zonas rurales del Vaupés. Esto se debe a que se pueden utilizar dispositivos médicos eléctricos en los centros de salud de estas zonas, lo que facilita el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

Reducción de la pobreza energética: la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaicos permite reducir la pobreza energética en las zonas rurales del departamento del

Vaupés. La pobreza energética es una condición en la cual una persona no tiene acceso a una fuente de energía eléctrica confiable y asequible, lo que afecta su calidad de vida y limita sus oportunidades económicas.

Aumento de la productividad: el acceso a una fuente de energía eléctrica confiable y sostenible permite aumentar la productividad en las zonas rurales del Vaupés. Las comunidades pueden utilizar la energía para la producción agrícola, la industria y otros fines comerciales, lo que a su vez puede mejorar su estabilidad económica.

Producto de la revisión hecha en materiales bibliográficos, se puede discutir a partir de 3 puntos de vista diferentes asociados a la huella de carbono, el costo de la implementación y los beneficios que trae la utilización de la energía solar y paneles fotovoltaicos en un estudio similar en otro país.

En resumen, los beneficios no solo se limitan al ahorro del gasto en iluminación nocturna, sino que se extienden al medio ambiente debido a una reducción importante en emisiones de carbono en especial con aquellas opciones alternativas de generación de energía con base en Diesel/gasolina o gas natural como lo explicamos en detalle en nuestro análisis de resultados. En ambos estudios, los ahorros y beneficios sugieren que la implementación de sistemas solares fotovoltaicos son viables financieramente especialmente en el mediano y largo plazo lo que hace atractivo considerar esta alternativa de generación de energía, sin embargo es importante resaltar que estos proyectos son intensivos en capital y financieramente se amortizan en periodos prolongados de tiempo que también dependen de bajas tasas de interés y que requieren del apoyo de los gobiernos para su implementación.

Finalmente, como con cualquier otro sistema de generación de energía un plan de mantenimiento y reposición de componentes es fundamental para que la iniciativa sea sostenible y perdure a lo largo de los años, así como un plan de manejo ambiental para dar disposición final a las baterías y otros componentes los cuales deben sustituirse en promedio cada 24 a 30 meses.

Por último dentro de la reducción de la huella de carbono se evidencia que, si bien según los resultados de la investigación muestran una reducción importante, actualmente en Colombia hay una empresa conocida como Corporación Colombiana de Desarrollo Social la cual busca reducir la huella de carbono en compañía de Hybritec, empresa dedicada a la fabricación de paneles solares, mencionan que la instalación de 240 paneles solares, lo cual reduciría las emisiones de CO₂ en un total de 35 toneladas por año, actualmente en Colombia 1 persona produce 4 toneladas al año, según el diario de la república de esas 4 toneladas el 3,4% corresponde al consumo de energía eléctrica, lo cual al año daría un total de 136 kg de Co₂ en 2022 por persona, en comparación con los resultados obtenidos en el estudio que nos da un consumo anual energético e impacto en Kg de Co₂ de 325 en 2022, esto efectivamente evidencia que la utilización de energía solar como método alternativo es viable y recomendable.

Estos últimos años y el hecho de haber firmado el acuerdo de París compromete al país a ejecutar planes para la reducción de esta huella día a día. Por otro lado, es evidente que en los últimos años el precio de la gasolina ha ido incrementando lo que aumenta los costos de producción, sin embargo, la implementación de estas nuevas alternativas a futuro busca generar una industria Cero Carbono y Colombia se encuentra trabajando en esto según el Ministerio de Ambiente y su estrategia Colombia Carbono Neutral donde el objetivo de reducción es del 51% de emisiones a 2030 y la carbono neutralidad en Colombia al año 2050.

Conclusiones:

La implementación de los paneles solares en la zona rural del departamento de Vaupés es viable teniendo en consideración principalmente el costo del combustible, al realizar las comparaciones, la producción de energía con la energía solar es mucho mejor en cuanto a los costos económicos y adicionalmente se estaría promoviendo la reducción de la huella de carbono que se ajusta completamente a los objetivos estratégicos planteados desde el principio.

En cuanto a los beneficios sociales, definitivamente favorecería a las ZNI ya que tendrían acceso a una fuente de energía inagotable, la cual reduciría los costos de pago de Luz ya que la ubicación del departamento de Vaupés tiene un número de horas e intensidad de sol que favorece la captura de esta energía para ser almacenada y utilizada a bajo costo.

Una vez identificados los costos se concluye es más económico el proyecto de sistemas solares fotovoltaicos (siempre y cuando la tasa de financiamiento no supere el 5% anual durante los 25 años del proyecto)

Ambientalmente el Proyecto de Sistemas solares fotovoltaicos es sostenible ahorrando casi 100,000 toneladas de CO₂ a la atmosfera durante 25 años.

Entre los principales beneficios sociales de la energía eléctrica en las comunidades rurales del departamento del Vaupés tenemos, acceso a la iluminación, la refrigeración, el agua potable y las comunicaciones, así como el funcionamiento de equipos médicos y odontológicos, mejorando la calidad de la atención médica y contribuyendo a salvar vidas. Adicionalmente impulsa la productividad en el sector agrícola, agroindustrial y turístico, crea empleo, facilita la telefonía fija, móvil y la transmisión de datos lo cual permite el intercambio de información, la conectividad la educación a distancia y la participación de la comunidad en la economía digital.

Lista de referencias

- Adams, William Grylls; Day, Richard E (1 January 1877). "V. The action of light on selenium".
Proceedings of the Royal Society of London.
- Alstone P., Gershenson D., Kammen D.M. Decentralized energy systems for clean electricity
Access. *Nature Clim. Change*, volumen 5 (número 4), 2015: 305-14. ISSN 1758-678X
- Biomass Users Network (BUN-CA). (2002). Manual sobre energía renovable solar
fotovoltaica.
- Bell Labs Demonstrates the First Practical Silicon Solar Cell». APS News (American Physical
Society) 18 (4). Abril de 2009.
- Bravo Tapia, J. (2016). USO Y APROVECHAMIENTO DE CELDAS
SOLARES. (Español). *Revistas del Congreso Internacional de Investigación Académica*,
8(3), 161–166.
- C. L. Cortés Cortés, G. S. Gómez Gómez, F. Betancur Londoño, S. X. Carvajal Quintero, and
N. Guerrero González, "Experimental Analysis of the Performance of a PV System with a
Centralized Inverter and Microinverters: A Study Case in Manizales", *TecnoL.*, vol. 23, no.
47, pp. 1-21, Jan. 2020.
- Cayetano, E. M. (2004). *La Energía Solar Fotovoltaica en España*. Obtenido de Dialnet:
- Consejo Privado de Competitividad. (2018, October). *Informe Nacional de Competitividad
2018–2019* .
- Consejo Privado de Competitividad. (2019). *Informe Nacional de Competitividad 2019-2020*.
Bogotá: Consejo Privado de Competitividad.
- Consejo Privado de Competitividad. (2020, November). *Informe Nacional de Competitividad
2020–2021* .

- Correa F., C.A.; Marulanda G., G.A.; Panesso H., A.F. (2016). Impacto de la penetración de la energía solar fotovoltaica en sistemas de distribución: estudio bajo supuestos del contexto colombiano. *Revista Tecnura*, 20(50), 85-95. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a06
- F. Eraso Checa and O. Erazo de la Cruz, "Potencial Natural para el Desarrollo Fotovoltaico en Colombia," *U mariana*, p. 52–59, (s.f).
- Gevorkian, Peter (2007). *Sustainable energy systems engineering: the complete green building design resource*. McGraw Hill Professional.
- H. Ramírez-Murillo, C. A. Torres-Pinzón y E. F. Forero-García, "Estimación del potencial fotovoltaico mediante minería de datos en cuatro ciudades de Colombia", *Tecnológicas*, vol. 22, no. 46, pp. 77- 97, 2019.
- IPSE: Instituto de Planeación y Planificación de Soluciones Energéticas, www.ipse.gov.co
- IRENA (2019). *Renewable capacity statistics 2019*
- IRENA (2021). *Estadísticas de capacidad renovable 2021*.
- Jiménez Castilla, T. I. (2014). *Energías renovables y turismo comunitario: Una apuesta conjunta para el desarrollo humano sostenible de las comunidades rurales*. *Energética*, (44), 93-105.
- Jones, Geoffrey; Bouamane, Loubna (2012). "Power from Sunshine": A Business History of Solar Energy (PDF). Harvard Business School.
- Ladino, R. E. (2011). *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso vereda Carapuna, municipio de Tauramena, departamento de Casanare*. Obtenido de Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1085>

- Manuela Castaño-Gómez John Jairo García-Rendón. (2020). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. *Lecturas De Economía*, 93, 23-64.
- Markvart, T. (2003). *Solar Electricity*. Inglaterra: Elsevier Science Ltda. Oxford, U., 2003.
- Noguera-Salas, O., Alfonso Pinto-García, R., & Edison Villarreal-Padilla, J. (2018). La eficiencia de los nuevos materiales fotosensibles usados en la fabricación de paneles solares. (Español). *Iteckne*, 15(1), 7–16.
- Paternina, MA, Villalba, LCO, Núñez, JLI, & López, RA Á. (2012). Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares. *Prospectiva* (1692-8261), 97–107.
- Pérez Castañeda, GA, Méndez Gómez, R., Flores Cabrera, JR, Villano Arellano, M., & Trujillo Narciso, JG (2019). CAUSAS DE LA REDUCCION DE LA FIABILIDAD DE LOS PANELES SOLARES. (Español). *Revistas del Congreso Internacional de Investigación Académica*, 11(6), 1963–1968.
- Lehovec, K. (15 August 1948). "The Photo-Voltaic Effect". *Physical Review*.
- Pinilla, A. (2016). *Soluciones energéticas para zonas rurales*
- Preciado, A., & Hurtado, D. (2018). Diseño y evaluación de un sistema solar fotovoltaico para el aeropuerto José María Córdova. *Universidad Distrital*, 10(2), 1–15.
- Rodríguez, H. (15 de enero de 2008). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*.
- Sandra, Y. G. (2015). Metodología para la identificación de soluciones energéticas sostenibles. *Energética*, (45), 67-81.
- Solar Heat: A Substitute Fuel for Tropical Countries*, Bombay, 1878; Chadwyck-Healey Ltd., 2001

Washburn, C. & Pablo-Romero, M. (2019). Measures to promote renewable energies for electricity generation in Latin American countries. *Energy Policy*, 128, 212 - 222.