



**DISEÑO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA FINCA MONTAÑITA EN
PIOJÓ ATLÁNTICO**

Autores

Javier Fernando Falla Medina

Christian Felipe Puerto Moreno

BOGOTA D.C.

Noviembre 12 de 2025

Tabla de contenido

Resumen	4
Introducción	5
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
Definición del Problema	7
Justificación	8
Análisis de Requerimientos	9
Aspectos normativos.....	10
Marco Teórico	11
Energía Solar Fotovoltaica como Alternativa Renovable.....	11
Potencial de Radiación Solar en Colombia.....	12
Energía Fotovoltaica en Zonas Rurales	12
Energía Solar y Desarrollo Rural.....	13
Energía Solar Fotovoltaica y Optimización.....	14
Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	14
Sistema fotovoltaico On Grid	14
Sistema Fotovoltaico Off Grid.....	15
Sistema Fotovoltaico Híbrido (Con Respaldo de Batería)	15
Componentes Principales de un Sistema Fotovoltaico	16
Antecedentes de Implementación en Colombia	17
Análisis Económico	18
Financiamiento y Políticas Gubernamentales	19
Análisis de restricciones del Proyecto	20

Restricciones ambientales	20
Restricciones sociales	21
Restricciones económicas y financieras.....	22
Restricciones éticas.....	23
Metodología para la restricción y desarrollo de la solución	24
Demanda Energética de la Finca La Montañita	25
Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.....	25
Diseño del Sistema Fotovoltaico	26
Evaluación de Viabilidad Técnica y Económica del Sistema Fotovoltaico.....	28
Costos de Mantenimiento Anual del Sistema Fotovoltaico	29
Discusión.....	30
Conclusiones	31
Referencias	33

Resumen

Este documento presenta el diseño de un sistema fotovoltaico para la finca Montañita, ubicada en el municipio de Piojó, Atlántico, a través de una metodología de investigación cuantitativa descriptiva. Se analiza la viabilidad técnica y económica del proyecto, proporcionando una solución a la falta de suministro eléctrico en zonas rurales, una problemática común en el sector agrícola.

El estudio permitirá cuantificar la demanda energética de la finca, determinar los costos asociados y evaluar las principales barreras para la implementación de sistemas fotovoltaicos, tales como la inversión inicial y el mantenimiento. Además, se sustenta en referencias teóricas de estudios previos realizados en Colombia sobre la adopción de energía solar en áreas rurales.

Los resultados evidenciarán si la energía solar representa una alternativa viable para optimizar el consumo energético y reducir costos.

Introducción

El acceso a la energía es un factor clave para el desarrollo de las actividades agrícolas y productivas, especialmente en zonas rurales donde el suministro eléctrico es limitado o inexistente. La finca Montañita, ubicada en el municipio de Piojó, Atlántico, enfrenta esta problemática, afectando su eficiencia operativa y aumentando los costos derivados de fuentes de energía alternativas. En este contexto, los sistemas fotovoltaicos se presentan como una solución viable para reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir costos energéticos y mejorar la sostenibilidad del sector agrícola.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema fotovoltaico que cubra la demanda energética de la finca Montañita, mediante una metodología de investigación cuantitativa descriptiva. A través del análisis del consumo energético, los costos de implementación y las barreras de adopción, se busca evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema, considerando la percepción e interés de la población objetivo en el uso de energías renovables.

Además, la investigación toma como referencia estudios previos sobre la integración de energía solar en zonas rurales de Colombia, proporcionando un marco comparativo para contextualizar el proyecto. Los resultados obtenidos permitirán establecer estrategias de implementación, resaltando la importancia de asesoría técnica y opciones de financiamiento para facilitar la transición hacia fuentes de energía limpia en comunidades agrícolas.

Objetivo general

Analizar la factibilidad técnica y económica de implementar un sistema fotovoltaico en la finca Montañita, ubicada en Piojó, Atlántico, con el propósito de disminuir los costos de energía, optimizar la eficiencia y promover la sostenibilidad.

Objetivos específicos

- Evaluar la opción de energía solar fotovoltaica más adecuada para cubrir las demandas energéticas de la finca.
- Diseñar el sistema de paneles solares seleccionado, garantizando que satisfaga los requerimientos energéticos establecidos.
- Evaluar la viabilidad técnica y financiera de la solución fotovoltaica propuesta.

Definición del Problema

En el departamento del Atlántico, los altos costos de electricidad afectan gravemente a muchas fincas, dificultando su desarrollo. Este problema se origina en la dependencia de fuentes de energía costosas, lo que limita las actividades productivas de las fincas. A pesar de que encontrar terrenos adecuados para la implementación de sistemas fotovoltaicos es un desafío, muchas veces debido a la falta de características climáticas y topográficas ideales, esto puede generar sobrecostos que llevan a los propietarios a cuestionar si es viable adoptar este tipo de soluciones o continuar con la producción agrícola tradicional.

La región Caribe, que enfrenta las tarifas eléctricas más altas del país, ha impulsado a la finca Montañita a buscar una solución más económica y sostenible para cubrir sus necesidades energéticas. No obstante, la implementación de sistemas fotovoltaicos conlleva tanto desafíos técnicos como económicos. (Blandón, 2023).

Con esta investigación, la pregunta principal a resolver es: ¿Cómo puede la implementación de un sistema fotovoltaico ayudar a reducir los costos de energía y mejorar la eficiencia en la finca Montañita? Este estudio tiene como objetivo describir el problema de la falta de electricidad en la finca y analizar si el uso de un sistema fotovoltaico puede ser una solución efectiva para reducir los costos y mejorar la eficiencia energética. La investigación se centra en entender cómo esta solución puede ayudar a la finca a ser más eficiente y sostenible a largo plazo. Además, es fundamental realizar un análisis económico detallado para determinar la rentabilidad de estos proyectos y su impacto a largo plazo en la economía rural.

Justificación

La finca Montañita está ubicada en el departamento del Atlántico, en el municipio de Piojo, donde las tarifas de energía son excesivamente altas. Con el desarrollo de este proyecto se busca implementar energías limpias y un modelo sostenible que, además de favorecer el medio ambiente, mitigue estos altos costos, teniendo en cuenta no solo las actividades productivas de la finca, sino también la tendencia de apostar al ecoturismo.

Este proyecto se realiza bajo las áreas de Ciencia, Tecnología e Innovación, con énfasis en Energías Renovables y Eficiencia Energética. Los datos generados servirán como guía y apoyo para que otras personas en situaciones similares puedan implementar este tipo de proyectos, especialmente dada las condiciones ambientales favorables de esta región del país. La disminución de gases de efecto invernadero que las plantas solares pueden lograr, así como su aporte para disminuir el calentamiento global, constituyen una justificación sólida para el proyecto. Además, la disminución del uso de recursos fósiles en Colombia, utilizados para la generación de energía eléctrica, refuerza este planteamiento. Al tratarse de una finca dedicada a la producción agrícola de alimentos y energía, se impacta de manera positiva la seguridad alimentaria.

Análisis de Requerimientos

La Finca Montañita está ubicada en Piojo, Atlántico, Colombia, y se dedica a la producción agropecuaria. Los principales productos cultivados en la finca incluyen yuca, plátano, papaya y hojas para té. Además, la finca se encarga de la cría de gallinas para la producción de huevos. El objetivo principal de la finca es abastecer el mercado local con estos productos.

La estructura organizacional de la finca es sencilla, con un mayordomo que supervisa las actividades diarias.

Este estudio se enfoca en el diseño de un sistema fotovoltaico para la finca, con el propósito de reducir los costos energéticos asociados a los procesos que requieren electricidad.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico que se requiere, es necesario establecer la carga instalada, para de esta manera saber la energía que debe ser captada por los paneles solares. Es importante tener en cuenta que la generación de estos módulos es limitada y no es lo mismo que la energía convencional. Pérez Álvarez (2019) enfatiza la importancia de calcular correctamente la carga instalada para garantizar un diseño óptimo y gestionar los recursos energéticos disponibles de manera eficiente.

Asimismo, la capacidad del inversor está dependiendo de la cantidad de energía que se genere. Para esto se hará uso de los siguientes pasos:

- Cálculo de la demanda energética de la finca
- Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- Selección de Componentes
- Diseño del sistema fotovoltaico.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo correspondiente al diseño del sistema fotovoltaico definido para el proyecto.

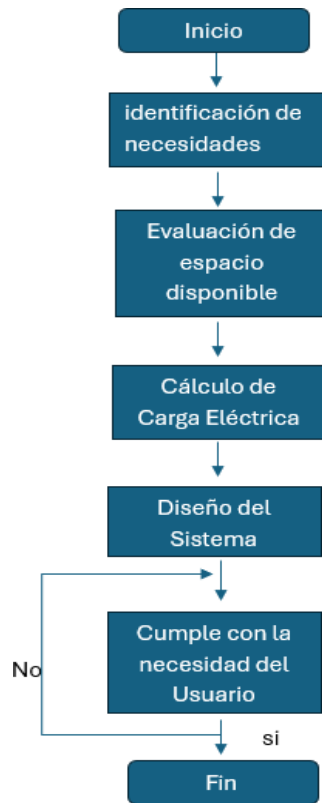


Figura 1. Diagrama de flujo del sistema fotovoltaico del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar que el sistema fotovoltaico supla la carga requerida, se debe ajustar la carga para usar la menor cantidad de paneles solares posibles y disminuir los costos del proyecto, haciendo que este sea viable. Los costos son una barrera importante al momento de implementar este tipo de sistemas (Salazar Blanco, 2017).

Aspectos normativos

Para sistemas conectados a la red:

- La Ley 1715 de 2014 promueve el uso de fuentes de energía renovable.
- La Resolución CREG 030 de 2018 establece los lineamientos para la inyección de energía a la red.
- La Norma NTC 5899 define requisitos de seguridad y pruebas para los módulos solares.
- El RETIE garantiza el cumplimiento de las normativas técnicas en las

instalaciones.

- Para proyectos cuya generación supere los 3 MW, se requiere la gestión de licencias ambientales según el Decreto Único 1076 de 2015.

Para sistemas no conectados a la red:

Aplican las mismas normativas generales mencionadas, con la diferencia de que estos son autosuficientes y utilizan un banco de baterías como respaldo, en lugar de depender de la red eléctrica.

Caso de estudio

El sistema tiene como objetivo suplir la demanda energética de una vivienda y alimentar un sistema de bombeo de agua. Esto implica diseñar una solución que optimice la generación para garantizar un suministro confiable y eficiente (Salazar Blanco, 2017).

Marco Teórico

Energía Solar Fotovoltaica como Alternativa Renovable

La utilización de fuentes de energía renovable ha cobrado gran importancia en todo el mundo, debido a que siempre están disponibles en la naturaleza, reducen notablemente las emisiones de CO₂ a la atmosfera, son flexibles a los diferentes entornos, su eficiencia aumenta gradualmente debido a la innovación tecnológica y son tanto rentables como generadoras de empleo. Entre las alternativas más viables y sostenibles se encuentra la energía solar fotovoltaica que “es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos”. Se basa en el efecto fotoeléctrico que consiste en la expulsión de electrones de la superficie de un metal cuando la luz brilla sobre este, por lo cual los fotones son absorbidos por los paneles que a su vez liberan los electrones para generar una corriente eléctrica. De acuerdo con lo comentado por Brizuela, A. B. (2005), la energía solar es una opción adecuada para garantizar una gran parte de los requerimientos energéticos de nuestra sociedad y como tal deben

apoyarse las iniciativas que impulsan y conducen a su aprovechamiento racional en gran escala.

Potencial de Radiación Solar en Colombia

Tomando como punto de partida lo anterior, se deben revisar los datos pertinentes acerca de la factibilidad del uso de energía solar de acuerdo con el contexto que atañe a este estudio, por tanto, según Martínez (2019) en regiones como la capital del atlántico se demostró que hay un promedio de 200 días de radiación solar, lo que genera alrededor de 600 kilovatios por hora al día. Para poder tener una mejor perspectiva, Según la investigación “La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas”, de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, la mayor parte del territorio colombiano cuenta con alrededor de 4,8 y 12 horas diarias de sol. Esto corresponde a una media de 4000Wh/día durante el año, que es considerablemente superior al promedio mundial de 3,500Wh/día. Con esta información en mente, la revista de lecturas de economía de la universidad de Antioquia redactó un artículo llamado “Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia” en el cual se teoriza que “los principales resultados arrojados por el escenario de un proyecto a gran escala muestran una capacidad instalada de energía solar fotovoltaica de 1.542 MW en 2030, lo que lo hace el más rentable y el de mayor potencial de crecimiento”.

Energía Fotovoltaica en Zonas Rurales

En el mundo existen diferentes formas de generar energía eléctrica a través de hidroeléctricas, termoeléctricas, centrales nucleares, y recursos fósiles. Estas fuentes han permitido suplir la demanda energética de la humanidad durante muchas décadas. En Colombia, debido a su diversidad climática y topográfica, la demanda de energía se suple principalmente con hidroeléctricas y termoeléctricas. La distribución de esta energía requiere una infraestructura compleja que permite transportar la energía al usuario final. Sin embargo, existen fuentes naturales que permiten el aprovechamiento de recursos como la luz solar, que a través de sistemas fotovoltaicos puede generar energía que supla las necesidades requeridas. De ahí la importancia de contemplar

diferentes factores que permitan el correcto funcionamiento de este tipo de sistemas (Almaktoof, 2020; Uwibambe, 2017).

A pesar del potencial evidente, la adopción de esta tecnología en zonas rurales enfrenta ciertos impedimentos como el costo inicial que tiende a ser alto, la falta de conocimiento técnico y el escaso acceso a financiamiento. No obstante, tal como indica García, Castaño (2020) “En 2019, en Colombia, la generación a partir de FNCER, específicamente la energía solar fotovoltaica (FV), es prácticamente nula aun cuando existe un gran potencial de generación a partir de este recurso”. Este argumento cobra mayor validez al ser respaldado por lo expuesto por Pablo Lo Zicchio, Global Segment Manager Photovoltaics de Weidmüller, quien afirma que, debido a su ubicación geográfica y alta radiación solar, “Colombia es una potencia en el tema de energía solar, pero con un gran déficit en el desarrollo del sector solar”.

Energía Solar y Desarrollo Rural

En Colombia se han desarrollado diferentes formas de generar energía que permitan jalonar el desarrollo rural además de hacer más eficientes los procesos de producción, lo cual impacta de manera positiva en la economía del campesino, pero también sin desconocer cómo en algunas zonas del país se ven afectadas más que otro producto de barreras como el centralismo y otros factores culturales que afectan la población rural y que impacta de manera directa sus labores cotidianas del campo. La ausencia de servicios públicos, en este caso el de energía, el cual es un derecho como lo establece la constitución política en su artículo 365 (Pérez Gelves, 2019), las energías renovables, en este caso la solar, se convierten en alternativas que pueden ser viables, para este estudio, se abordará desde una perspectiva económica, ambiental, productiva y de desarrollo social.

Además de los beneficios en la disminución del valor del kilovatio producido, este no requiere de una infraestructura compleja para su implementación, pero el que no sea compleja no quiere decir que no tenga unos costos de implementación altos y que no se vea afectada por diferentes factores como los climáticos a los cuales no impacta de manera directa (Márquez Bedoya et al., 2024).

Energía Solar Fotovoltaica y Optimización

La optimización de la energía solar es crucial, ya que su generación está limitada por diversos factores, como la incidencia solar de la zona en la que se vaya a instalar el sistema fotovoltaico y las condiciones topográficas del terreno (Cotelo et al., 2022). Es esencial maximizar la eficiencia del sistema fotovoltaico para aprovechar al máximo la energía generada. Esto incluye la orientación y el ángulo de los paneles solares, la limpieza y el mantenimiento regular, y la integración de tecnologías avanzadas para el seguimiento del sol.

Además, se requiere que el almacenamiento de la energía se use lo menos posible, para que los bancos de baterías no sean grandes y, por ende, reducir sus costos. Esto implica la necesidad de organizar los procesos productivos para aprovechar al máximo la energía generada durante las horas de mayor incidencia solar. El uso eficiente de la energía también puede lograrse mediante la implementación de sistemas de gestión de la energía que optimicen el consumo en función de la disponibilidad de la energía solar.

La integración de la energía solar fotovoltaica en áreas rurales puede tener un impacto significativo en el desarrollo sostenible, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y disminuyendo la huella de carbono. La adopción de tecnologías solares no solo contribuye a la mitigación del cambio climático, sino que también impulsa el crecimiento económico y mejora la calidad de vida de las comunidades rurales.

Tipos de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en distintos tipos según su configuración, la cual varía en función del contexto de uso, ya sea en zonas rurales, áreas remotas o entornos residenciales urbanos. Para comprender mejor estas diversas configuraciones, resulta fundamental analizar sus características y requerimientos específicos. La empresa Dynamic Energy los clasifica de la siguiente manera:

Sistema fotovoltaico On Grid

Es una solución solar que opera sin almacenamiento en baterías y emplea un inversor vinculado directamente al sistema eléctrico convencional. Este tipo de instalación resulta ideal para usuarios que ya cuentan con conexión a la red y desean complementar su suministro energético con energía solar. Su diseño es relativamente

sencillo y económico, debido a la menor cantidad de componentes requeridos. El propósito principal de estos sistemas es disminuir el consumo energético proveniente de la red, reduciendo así los costos en la factura eléctrica y aprovechando posibles incentivos gubernamentales o tarifarios asociados a la generación distribuida.

Sistema Fotovoltaico Off Grid

Los sistemas fotovoltaicos fuera de la red están diseñados para usuarios que no tienen acceso fácil o directo al sistema eléctrico convencional, ya sea por su ubicación en zonas rurales, de difícil acceso o donde los costos de extensión de la red son elevados. Este tipo de solución es especialmente útil en instalaciones como escuelas, centros de salud o viviendas ubicadas en áreas remotas. Una de las principales ventajas con las que cuenta es la posibilidad de lograr una autosuficiencia energética total, sin incurrir en pagos por consumo eléctrico ni depender de proveedores externos. Además, estos sistemas son modulares, lo que permite ampliar su capacidad progresivamente según aumenten las necesidades energéticas del usuario o el presupuesto disponible. De este modo, es posible iniciar con una configuración básica e ir escalando el sistema conforme se requiera.

Sistema Fotovoltaico Híbrido (Con Respaldo de Batería)

Este tercer tipo de sistema fotovoltaico resulta especialmente adecuado para usuarios que, aunque están conectados al sistema eléctrico convencional, desean contar con una fuente de energía de respaldo ante eventuales interrupciones del servicio. Es ideal en zonas donde los cortes de energía son frecuentes o para quienes buscan una mayor autonomía energética.

Como su nombre lo indica este tipo de sistema combina las ventajas de los sistemas on-grid y off-grid, ya que permite reducir el consumo eléctrico proveniente de la red y, por tanto, la factura energética, al tiempo que ofrece la posibilidad de continuar operando durante un apagón gracias al almacenamiento en baterías. Igualmente, permite utilizar la energía almacenada durante las horas de mayor demanda o en momentos estratégicos, optimizando así el aprovechamiento del recurso solar y mejorando la

eficiencia energética general del sistema.

Componentes Principales de un Sistema Fotovoltaico

Según SunFields, proveedor especializado en tecnología solar, un sistema fotovoltaico debe estar compuesto por siete elementos principales:

Placas solares o paneles fotovoltaicos: están compuestos por células solares elaboradas con materiales semiconductores, los cuales permiten transformar la radiación solar en energía eléctrica en forma de corriente continua. Entre los más comunes se encuentran los paneles monocristalinos, cuya potencia individual varía generalmente entre 300 y 700 vatios.

Cableado: El sistema de cableado es responsable de interconectar todos los elementos del sistema fotovoltaico, permitiendo el flujo de energía desde los módulos solares hacia el inversor, y desde las baterías cuando corresponda.

Inversor solar: cumple una función clave al transformar la corriente continua (CC), generada por los paneles o almacenada en las baterías, en corriente alterna (CA), que es la forma de energía utilizada en aplicaciones residenciales y comerciales. Existen diversos tipos de inversores, según el tipo de sistema: los utilizados en instalaciones aisladas (off-grid) y los conectados a la red eléctrica, que pueden ser de tipo string, centrales, monofásicos, trifásicos o híbridos. Para garantizar la seguridad y conformidad del sistema, los inversores deben ajustarse a las normativas aplicables a instalaciones fotovoltaicas de baja tensión, incluyendo los mecanismos de desconexión automática ante fallas y prevención del funcionamiento en isla.

Controlador de carga: son dispositivos esenciales en sistemas aislados, ya que regulan el voltaje y la corriente que llega a las baterías, evitando sobrecargas que podrían deteriorarlas o afectar su vida útil.

Baterías: permiten almacenar la energía excedente generada por el sistema fotovoltaico para su utilización posterior. Aunque su incorporación es opcional, su uso resulta altamente recomendable, especialmente durante la noche o en condiciones de baja irradiación solar. En sistemas aislados se emplean comúnmente baterías de plomo-ácido, AGM o de gel, mientras que en instalaciones conectadas a la red se prefieren

baterías de litio-ferrofosfato (LiFePO_4) por su eficiencia y durabilidad. Es importante destacar que las baterías en sistemas on-grid suelen desconectarse durante cortes del suministro eléctrico; sin embargo, existen modelos con sistemas de respaldo que permiten alimentar ciertos circuitos prioritarios, como iluminación o equipos esenciales, en caso de emergencia.

Estructuras de soporte: conceden la fijación segura de los módulos solares, ya sea sobre techos o directamente en el suelo. Generalmente están fabricadas en aluminio o aluminio anodizado, y se presentan en diferentes formatos: estructuras sin inclinación, inclinadas a distintos ángulos o con seguimiento solar automático para optimizar la captación energética.

Sistemas de monitoreo: permiten supervisar el rendimiento y la producción del sistema fotovoltaico en tiempo real, proporcionando información útil para el mantenimiento preventivo y correctivo. Además, facilitan el acceso remoto a los datos mediante plataformas en línea, lo cual mejora la eficiencia en la gestión del sistema.

Antecedentes de Implementación en Colombia

Uno de los antecedentes más relevantes es el proyecto desarrollado en el Bioparque La Reserva de Cota por Mendoza, J. C., Aristizábal Botero, E. y González Páez, W. R. (2022, p.18). En su estudio se basaron en la investigación de Ladino (2011), titulada La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso: vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare, donde se concluyó que esta fuente energética es viable, especialmente en zonas rurales no interconectadas con población dispersa y alejada de las redes eléctricas convencionales. Además, en regiones de difícil acceso o con limitaciones ambientales, es necesario evaluar su competitividad frente a otras fuentes de energía disponibles. Uno de los hallazgos más relevantes de la investigación se relacionó con el ámbito ambiental, debido a que demostró como la relación entre los sistemas solares fotovoltaicos y el recurso hídrico radica en la generación eléctrica convencional, especialmente en las hidroeléctricas, implica un elevado uso de agua. La construcción de estas centrales suele provocar la disminución del caudal de los ríos, la alteración de su curso natural y la contaminación de las fuentes hídricas debido a diversos tipos de vertimientos

(Mendoza, J. C., Aristizábal Botero, E. y González Páez, W. R., 2022, p.60).

Otro antecedente reciente digno de mención es por parte de la empresa Celsia, quien fue pionera al construir la primera granja fotovoltaica en Colombia que comenzó a operar desde el 3 de septiembre de 2017 en Valle del Cauca; con una capacidad de 9.8 MW, 35.000 módulos y 9 inversores es capaz de generar 16,5 GWh de energía al año, equivalentes al consumo de 8 mil hogares. Adicionalmente, se resalta otro beneficio del proyecto, como la reducción estimada de 160 mil toneladas de dióxido de carbono (CO₂) a lo largo de 25 años.

Análisis Económico

En la región del Atlántico, Colombia, la factura del servicio eléctrico incluye cobros adicionales, como el impuesto a la seguridad, que, a corte del año 2025, suma \$58.000 pesos. Según Díaz Castillo y Urrea Velandia (2018), estos cobros representan una carga adicional que puede ser minimizada a través de fuentes alternativas de energía, como los sistemas fotovoltaicos, los cuales permiten una mayor autonomía energética. Estos cobros son adicionales al costo por el consumo de energía eléctrica y representan un ahorro fijo mensual de más de cincuenta mil pesos. Por ello, uno de los aspectos clave a evaluar es el precio del kilovatio generado.

Un sistema fotovoltaico con una capacidad de 20,000 W y una producción diaria estimada de 79,400 Wh tiene un costo actual aproximado de \$58,000,000 COP. Este tipo de sistema cuenta con una vida útil proyectada de 15 años, lo que permite calcular el costo del kilovatio producido a lo largo de dicho periodo. Además, se debe considerar que este sistema puede generar 72 kWh diarios en invierno (con un promedio de 3 horas de sol) y 168 kWh diarios en verano (con un promedio de 7 horas de sol) (Betancur Muñoz, 2021).

A continuación, se presentan los cálculos detallados del costo del kilovatio con base en esta información:

- Costo anual: $\frac{\$58,000,000}{15 \text{ años}} = \$3,866,666.67$ COP por año.
- Costo mensual: $\frac{\$3,866,666.67}{12 \text{ Meses}} = \$322,222.22$ COP por mes.

- Costo diario: $\frac{\$3,866,666.67}{365 \text{ días}} = \$10,593.61$ COP por día.
- Costo por kWh en invierno: $\frac{\$10,593.61}{72 \text{ kWh}} \approx \147.02 COP por kWh.
- Costo por kWh en verano: $\frac{\$10,593.61}{168 \text{ kWh}} \approx \63.09 COP por kWh.

Estos resultados coinciden con estudios previos que destacan la viabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos en regiones con alta radiación solar, como el Caribe colombiano (Betancur Muñoz, 2021).

Estos resultados demuestran que la inversión en un sistema fotovoltaico puede ofrecer costos de generación competitivos, especialmente en verano, cuando la producción alcanza su máximo potencial. Además, contribuye a la reducción de los cobros adicionales en la factura eléctrica, una estrategia propuesta también por Díaz Castillo y Urrea Velandia (2018).

Financiamiento y Políticas Gubernamentales

La implementación de este tipo de sistemas en Colombia, además del cumplimiento normativo, requiere recursos económicos que permitan el acceso a financiamientos bancarios necesarios para desarrollar estos proyectos. Los gobiernos han generado diferentes tipos de incentivos tanto para las personas que hagan uso de este tipo de sistemas como también para las entidades bancarias que asignen recursos a estos proyectos. De ahí la importancia de que los gobiernos formulen políticas que respalden y promuevan este tipo de iniciativas. Aunque se habla de una transición energética, no necesariamente este debe ser el único argumento para la implementación de estos proyectos, sino también una solución que genera energía reduciendo varios impactos, como la huella de carbono, además de fortalecer el respaldo energético del país.

En el caso de los sistemas fotovoltaicos, el gobierno colombiano ha implementado incentivos específicos que buscan facilitar su adopción. Según la Ley 1715 de 2014 (2014), uno de los incentivos principales incluye la deducción del impuesto sobre la renta, que permite a los inversionistas deducir hasta el 50% del valor de la inversión en el impuesto de renta, lo que alivia significativamente la carga tributaria. Otro incentivo es la exclusión del IVA, aplicable a los equipos y servicios relacionados con la instalación de sistemas fotovoltaicos, reduciendo así los costos iniciales de implementación.

Además, como afirman Castaño-Gómez y García-Rendón (2020), la exención de aranceles facilita la importación de tecnologías avanzadas al eliminar los gravámenes arancelarios.

Asimismo, la depreciación acelerada de los activos relacionados con sistemas fotovoltaicos permite a las empresas recuperar su inversión en menor tiempo, estimulando la adopción de esta tecnología. Según Castaño-Gómez y García-Rendón (2020), este incentivo, junto con la exclusión del IVA, ha demostrado ser crucial para reducir las barreras económicas de acceso a proyectos fotovoltaicos. Además, los proyectos que integren sistemas fotovoltaicos pueden beneficiarse de bonos de carbono, que permiten compensar emisiones y generar ingresos adicionales, fomentando así una mayor sostenibilidad ambiental (Ley 1715 de 2014, 2014).

Estos incentivos no solo fomentan la transición hacia una matriz energética más sostenible, sino que también reducen las barreras económicas, incentivando la adopción de tecnologías que contribuyen a disminuir los impactos ambientales y mejorar la seguridad energética nacional, los autores, Castaño-Gómez y García-Rendón, plantean la importancia de estos incentivos para impulsar la sostenibilidad económica, ambiental y social.

Estos fundamentos teóricos permiten sustentar la pertinencia de evaluar un sistema fotovoltaico en la finca Montañita, considerando sus condiciones geográficas, climáticas y su actual limitación en el acceso a energía eléctrica.

Análisis de restricciones del Proyecto

El diseño de un sistema fotovoltaico se ve condicionado por diversas limitaciones, entre las cuales se incluyen las de tipo ambiental, social, económico y ético.

Restricciones ambientales

- **Contaminación por residuos:** Las baterías y los componentes utilizados generan residuos peligrosos al final de su vida útil. Según lo comentado por Gordon (2023), la vida útil de los paneles solares es de hasta 25 años, pero en Reino Unido la infraestructura especializada para desecharlos y reciclarlos es insuficiente; por lo

tanto, aún no hay una estrategia clara para poder extraer y reutilizar los materiales como cobre, silicio y plata presente en los componentes de las unidades. No obstante, se espera que esto sea posible por eventualmente por medio de la empresa especializada ROSI en la ciudad alpina de Grenoble que posee la primera fábrica del mundo dedicada al reciclaje completo de paneles solares.

Esta limitación evidencia la necesidad de planificar desde el diseño estrategias locales de recolección y disposición final de componentes, incluso en proyectos a pequeña escala como el de la finca Montañita.

- **Riesgos climáticos:** Condiciones climáticas poco favorables como la nubosidad prolongada o alta humedad que pueden conllevar a una generación de energía menor a la planeada. Además, los vendavales pueden producir suficiente fuerza como para desprender los paneles o dañar las estructuras. Por otro lado, las temperaturas muy elevadas disminuyen la eficiencia de los paneles solares y a su vez la producción de energía, mientras que la distribución no uniforme de calor puede causar tensiones térmicas que provocan microfracturas en el sistema.
- **Disponibilidad y calidad del terreno:** Un factor determinante es la topografía del lugar, ya que según comenta Pablo Gonzales, Técnico delineación de Greening-e, la topografía desempeña un papel determinante en la, seguridad, rentabilidad y producción de los proyectos solares, debido a que afecta directamente tanto la orientación de los paneles como la eficiencia de la captación solar y a su vez la gestión del agua.

Restricciones sociales

- **Falta de personal capacitado:** Operación y mantenimiento incorrectos por falta de formación, esta falta de apropiación de los usuarios puede provocar que el sistema no opere correctamente causando daños o fallas en el sistema.

El mantenimiento de un sistema fotovoltaico no es simplemente una cuestión de revisión periódica; es una actividad esencial que asegura que el sistema siga

funcionando con la máxima eficiencia posible. Con el tiempo, diversos factores pueden afectar su rendimiento, desde la acumulación de suciedad y polvo sobre los paneles solares hasta problemas más técnicos en los inversores o cables. Un mantenimiento adecuado y preventivo no solo previene fallos costosos, sino que también optimiza la producción energética y extiende la vida útil del sistema. (Clean Energy Engineering)

- **Impacto en actividades agrícolas:** La instalación de sistemas fotovoltaicos puede afectar el desarrollo de las actividades agrícolas cuando no se planifica adecuadamente su ubicación y orientación. De acuerdo con Iberdrola (s.f.), la sombra proyectada por los paneles puede resultar perjudicial para los cultivos que requieren una alta exposición a la luz solar, reduciendo su rendimiento o alterando su ciclo de crecimiento. Además, la presencia de las estructuras puede modificar la distribución del agua de riego y la temperatura del suelo, lo que exige una planificación cuidadosa para asegurar la compatibilidad entre la producción agrícola y la generación fotovoltaica.
- **Distribución desigual:** La gestión del sistema es un punto importante a tener en cuenta, dado que puede quedar centralizada en un solo responsable, lo que ocasionaría una percepción de exclusión por parte de los demás trabajadores. Adicionalmente, si los criterios de acceso o reparto de los beneficios no se definen claramente desde la fase de planificación, pueden surgir tensiones sociales que afecten la cooperación y el mantenimiento colectivo del sistema. Para evitar este tipo de situaciones, es fundamental establecer desde el inicio mecanismos transparentes de participación y comunicación, en los que se definan las responsabilidades, derechos y beneficios de cada trabajador involucrado.

Restricciones económicas y financieras

- **Alto gasto de capital inicial:** La instalación de un sistema fotovoltaico requiere una inversión elevada, lo cual puede representar una barrera importante si no se cuenta con opciones de financiamiento adecuadas. Según Arenales (2023), la inversión inicial para la instalación de un sistema solar puede oscilar entre \$8 millones y \$37 millones, dependiendo de la capacidad y las condiciones técnicas del proyecto. En

el mismo sentido, José Luis Mojica, analista de investigaciones económicas en Corficolombiana, señala que “sus réditos en el corto plazo no compensan el gran costo en el que tiene que incurrir una familia para instalar un sistema de esta naturaleza”.

- **Disponibilidad de componentes y repuestos:** La finca está ubicada a más de 60 kilómetros de la capital del departamento, por lo cual es posible que los materiales necesarios no se encuentren ni en Piojó ni en los municipios aledaños.
- **Estimaciones optimistas de radiación/producción:** La sobreestimación de la energía solar o de la energía que el sistema será capaz de generar. En la proyección financiera, es común basarse en valores promedio de radiación solar sin un análisis detallado de las condiciones locales como la presencia de nubosidad estacional, sombras parciales, polvo o inclinación inadecuada de los paneles. Cuando estas variables no se consideran apropiadamente, los cálculos de producción pueden resultar excesivamente optimistas, lo que conduce a ingresos menores a los esperados y a una prolongación del periodo de retorno de la inversión.

Restricciones éticas

- **Claridad en costos y beneficios:** Es verosímil que las proyecciones de ahorro energético y económico presentadas puedan ser demasiado optimistas, lo que genera expectativas poco realistas en los usuarios. Esto ocurre cuando no se consideran variables como las variaciones de radiación solar, los costos de mantenimiento, la degradación de los paneles o los periodos de retorno de inversión reales.
- **Privacidad y datos:** el monitoreo remoto puede recabar datos de consumo, lo que representa un riesgo potencial de uso indebido. La incorporación de plataformas digitales en los sistemas fotovoltaicos modernos permite el seguimiento en tiempo real del rendimiento y del consumo energético. De acuerdo con lo mencionado por Palombi (2025), “mediante la recolección y análisis de datos históricos y actuales, las tecnologías IoT permiten implementar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo”. Si bien esto facilita la gestión y optimización del sistema, también implica la recopilación de información sensible sobre los hábitos de consumo de los usuarios. La falta de protocolos claros sobre la protección y el uso ético de dichos

datos puede derivar en vulneraciones de la privacidad o en su utilización con fines comerciales no autorizados.

- **Decisiones sobre reciclaje y disposición final:** Externalizar el problema de lidiar con el reciclaje de los paneles solares al final de su vida útil a generaciones posteriores o trasladarlo a terceros sin la infraestructura adecuada contradice los principios de sostenibilidad; por lo cual, se deben promover políticas de economía circular que incentiven el reciclaje, asegurando así una gestión adecuada de los componentes al término de su vida útil.

Metodología para la restricción y desarrollo de la solución

La metodología del proyecto es cuantitativa descriptiva, ya que se utilizarán datos numéricos y mediciones para el diseño, la evaluación técnica y económica del sistema fotovoltaico en la finca Montañita.

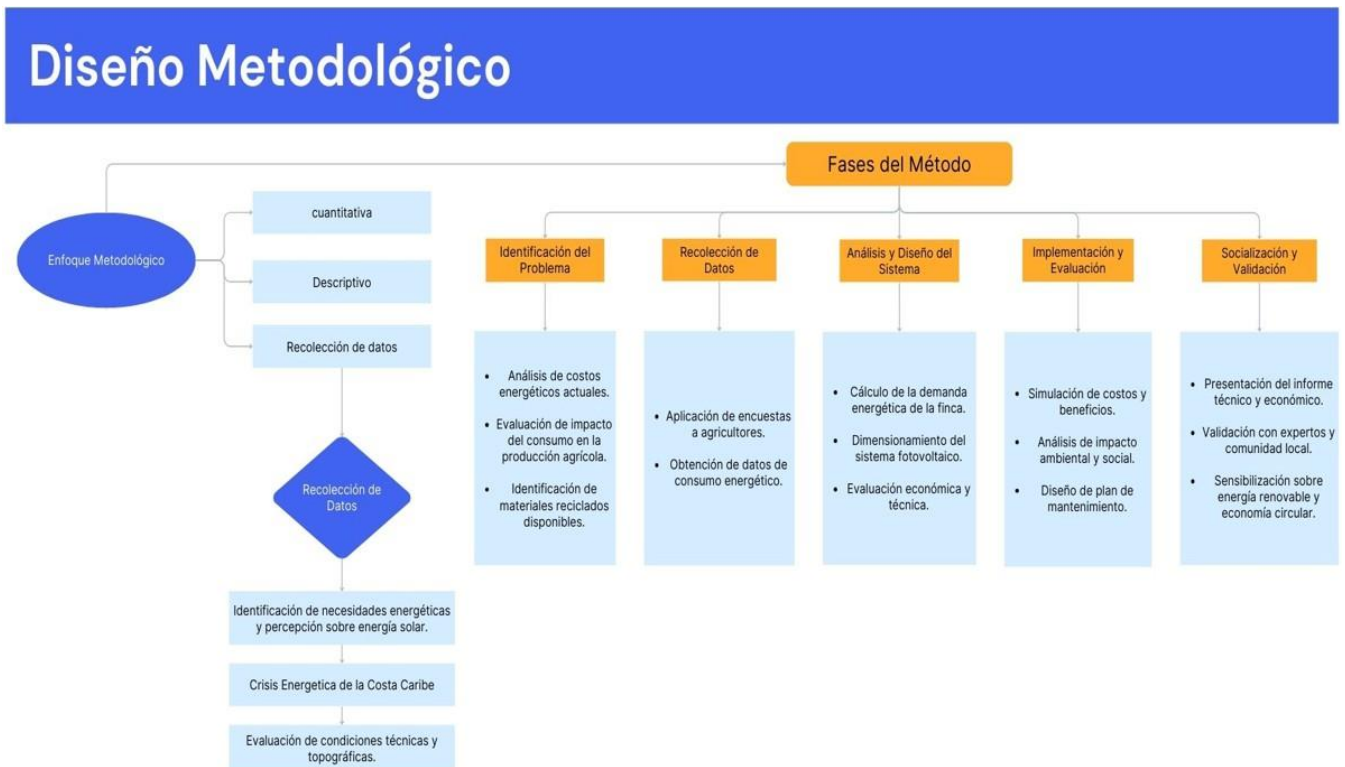


Figura 2. Diagrama Diseño Metodológico Fuente: Elaboración propia.

Demanda Energética de la Finca La Montañita

Para dimensionar un sistema fotovoltaico adecuado, es fundamental conocer la demanda energética de la finca. A continuación, se presenta un análisis detallado del consumo de los principales equipos eléctricos:

Tabla 1. Consumo eléctrico de equipos Finca La Montañita

Equipo	Potencia (W)	Cantidad
Vivienda	3.000 W	1
Bombas pequeñas (500 W)	500 W	5
Bomba para pozo profundo	5.000 W	1

Fuente: Elaboración propia.

El mayor consumo energético proviene del sistema de bombeo, el cual es esencial para el funcionamiento diario de la finca y el abastecimiento de agua para los cultivos.

Tomando en cuenta las horas de operación de cada equipo, la demanda diaria de energía se calcula de la siguiente manera:

Tabla 2. Demanda de energía diaria Finca La Montañita

Equipo	Potencia (W)	Cantidad	Horas de operación/día	Energía consumida/día (Wh/día)
Vivienda	3.000 W	1	12 horas	$3.000 \times 12 = 36.000$
Bombas pequeñas (500 W)	500 W	5	6 horas	$500 \times 5 \times 6 = 15.000$
Bomba para pozo profundo	5.000 W	1	7 horas	$5.000 \times 7 = 35.000$

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con estos cálculos, la demanda energética total de la finca es de 86.000 Wh/día. Es importante considerar que, debido a la priorización de recursos, los sistemas de bombeo tienen un papel importante en las actividades agrícolas y requieren especial atención en el diseño del sistema fotovoltaico.

Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

Para suplir la demanda energética de la finca Montañita, se ha determinado una capacidad de producción aproximada de 79.400 Wh/día. Considerando las horas de sol promedio en la región 3 horas diarias en invierno y 7 horas diarias en verano se propone

un sistema fotovoltaico con una potencia instalada de 24.000 W (24 kW).

La generación de energía diaria se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad diaria (Wh/día)} = \text{Potencia instalada (W)} \times \text{Horas de sol disponibles (h)}$$

Aplicando los valores estimados:

- Invierno: $24.000 \text{ W} \times 3 \text{ h} = 72.000 \text{ Wh/día}$
- Verano: $24.000 \text{ W} \times 7 \text{ h} = 168.000 \text{ Wh/día}$

Estos valores permiten cubrir la demanda energética de la finca de acuerdo con la siguiente distribución:

Tabla 3. Demanda de energética

Equipo	Potencia (W)	Cantidad	Horas de Operación en Invierno	Energía Consumida en Invierno (Wh/día)	Horas de Operación en Verano	Energía Consumida en Verano (Wh/día)	Capacidad Generada por el Sistema (Wh/día)
Vivienda	3.000 W	1	6 h	18.000 Wh	12 h	36.000 Wh	Invierno: 72.000 / Verano: 168.000
Bombas Pequeñas (500 W)	500 W	5	4 h	10.000 Wh	6 h	15.000 Wh	Invierno: 72.000 / Verano: 168.000
Bomba para Pozo Profundo	5.000 W	1	5 h	25.000 Wh	7 h	35.000 Wh	Invierno: 72.000 / Verano: 168.000

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, el sistema fotovoltaico diseñado garantiza el suministro de energía necesario, adaptándose a las necesidades del proyecto.

Diseño del Sistema Fotovoltaico

Para satisfacer la demanda energética de la finca Montañita, se propone un sistema fotovoltaico de 24.000 W (24 kW) de potencia instalada la cual se distribuye en 48 paneles de 500 W cada uno. A continuación, se detallan los componentes utilizados:

Tabla 4. Elementos sistema fotovoltaico

Elemento	Cantidad
Panel solar monocristalino de 500W	48
Inversor On Grid Growatt MID 20K TL3-XL2	1
Estructura cubierta metálica 16 Panel KH915	3
Kit protecciones On Grid 208VAC MPPT 80A	1
Conector Retie MC4	8
Vatímetro Smart Meter SDM630 Modbus V3 100A EASTRON	1
Monitorización Growatt Shine Wifi-X	1
Cable unifilar de 6 mm ² SOLAR PV 1,5kV rojo	60 metros

Cable unifilar de 6 mm ² SOLAR PV 1,5kV negro	60 metros
Cable AWG 8 verde	23 metros

Fuente: Elaboración propia.

Dado que se usarán 48 paneles solares monocristalinos de 500W, organizados en serie y paralelo, por las especificaciones del inversor (Growatt MID 20K TL3-XL2), que soporta un rango de voltaje y corriente específico.

La configuración es la siguiente:

- 6 líneas de 8 paneles conectados en serie: Cada una tendrá un voltaje total aproximado de 320V (40V por panel) y una corriente de 12.5A.
- Conexión en paralelo de las 6 líneas: Esto mantendrá el voltaje en 320V, pero aumentará la corriente total a 75A ($12.5A \times 6$), asegurando buena operación del inversor.
- El inversor Growatt MID 20K TL3-XL2 puede manejar 20.000 W de potencia total, lo que es acorde para el requerimiento del proyecto.

SISTEMA FOTOVOLTAICO DE PARA LA FINCA MONTAÑITA

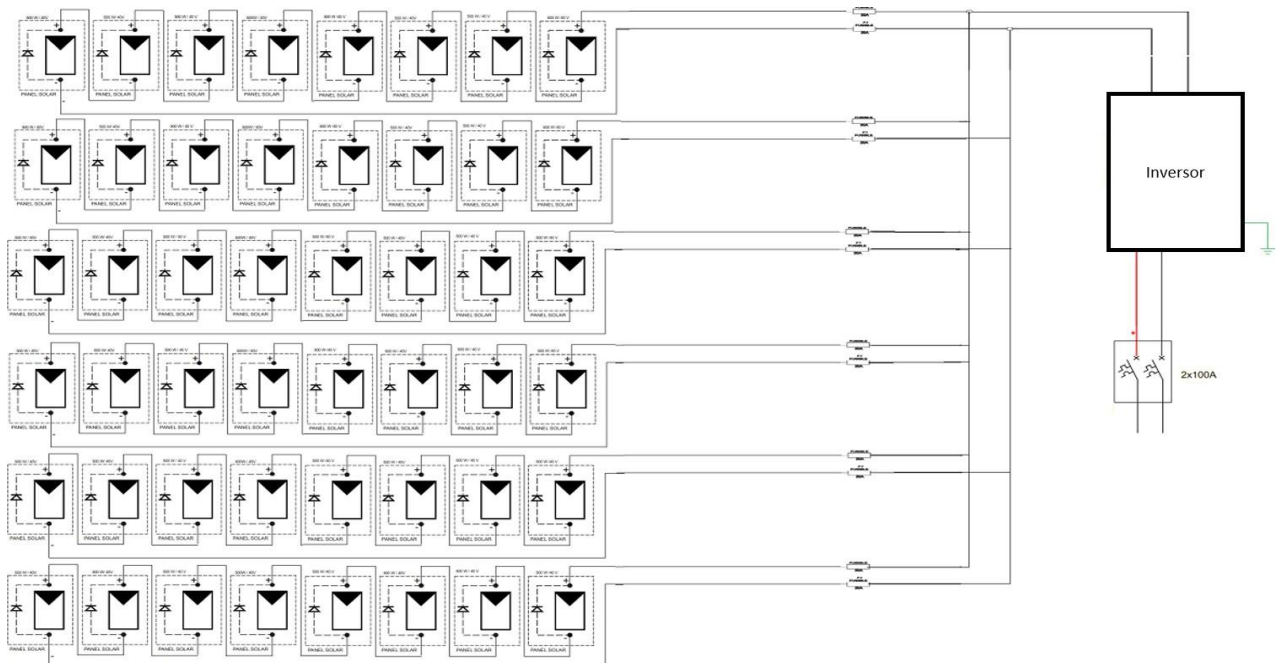


Figura 3. Configuración Sistema Fotovoltaico

Evaluación de Viabilidad Técnica y Económica del Sistema Fotovoltaico

A continuación, se detallan los costos asociados a los materiales, instalación y puesta en marcha del sistema:

Tabla 5. Costos de Producción del Sistema Fotovoltaico

Descripción	Valor Unitario (COP)	Cantidad	Valor Total (COP)	Tipo de Costo
Panel solar monocristalino de 500W	\$346.154	48	\$16.615.392	Costo directo fijo
Inversor On Grid Growatt MID 20K TL3-XL2	\$11.957.500	1	\$11.957.500	Costo directo fijo
Estructura Cubierta Metálica 16 Panel KH915	\$2.156.323	3	\$6.468.969	Costo directo fijo
Kit Protecciones On Grid 208VAC MPPT 80A	\$1.000.000	1	\$1.000.000	Costo directo fijo
Conector Retie MC4	\$7.599	8	\$60.792	Costo directo fijo
Vatímetro Smart Meter SDM630 Modbus V3 100A EASTRON	\$948.434	1	\$948.434	Costo directo fijo
Monitorización Growatt Shine Wifi-X	\$200.135	1	\$200.135	Costo directo fijo
Cable Unifilar 6 mm ² SOLAR PV 1,5kV Rojo	\$7.793	60	\$467.580	Costo directo fijo
Cable Unifilar 6 mm ² SOLAR PV 1,5kV Negro	\$7.793	60	\$467.580	Costo directo fijo
Cable AWG 8 Verde	\$8.211	23	\$188.853	Costo directo fijo
Diseño, instalación y puesta en operación	\$5.000.000	1	\$5.000.000	Costo indirecto fijo
Total de costos			\$44.174.235	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los cálculos detallados del costo del kilovatio con base al costo del sistema fotovoltaico diseñado:

- Costo anual: $\frac{\$44.174.235}{15 \text{ años}} = \$ 2.944.949$ COP por año.
- Costo mensual: $\frac{\$2.944.949}{12 \text{ Meses}} = \245.412 COP por mes.
- Costo diario: $\frac{\$2.944.949}{365 \text{ días}} = \8.071 COP por día.
- Costo por kWh en invierno: $\frac{\$8.071}{72 \text{ kWh}} \approx \$112,93$ COP por kWh.
- Costo por kWh en verano: $\frac{\$8.071}{168 \text{ kWh}} \approx \$48,04$ COP por kWh.

El costo estimado del sistema solar es de aproximadamente \$44.174.235COP, diseñado para cubrir un consumo promedio mensual de 5.040 kWh, considerando que el mes tiene 30 días. Según el análisis de Salamanca-Ávila (2017), este tipo de sistemas fotovoltaicos están diseñados para maximizar la autogeneración energética en diversas condiciones climáticas y geográficas. Con base en el valor del kilovatio hora en la región Caribe, que es de \$943 COP, el costo mensual al operador por el consumo de energía sería de \$4.754.720 COP. En contraste, mediante la autogeneración de energía solar, el costo

mensual se reduce significativamente a \$ 242.121,6, lo que representa un ahorro del 94,9% en comparación con el monto pagado a la empresa proveedora del servicio. No obstante, este ahorro requiere una inversión inicial considerable en infraestructura. Carreón Sosa y Bonilla Vargas (2022) destacan que las energías renovables, como la solar, generan un impacto positivo a largo plazo en el crecimiento económico y la autosuficiencia energética. La recuperación de esta inversión se proyecta de la siguiente forma: al dividir el costo total de la instalación (\$44.174.235COP) entre el costo mensual actual por el consumo energético (\$4.754.720 COP), se obtiene un periodo de recuperación aproximado de 9.29 meses.

Dado que los paneles solares tienen una vida útil estimada de 15 años, el propietario podrá disfrutar, después del periodo de recuperación de la inversión, de 170,7 meses (aproximadamente 14 años) de suministro energético prácticamente sin costo adicional. Como indica Suárez Andrade (2015), este tipo de sistemas no solo reduce los costos energéticos, sino que también fomenta una transición hacia fuentes renovables, lo que representa un beneficio para el usuario y el medio ambiente.

Costos de Mantenimiento Anual del Sistema Fotovoltaico

A continuación, se presentan los costos de mantenimiento preventivo de este tipo de sistemas:

Tabla 6. Costos de Mantenimiento del Sistema Fotovoltaico

Descripción	Frecuencia	Costo Unitario (COP)	Cantidad	Costo Total Anual (COP)
Limpieza de paneles solares	Cada 6 meses	\$200.000	2	\$400,000
Inspección y mantenimiento preventivo	Anual	\$500.000	1	\$500,000
Reemplazo de conexiones MC4	Cada 3 años	\$8.000	8	\$21.333 (prorrateado anual)
Revisión del inversor	Cada 5 años	\$1.200.000	1	\$240.000 (prorrateado anual)
Total de costos de mantenimiento anual				\$1.161.333 COP

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos corresponden al mantenimiento preventivo, el cual se realiza para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema y preservar la vida útil de la infraestructura.

Una de las ventajas de este tipo de sistemas es que, una vez instalados, el mantenimiento preventivo se basa en rutinas poco complejas. Es importante aclarar que el reemplazo de conexiones MC4 es una actividad proyectada solo en caso de daños físicos, es decir, se realizan cambios por condición y no por rutina.

Desde el punto de vista económico, los costos de mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos son bajos en comparación con los generadores diésel, que requieren cambios de aceite y filtros de aire/aceite con diferentes periodicidades, según las especificaciones del fabricante del equipo electrógeno.

El mantenimiento de los generadores diésel suele ser más costoso, ya que requiere insumos de alto precio y personal técnico calificado, cuyo valor por hora laboral es elevado. Además, las plantas de generación diésel utilizadas actualmente en la finca Montañita representan un costo significativamente mayor en mantenimiento preventivo en comparación con los sistemas fotovoltaicos, lo que convierte a estos últimos en una opción más eficiente en términos de recursos económicos.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación reflejan una alta viabilidad técnica y económica en la implementación de sistemas fotovoltaicos en comunidades rurales. Al contrastarlos con el marco teórico desarrollado, es evidente que la energía solar fotovoltaica representa una alternativa de autogeneración efectiva para mitigar los altos costos de la electricidad convencional en zonas del país como el caribe colombiano.

El análisis económico demuestra que el costo del kilovatio hora generado por el sistema fotovoltaico diseñado es competitivo respecto al valor de la energía convencional, especialmente en temporadas con mayor incidencia solar. Esto valida la afirmación de Betancur Muñoz (2021), quien sostiene que, en regiones con alta radiación solar, los sistemas fotovoltaicos pueden generar ahorros significativos para los usuarios. En este estudio, se determinó que la inversión inicial de \$44.174.235 COP puede ser recuperada en aproximadamente 9.29 meses, evidenciando un alto nivel de rentabilidad. Este resultado está en línea con Carreón Sosa y Bonilla Vargas (2022), quienes destacan el impacto positivo de las energías renovables en el crecimiento económico y la autosuficiencia energética.

En términos de eficiencia energética, el sistema propuesto fue diseñado para garantizar el abastecimiento continuo, ajustándose a la demanda específica de la finca Montañita. Los cálculos de consumo diario muestran que los equipos de bombeo representan el mayor requerimiento energético, lo que refuerza la importancia de optimizar los procesos

productivos para maximizar el aprovechamiento de la generación solar (Cotelo et al., 2022). Además, la organización de los sistemas de almacenamiento y el diseño de la configuración de los paneles solares aseguran la operatividad del proyecto en distintas condiciones climáticas, cumpliendo con las recomendaciones de Pérez Álvarez (2019) sobre el correcto dimensionamiento energético.

Otro aspecto relevante es el bajo costo de mantenimiento anual, estimado en \$1.161.333 COP, lo que contrasta significativamente con los costos de operación de generadores diésel convencionales. Según Suárez Andrade (2015), la reducción en mantenimiento y el impacto ambiental de la energía solar la convierten en una opción más sostenible en el largo plazo.

En conclusión, los resultados de esta investigación confirman que la implementación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales de Colombia es una alternativa viable desde los puntos de vista técnico, económico y ambiental. Además de ofrecer beneficios económicos sustanciales, contribuye al desarrollo social y productivo de comunidades con infraestructura eléctrica convencional. Se recomienda fomentar políticas públicas que promuevan la integración de tecnologías solares en el campo y mejorar los programas de financiamiento para facilitar el acceso a estas soluciones energéticas.

Conclusiones

La presente investigación ha demostrado que la implementación de sistemas fotovoltaicos en comunidades rurales es una alternativa viable para suplir la demanda energética de zonas donde los costos de energía suministrado por el sistema eléctrico convencional son altos. A través del análisis técnico y económico desarrollado, se comprobó que estos sistemas pueden generar energía eficiente y sostenible, reduciendo la dependencia de fuentes fósiles y los costos asociados al consumo energético. La viabilidad del sistema propuesto se sustenta en la alta radiación solar presente en la región Caribe, lo que permite una producción energética óptima, especialmente en temporadas de mayor incidencia solar.

Los resultados obtenidos reflejan un cumplimiento satisfactorio de los objetivos propuestos. En relación con el objetivo de evaluar la opción de energía solar

fotovoltaica más adecuada para cubrir las demandas energéticas de la finca, se logró determinar dicha demanda mediante un análisis detallado del consumo de los principales equipos eléctricos. En cuanto al objetivo de diseñar el sistema de paneles solares que garantice el cumplimiento de los requerimientos energéticos establecidos, se elaboró un bosquejo correspondiente a la configuración del sistema fotovoltaico, el cual satisface los criterios definidos al operar con una potencia de 20 kW. Respecto al objetivo de evaluar la viabilidad técnica y financiera de la solución propuesta, se efectuó un análisis de costos que permitió concluir que el proyecto resulta altamente viable a largo plazo, aunque su rentabilidad inicial puede ser limitada debido a la inversión elevada que requiere su implementación.

Desde el punto de vista económico, la inversión en el sistema fotovoltaico diseñado para la finca Montañita se recupera en aproximadamente 9.29 meses, lo que representa un periodo de retorno relativamente corto en comparación con otras fuentes de generación. Además, el costo del kilovatio hora producido es significativamente menor en verano, alcanzando valores competitivos respecto a la energía convencional. Este ahorro económico no solo beneficia al usuario final, sino que también promueve la autogeneración y la reducción de costos operativos en actividades agrícolas, facilitando un modelo de producción más eficiente y sostenible.

En términos de mantenimiento, los resultados evidenciaron que los sistemas fotovoltaicos requieren bajos costos de operación en comparación con generadores diésel convencionales. La simplicidad de las rutinas de mantenimiento, combinada con la durabilidad de los equipos fotovoltaicos, hace que esta alternativa energética sea altamente rentable en el largo plazo. Además, el impacto ambiental positivo de la energía solar se traduce en una disminución en la huella de carbono y una contribución directa a la mitigación del cambio climático, aspecto fundamental en la transición hacia fuentes de energía más limpias.

En conclusión, la energía solar fotovoltaica es una solución efectiva para la autogeneración en comunidades rurales, combinando beneficios económicos, ambientales y productivos. La investigación realizada confirma la relevancia de estos sistemas en el contexto colombiano y la necesidad de fortalecer políticas públicas que impulsen su integración. Se recomienda seguir investigando sobre estrategias de

optimización en el uso de la energía generada, así como sobre modelos de financiamiento accesibles para pequeños productores y familias rurales, contribuyendo así al desarrollo sostenible del país.

Referencias

- Almaktoof, A. (2020). Electrification of rural areas using photovoltaic systems: Stand alone systems. Recuperado de https://www.academia.edu/77714681/Electrification_of_Rural_Areas_Using_Photovoltaic_Systems_Stand_Alone_Systems
- Arenales, J. V. (2023, 2 de octubre). Los costos de la instalación de paneles solares como lo propone el presidente Petro. La República. Recuperado de <https://www.larepublica.co/economia/los-costos-de-la-instalacion-de-paneles-solares-3718571>
- Asociación de Empresas de Energías Renovables (appa). (s.f.). ¿Qué es la energía fotovoltaica? Recuperado de <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>
- AutoSolar. (2021). La energía solar en Colombia en 2021. Recuperado de <https://autosolar.co/energia-solar/la-energia-solar-en-colombia-en-2021?srsltid=AfmBOoo-k2XMihGSf2-UoAiU8dsSK8WgExuRL1Ru-mkO4P-4k5D99420>
- AutoSolar. (s.f.). ¿Es viable un sistema fotovoltaico aislado en Colombia? Recuperado de <https://autosolar.co/energia-solar/es-viable-un-sistema-fotovoltaico-aislado-en-colombia#:~:text=aislado%20en%20Colombia?-.%C2%BFes%20viable%20un%20sistema%20fotovoltaico%20aislado%20en%20Colombia?,energ%C3%A9ticas%20que%20se%20le%20pide.>
- Betancur Muñoz, J. E. (2021). Evaluación económica de tecnologías de generación solar fotovoltaica para el sector residencial y comercial. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81306/1036937976.2022.pdf?sequence=1>

- Blandón, A. (2023, mayo 5). ¿Por qué las tarifas de energía eléctrica son tan altas en el Caribe? Erco Energy. <https://erco.energy/co/blog/porque-las-altas-tarifas-de-energia-en-el-caribe>
- Brizuela, A. B. (2005). Energía no convencional -solar y eólica- para escuelas rurales en la provincia de Entre Ríos: (ed.). Concepción del Uruguay, Red Ciencia, Docencia y Tecnología. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaeaan/93792?page=4>
- Carreón Sosa, R., & Bonilla Vargas, D. (2022). Energías renovables, PIB, mercados financieros e investigación: la experiencia de América Latina. Revista Mexicana de Economía y Finanzas, 17(4). <https://doi.org/10.21919/remef.v17i4.791>
- Castaño-Gómez, M., & García-Rendón, J. J. (2020). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. Universidad EAFIT, Colombia. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/1552/155262601002/155262601002.pdf>
- Celsia. (2018, junio 21). Proyectos de energía solar que debes conocer en Colombia. Recuperado de <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/proyectos-de-energia-solar-que-debes-conocer-en-colombia/>
- Clean Energy Engineering. (2025, 6 de marzo). Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos: La Clave para su Eficiencia y Longevidad. Recuperado de <https://www.cleanenergying.com/mantenimiento-de-sistemas-fotovoltaicos-la-clave-para-su-eficiencia-y-longevidad/>
- Coteló, B., Risso, C., Alonso Suárez, R., & Vignolo, M. (2022). Optimización de diseño de plantas solares fotovoltaicas. Universidad de la República, Uruguay. Recuperado de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/37405>
- Díaz Castillo, L. T., & Urrea Velandia, Y. A. (2018). Viabilidad económica de la implementación de paneles fotovoltaicos como alternativa para la red de distribución eléctrica tradicional. Universidad Libre. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/19208/CD%20EGA%202018%200005.pdf>

- Dynamic Energy. (s. f.). Glosario fotovoltaico: Tipos de sistemas y componentes. Recuperado de <https://dynamicenergy.com.ar/noticias/glosario-fotovoltaico-tipos-de-sistemas-y-componentes/>
- e2 Energía Eficiente. (s. f.). Colombia es una potencia en el tema de energía solar. Recuperado de <https://e2energiaeficiente.com/blog/colombia-es-una-potencia-en-el-tema-de-energia-solar/>
- Enel Green Power. (s.f.). Energías renovables. Recuperado de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables>
- Greening-e. (s.f.). Topografía en las instalaciones fotovoltaicas. Recuperado de <https://greening-e.com/topografia-en-las-instalaciones-fotovoltaicas/>
- Gordon, D (2023, 14 de junio) El inesperado peligro medioambiental que pueden generar los paneles solares. BBC News Mundo. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-65815486>
- Iberdrola. (s. f.). Energía agrovoltaica, cuando la agricultura y las renovables se dan la mano. Recuperado de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestro-modelo-innovacion/energia-agrovoltaica>
- Iberdrola. (s.f.). Funcionamiento energía solar fotovoltaica. Recuperado de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>
- Khan Academy. (s.f.). Photoelectric effect. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/photoelectric-effect>
- Lecturas De Economía, (93), pp. 23–64
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/lecturasdeeconomia/article/view/338727>
- Ley 1715 de 2014. (2014). Promoción del desarrollo de las fuentes no convencionales de energía. Diario Oficial 49.150. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Márquez Bedoya, A., Álvarez-Tarapuez, E. D., Idárraga-Guarín, J. C., Muñoz-Muñoz, M. D., Martínez-Espinosa, Y., Tonguino-Ortiz, A. P., & Carvajal-Quintero, S. X. (2024). Electrificación Rural Sostenible a Partir de Potenciales Energéticos Locales – una Mirada a las Zonas No Interconectadas colombianas. Simposio Internacional sobre la Calidad de la Energía Eléctrica - SICEL.

- Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/SICEL/article/view/110044>
- Malaquias, R. F., Silva, A. F., Borges Junior, D. M., Barra Neto, A., & Albertin, A. L. (2023). The adoption of solar photovoltaic systems in rural areas of Brazil. *Estudios Rurales*, 13(27). Recuperado de https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/u949/albertoluizalbertin_theadoptionof_solar_0.pdf
 - Martínez, J. (2019, marzo 6). Barranquilla, con mayor potencial para sembrar plantas solares. Periódico UNAL. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://periodico.unal.edu.co/articulos/barranquilla-con-mayor-potencial-para-sembrar-plantas-solares>
 - Mendoza, J. C. Aristizábal Botero, E. y González Páez, W. R. (2022). Energías renovables: implementación de un sistema solar fotovoltaico en el Bioparque La Reserva de Cota: (1 ed.). Bogotá, Corporación Universitaria Minuto de Dios. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/231735>
 - Ministerio de Minas y Energía. (s.f.). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>
 - Palombi, A. (2025, junio 11). Las plantas solares del futuro: Cómo IoT revoluciona su rendimiento y mantenimiento. Univergy Solar. Recuperado de <https://univergysolar.com/plantas-solares-del-futuro/>
 - Pérez Álvarez, J. C. (2019). Guía para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados y aplicación de la resolución CREG 030 de 2018 para inyectar excedentes de energía a la red. Universidad de Antioquia. Recuperado de http://www.bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15377/1/PerezJuan_2019_GuiaDimensionamientoSistemas.pdf
 - Pérez Gelves, J. J. (2019). Energy Poverty in Colombia: Empirical Evidence from 2011 to 2016. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/45929/Doc_Maestro_Jave_21_10_2019.pdf?sequence=2

- Ponce Churta, J. C., & Yungan Gualacio, M. R. (2023). Implementación de electrificación rural mediante energía solar en zonas aisladas en la comunidad Masa 2, Isla del Golfo de Guayaquil. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26567/1/UPS-GT004870.pdf>
- Salamanca-Ávila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. Revista Científica, 30(3), 263-277. <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>
- Salazar Blanco, S. S. (2017). Análisis teórico-experimental de viabilidad técnica y económica de implementar seguidores solares fotovoltaicos. Recuperado de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/20521/2017_Articulo_Salazar_Blanco_Samuel_Said.pdf?sequence=1
- Suárez Andrade, J. C. (2015). La energía solar: una fuente energética sobre la que el Estado debe legislar más profundamente para masificar su uso y aprovechamiento. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/34507/SuarezAndradeJoseCarlos2015.pdf>
- Uwibambe, J. (2017). Design of photovoltaic system for rural electrification in Rwanda. Recuperado de https://www.academia.edu/77714681/Electrification_of_Rural_Areas_Using_Photovoltaic_Systems_Stand_Alone_Systems
- Villegas, S., & González, J. (2024). Guía integral para el diseño e implementación de sistemas solares fotovoltaicos. Recuperado de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/44865/1/VillegasSebastian_2024_GuiaSistemasSolares.pdf