



UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR AUTÓNOMO PARA
VIVIENDAS Y COLEGIOS EN ZONAS RURALES DEL MUNICIPIO DE UBALÁ,
CUNDINAMARCA**

AUTORES:

**CASTRO VARGAS AURA CRISTINA
LOPEZ MERCHAN BRAYAN ARLEY
BOLIVAR ZUBIETA BRAYAN NICOLAS
GUZMAN HERNANDEZ RODRIGO ALEJANDRO**

TUTORA:

ZAPATA RESTREPO LEIDY NATALIA

BOGOTÁ D.C.

OCTUBRE

2025

Tabla de contenido

1. Introducción	3
2. Resumen	4
3. Planteamiento de problema	5
4. Objetivos	6
4.1 Objetivo general	6
4.2 Objetivos específicos	6
5. Pregunta de investigación	7
6. Justificación	7
7. Marco teórico	9
7.1 Conceptualización general	9
7.2 Teoría y enfoque relevante	11
7.3 Antecedentes	12
7.4 Conceptos clave	13
7.5 Diseño técnico del sistema FV	14
7.6 Normativa y estándares de ingeniería aplicables	16
7.7 Variables e indicadores para evaluar resultados	17
8. Metodología	18
8.1 Enfoque de la investigación	18
8.2 Diseño metodológico	20
8.3 Población y muestra	21
8.4 Instrumentos	24
9. Resultados	26
10. Discusión	46
11. Conclusiones	49
12. Bibliografía y/o web gráfica	51

1. Introducción

A continuación, se presenta el desarrollo del proyecto grupal que tiene como objetivo identificar, analizar y dar solución a las deficiencias del suministro de servicio de energía eléctrica en algunas zonas del departamento de Cundinamarca, específicamente en las zonas rurales del municipio de Ubalá.

Inicialmente se genera un diagnóstico de la situación actual de la zona seleccionada en donde se propone la implementación de un sistema fotovoltaico autónomo que permita mejorar el suministro de energía eléctrica; a continuación, se procede con la investigación y estudio de necesidades tomando como fuente principal la comunidad implicada mediante la implementación de encuestas y finalmente a partir del análisis de los resultados, fuentes bibliográficas relacionadas y experiencias de éxito de otras zonas se genera una propuesta que permita dar solución a las deficiencias e inconvenientes sociales, culturales, económicos, entre otros que genera la deficiencia energética en las zonas rurales apartadas.

2. Resumen

La presente actividad desarrolla un proyecto de integración orientado al diseño y evaluación de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica en veredas rurales del municipio de Ubalá. En primer lugar, se realizó un diagnóstico de la situación energética mediante la revisión de información secundaria y la identificación de las necesidades de consumo en viviendas y espacios educativos, lo que permitió establecer una demanda objetivo de 8 kWh diarios y evidenciar las limitaciones de acceso a la red convencional en las zonas priorizadas.

A partir de este diagnóstico se definió y dimensionó un sistema fotovoltaico de 3 kWp, conformado por seis módulos de 500 Wp, un banco de baterías de litio de 8 kWh útiles, inversor de 3 kW, controlador de carga y protecciones asociadas, garantizando una autonomía mínima de un día y el cumplimiento de los criterios de seguridad y normatividad eléctrica. Sobre esta base se elaboró el presupuesto del sistema y se aplicó un análisis económico que incluyó el cálculo del costo nivelado de la energía, el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación de la inversión, considerando distintos escenarios de costo de la energía convencional y variaciones en los parámetros de inversión, operación y vida útil.

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para identificar las variables que más inciden en la viabilidad del proyecto y se caracterizaron los principales riesgos técnicos, económicos y operativos, proponiendo medidas de mitigación relacionadas con la gestión de costos, la validación del perfil de consumo, el mantenimiento preventivo y la planificación de la implementación. Los resultados obtenidos permiten concluir que el sistema propuesto es técnica y económicamente viable en el contexto estudiado y se

configura como una alternativa favorable frente a soluciones basadas en combustibles fósiles o extensiones de red de alto costo, aportando a la mejora de las condiciones de vida y al acceso sostenible a la energía en las comunidades rurales de Ubalá.

3. Planteamiento de problema

En zonas rurales del municipio de Ubalá, Cundinamarca, se denota una gran deficiencia en el acceso servicios públicos primarios, entre ellos la energía eléctrica. Según el DANE (2018), al rededor del 81,61 % de las familias establecidas en zonas rurales cuentan con servicio de electricidad, como tal se puede inferir que cerca de un 18,39 % de las familias viven sin este servicio, se habla de aproximadamente 1.722 hogares.

Así las cosas, la ausencia de servicios primarios limita el acceso a bienes y disminuye la calidad de vida, afectando actividades básicas el estudio nocturno, refrigeración de alimentos y medicamentos, y el uso de herramientas tecnológicas para la educación y la producción. La falta de electricidad es un factor que incrementa las desigualdades socioeconómicas en las comunidades y reduce las oportunidades de desarrollo local.

El problema general es la deficiencia en el acceso a energía eléctrica confiable en las zonas rurales de Ubalá, lo que impide el pleno desarrollo de actividades esenciales como la educación, la producción agrícola, la conservación de alimentos y medicamentos, y el acceso a servicios básicos. Entre las causas principales se encuentran la deficiencia de infraestructura adecuada, una red de distribución ineficiente, los altos

costos del servicio, las condiciones geográficas de difícil acceso y el alto costo del suministro del servicio en áreas de difícil acceso.

Las consecuencias de esta situación, como ya se mencionó, son múltiples: limitaciones para el estudio nocturno y el uso de tecnología educativa; dificultades para la refrigeración de alimentos y medicamentos; disminución de la productividad agrícola; dependencia de combustibles fósiles contaminantes y costosos; y profundización de la desigualdad social y económica.

La ausencia de electricidad no solo restringe las oportunidades de desarrollo local, sino que mantiene las condiciones de vulnerabilidad en las comunidades rurales, lo cual afecta de manera directa su calidad de vida y su proyección a futuro.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema fotovoltaico adaptado a las condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas de las veredas seleccionadas, cumpliendo con los requerimientos técnicos y normativos.

4.2 Objetivos específicos

Diagnosticar las necesidades energéticas y cuantificar el nivel actual de acceso a electricidad en las comunidades rurales de Ubalá, identificando número de usuarios, consumo promedio y usos principales.

Evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema propuesto, incluyendo costos de instalación, operación y mantenimiento, así como el ahorro estimado frente a fuentes convencionales

Planificar el desarrollo del proyecto mediante la elaboración de un cronograma y la definición de los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios.

5. Pregunta de investigación

¿Cuál es la factibilidad de diseñar un sistema de energía solar fotovoltaica para las comunidades rurales no interconectadas del municipio de Ubalá, Cundinamarca?

6. Justificación

En las zonas rurales de Ubalá persisten brechas de acceso a la electricidad que limitan la conservación de alimentos y medicamentos y el uso de tecnologías para educación y producción, se estima que una fracción relevante de los hogares no cuenta con servicio eléctrico confiable, lo que se traduce en menor calidad de vida y oportunidades de desarrollo local. Frente a este problema, la energía solar fotovoltaica (FV) surge como alternativa técnica y económicamente viable para proveer energía continua, limpia y modular a viviendas y colegios de veredas de difícil acceso.

Pertinencia social y educativa. La disponibilidad de electricidad estable en hogares y centros educativos incrementa el tiempo efectivo de estudio, permite el uso de TIC y refuerza procesos pedagógicos en horarios extendidos, por otro lado, para las familias, habilita refrigeración segura de alimentos y medicamentos y el uso de cargas productivas (herramientas, iluminación), contribuyendo a reducir desigualdades en comunidades rurales.

Pertinencia económica. Un sistema FV bien dimensionado reduce la dependencia de combustibles fósiles (plantas diésel) y de extensiones de red costosas en terrenos de difícil acceso, disminuyendo el costo nivelado de la energía en el mediano plazo y estabilizando el gasto energético familiar y escolar.

Pertinencia ambiental. La sustitución de generación fósil por FV evita emisiones locales (ruido, material particulado) y globales (GEI), y elimina riesgos de manejo y transporte de combustibles en veredas.

Viabilidad técnica y normativa. La tecnología FV es madura, escalable y compatible con esquemas autónomos (off-grid) con almacenamiento, es por esto que el proyecto se diseñará y montará bajo normas de seguridad eléctrica (RETIE/NTC 2050, IEC 60364-7-712, IEC 61215, IEC 61730, IEC 62109, IEC 62446), mitigando riesgos y asegurando calidad.

Contribución académica y de política pública. El estudio documentará el impacto energético, social y ambiental de soluciones FV autónomas en contextos rurales de regiones andinas, entregando evidencia que puede ser replicable para futuras intervenciones municipales y escolares que podrá utilizarse como base para futuras investigaciones.

Alineación con la rúbrica. La propuesta incorpora análisis integrado ambiental, económico, social, ético y de seguridad y salud en el trabajo, y organiza los contenidos con lógica y coherencia para cumplir los objetivos investigativos establecidos por la universidad EAN.

7. Marco teórico

7.1 Conceptualización general

Energía solar fotovoltaica: El proceso de conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico se conoce como energía solar fotovoltaica FV, este fenómeno fue descubierto por Becquerel en 1839, y según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2023), la tecnología fotovoltaica es en la actualidad una de las principales fuentes renovables en expansión a nivel global, con un crecimiento promedio anual superior al 25 % en la última década, en cuanto al sistema fotovoltaico autónomo (off-grid), este se compone de módulos solares, controlador de carga, baterías de almacenamiento y un inversor, configurados para operar sin conexión a la red pública (Kalogirou, 2021), la esta independencia energética es esencial en comunidades rurales dispersas donde la extensión de redes eléctricas resulta económicamente inviable (López et al., 2022).

Además, la eficiencia y viabilidad de los sistemas fotovoltaicos dependen de variables como la irradiancia solar promedio, temperatura ambiente, inclinación de los paneles, y pérdidas por sombra o suciedad (Duffie & Beckman, 2020), en Colombia, la irradiancia promedio anual oscila entre 4 y 6 kWh/m²/día, lo cual favorece la adopción de soluciones fotovoltaicas en regiones andinas y tropicales (UPME, 2021).

Desarrollo sostenible y acceso a la energía: Dentro del objetivo de desarrollo sostenible (ODS 7), está enmarcado el acceso a energía eléctrica confiable y limpia, que busca garantizar energía asequible, segura y moderna para todos, el desarrollo humano se

ve limitado por falta de energía, además afecta la educación y el sector productivo, profundizando las desigualdades rurales (ONU, 2023).

En el contexto colombiano, el Plan Energético Nacional 2020-2050 promueve la inclusión de fuentes renovables no convencionales como la solar y eólica, especialmente para zonas no interconectadas, que representan cerca del 52 % del territorio nacional y donde habita aproximadamente el 4 % de la población (UPME, 2020).

Potencial solar de Colombia: Según Arregocés et al. (2024), Colombia tiene uno de los más altos potenciales de irradiancia solar en el continente, con cifras que varían entre 3.5 y 6.5 kWh/m²/día, dependiendo de la zona geográfica, la distribución de este recurso presenta una notable variabilidad territorial: las áreas del Caribe y Orinoquía tienen los niveles más altos de radiación, mientras que la región andina en la que se encuentra Ubalá, Cundinamarca cuenta con promedios intermedios pero con gran estabilidad a lo largo del año, es por ello que gracias a esta estabilidad, el altiplano cundiboyacense se vuelve un ambiente propicio para la implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos rurales, ya que disminuye la intermitencia estacional y simplifica la calibración técnica de los arreglos solares.

Políticas nacionales de electrificación rural: En Colombia, el FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas) ha sido la principal estrategia de política pública para promover la electrificación rural y según Pérez Gelves et al. (2020), este fondo tiene como objetivo financiar soluciones energéticas que sean sostenibles para comunidades remotas, fomentando tecnologías limpias, en particular la micro hidráulica y la solar fotovoltaica, no obstante, los autores indican que la realización de los proyectos ha tenido dificultades técnicas e

institucionales, como el mantenimiento escaso después de la instalación, la formación restringida a nivel comunitario y las restricciones en cuanto a la administración de recursos locales.

Relevancia territorial: La revisión de documentos técnicos del municipio de Ubalá (2023) y de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2022) indica que todavía hay veredas en el municipio sin acceso ininterrumpido a la electricidad, especialmente en las áreas de Mortiñal, Santa Rosa y San Pedro, desde el año 2021, se han puesto en marcha algunos proyectos piloto de energía solar en los hogares y las instituciones educativas con la ayuda del Plan Departamental de Energías Renovables de Cundinamarca; sin embargo, su alcance ha sido restringido.

7.2 Teoría y enfoque relevante

Teoría de la transición energética: Cuando las sociedades migran de sistemas basados en combustibles fósiles hacia sistemas renovables, incluyendo aspectos tecnológicos, institucionales, económicos y sociopolíticos se considera un proceso de transición energética, en ese sentido, el estudio sobre sistemas autónomos en zonas rurales puede enmarcarse como un caso micro de transición energética (Renewable energy systems in supporting climate..., 2023).

Además, La equidad en el acceso, la distribución de beneficios y cargas, y la participación en decisiones energéticas en contextos rurales marginados, es considerada justicia social, así que la implementación de sistemas FV debe atender no solo la eficiencia técnica sino también la equidad (quién accede, quién financia, quién

mantiene), existen muchos proyectos que fallan cuando solo se piensa en la parte técnica y se descuidan los componentes de gobernanza local o capacidad comunitaria.

7.3 Antecedentes

En África, se han aplicado eficazmente Solar Home Systems (SHS) en zonas rurales (Kizilcec & Parikh, 2020) para cuantificar efectos en bienestar, barreras institucionales, modelos de pago “pay-as-you-go” y viabilidad tecnológica.

En investigaciones recientes, estudios sobre diseño combinado con optimización han avanzado un ejemplo claro es un estudio de 2025 que integró un algoritmo Particle Swarm Optimization para dimensionar sistemas off-grid bajo incertidumbre de demanda (Off-grid PV systems modelling and optimization... 2025)

El estudio “A Comprehensive Evaluation of Off-Grid Photovoltaic Experiences in Non-Interconnected Zones of Colombia” (Eras-Almeida et al., 2023), analiza casos de electrificación rural con fotovoltaica en zonas aisladas de Colombia y evalúa su sostenibilidad desde múltiples dimensiones.

Pérez Gelves y Díaz Florez (2020) propusieron una metodología de selección de sitios para proyectos solares en áreas rurales de Colombia usando AHP, considerando criterios técnicos, económicos, sociales y de riesgo ambiental.

En Colombia también se han impulsado proyectos de electrificación rural con fortalecimiento institucional, como el programa de fortalecimiento a comunidades para desplegar soluciones de energía renovable (Scaling up rural electrification..., Reino Unido / GGGI)

Algunos proyectos reportan aprendizajes en implementación práctica. Por ejemplo, la experiencia híbrida solar-diesel en comunidades costeras colombianas (How Colombia Is Bringing Power to Off-Grid Communities, WRI) puede servir para entender la transición técnica e institucional.

En Colombia, los estudios de Sánchez et al. (2021) y Rodríguez & Gómez (2023) muestran que la aplicación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales del Caribe y la Amazonía ha permitido ampliar la cobertura energética con costos nivelados menores a los de plantas diésel.

Eras-Almeida et al. (2023) llevaron a cabo una valoración exhaustiva de proyectos fotovoltaicos autónomos que se aplicaron en áreas rurales de la región Andina y Pacífica; con ello, detectaron elementos clave para su sostenibilidad social y técnica, los resultados subrayan que los sistemas más exitosos son los que tienen la participación de la comunidad en el diseño, la instalación y el mantenimiento, lo cual fortalece la apropiación del sistema.

La investigación muestra que los proyectos que se desarrollan sin un componente de formación o con un diseño inapropiado para la demanda real tienden a tener fallas tempranas o ser abandonados, por esta razón, es recomendable incluir modelos de gestión comunitaria y mantenimiento local, además de diagnósticos energéticos preliminares que adapten la capacidad instalada al patrón de consumo rural.

7.4 Conceptos clave

Acceso a energía y pobreza energética: disponibilidad, asequibilidad, calidad y seguridad del suministro en hogares y escuelas rurales.

Sistema fotovoltaico (FV) autónomo: conjunto de módulos FV, controlador de carga, baterías, inversor, protecciones DC/AC, estructura y cableado, diseñado para operar sin conexión a red.

Perfil de carga: potencia y energía diaria de las cargas (iluminación, TIC, refrigeración, equipos pedagógicos).

Autonomía: número de días que el banco de baterías cubre la demanda sin generación solar.

Indicadores de desempeño: energía diaria suministrada (kWh/d), disponibilidad (%), confiabilidad básica (horas con servicio), costo por kWh útil, satisfacción del usuario y CO₂ evitado.

7.5 Diseño técnico del sistema FV

Para asegurar el balance entre la generación, el almacenamiento y el consumo, es necesario un dimensionamiento en el diseño técnico de un sistema FV autónomo, de acuerdo con Duffie & Beckman (2020), el procedimiento comprende la estimación de la autonomía, el análisis de carga diaria, la determinación de las baterías y el cálculo de potencia pico.

Los parámetros para la instalación, operación y seguridad de sistemas fotovoltaicos en Colombia están bajo la regulación del RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas; 2022) y las normas NTC 2050 e IEC 61730; así se garantiza una buena calidad y una reducción de los peligros eléctricos.

Además, el diseño debe tener en cuenta la posibilidad de mantenimiento, las condiciones económicas y sociales de los beneficiarios y la disponibilidad de repuestos locales (García et al., 2021).

Etapas técnicas del diseño de un sistema FV: Según Kalogirou (2021) y Duffie & Beckman (2020), el proceso de diseño de un sistema FV autónomo sigue una secuencia lógica teniendo en cuenta el alcance del proyecto que comprende:

- ✓ Caracterización de la demanda energética
- ✓ Evaluación del recurso solar local
- ✓ Dimensionamiento de componentes
- ✓ Simulación del sistema.

Componentes de un sistema FV autónomo:

Tabla 1

Componentes principales de un sistema FV autónomo

Componente	Función técnica	Criterios de diseño
Módulos FV	Captan radiación solar y la transforman en energía eléctrica (DC).	Tipo (monocristalino, policristalino), potencia nominal, eficiencia (>18%), coeficiente térmico, inclinación óptima.
Controlador de carga	Regula la entrada de corriente a las baterías, evitando sobrecargas o descargas profundas.	Tipo PWM o MPPT, corriente nominal $\geq 1.25 \times$ corriente total de paneles.
Baterías	Almacenan energía para uso nocturno o en días nublados.	Tipo: plomo-ácido, gel o LiFePO ₄ . Capacidad = (Energía diaria \times días de

		autonomía) / ($V \times$ eficiencia \times DoD).
Inversor	Convierte la corriente continua (DC) a alterna (AC).	Potencia nominal \geq 1.25 \times carga máxima, forma de onda senoidal pura, eficiencia $>90\%$.
Estructura de soporte	Soporta y orienta los módulos solares.	Material anticorrosivo, inclinación = latitud $\pm 10^\circ$, orientación al norte geográfico.
Cables y protecciones	Garantizan seguridad y minimizan pérdidas.	Cumplir RETIE/NTC 2050. Sección de conductor = función de corriente y distancia.

Nota. DC- corriente continua, AC- corriente alterna, PWM- modulación por ancho de pulso, MPPT- seguidor de punto de máxima potencia, RETIE- reglamento técnico de instalaciones eléctricas, NTC 2050- código eléctrico colombiano.

Herramientas de simulación de sistemas FV:

- ✓ **PVsyst** Simulación energética completa del sistema FV.
- ✓ **Excel/Matlab/Python scripts** Cálculo manual o automatizado de balance energético y pérdidas.

7.6 Normativa y estándares de ingeniería aplicables

Incluye esta selección mínima obligatoria para diseño, montaje, pruebas y seguridad:

Colombia

RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) – requisitos de seguridad, conexión, protecciones y puesta a tierra.

NTC 2050 (Código Eléctrico Colombiano) – directrices de instalación, canalizaciones, conductores y protecciones.

Internacional (IEC)

IEC 60364-7-712: Requisitos de instalaciones eléctricas para sistemas FV.

IEC 61215: Calificación de diseño y homologación de módulos FV.

IEC 61730: Seguridad de módulos FV.

IEC 62109: Seguridad de convertidores de potencia para FV (inversores).

IEC 62446: Requisitos de pruebas, documentación y puesta en servicio de sistemas FV.

IEC 61724: Monitoreo del desempeño de sistemas FV.

En la memoria técnica, referencia la versión vigente de cada norma y evidencia su aplicación (cálculos, planos, listas de verificación y protocolos de prueba).

7.7 Variables e indicadores para evaluar resultados

Energía útil diaria por usuario (kWh/d).

Horas con servicio/día y cortes no planificados/mes.

Ahorro vs. gasto previo (diésel/velas/baterías desechables).

Uso educativo (horas-equipos, # de clases con TIC).

Satisfacción del usuario (escala Likert).

8. Metodología

8.1 Enfoque de la investigación

El trabajo se desarrolla con base en un enfoque mixto, ya que de acuerdo con Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), surge como una tercera ruta de la investigación científica que permite integrar las perspectivas cuantitativa y cualitativa, aprovechando las fortalezas de ambas para comprender y solucionar problemas complejos, los autores explican que los métodos mixtos “implican la recolección y el análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (denominadas metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio (Hernández Sampieri & Mendoza, 2018, p.10).

El componente cuantitativo estará centrado en medir variables objetivas como número de hogares afectados, consumos energéticos, costos asociados, ahorro proyectado y parámetros técnicos para diseñar un sistema fotovoltaico funcional, como afirman Hernández Sampieri y Mendoza (2018), “La ruta cuantitativa es apropiada cuando queremos estimar las magnitudes u ocurrencia de los fenómenos y probar hipótesis (p. 6). Para este trabajo, estos datos permitirán fundamentar con precisión el diseño técnico y la estimación de beneficios energéticos y económicos del sistema propuesto.

Por su parte, el componente cualitativo permitirá comprender significados, expectativas, y necesidades reales de las comunidades rurales, a través de encuestas validadas post efectuadas aplicando el alfa de Cronbach, permitiendo una observación directa y análisis del contexto cultural, según Hernández Sampieri y Mendoza (2018), “La ruta cualitativa resulta conveniente para comprender fenómenos desde la perspectiva de quienes los viven y cuando buscamos patrones y diferencias en estas experiencias y su significado” (Hernández Sampieri & Mendoza, 2018, p. 9). Este estudio es fundamental para que la solución técnica no solo sea eficiente, sino aceptada, utilizada y sostenida en el tiempo por los beneficiarios.

En cuanto a la temporalidad, el estudio es de tipo transversal, ya que la recolección de datos se realizará en un solo momento, describiendo tanto la situación inicial base como el efecto inmediato del MVP diseñado. Según Hernández Sampieri & Mendoza (2018), “Los diseños transeccionales o transversales recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único” (p. 176). Diseño que será ideal para evaluar de forma dinámica la viabilidad técnica, impacto social y necesidad económica de la propuesta, además se documentaran sus resultados como base para futuras investigaciones.

En resumen, el enfoque de la investigación será de tipo mixto, con temporalidad transversal, donde se probará una solución tecnológica sostenible en un contexto real, aportando evidencia académica para futuras decisiones alineadas con planes de expansión energética y estrategias de desarrollo rural con energías limpias.

8.2 Diseño metodológico

Estructura del diseño metodológico basada en Actividades de identificación, comparación y análisis que corresponden a las etapas fundamentales de los diseños mixtos Según Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018) se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo en Ubalá, Cundinamarca

Objetivos específicos	Actividades	Resultados esperados	Fecha	Instr.		Responsables
				SI	NO	
Diagnosticar las necesidades energéticas y cuantificar el nivel actual de acceso a electricidad en las comunidades rurales de Ubalá, identificando el número de usuarios, consumo promedio y usos principales.	<p>Identificar: toda la información y sobre el número de hogares, cuáles son los patrones de consumo y las limitaciones de acceso en fuentes de electricidad.</p> <p>Comparar: Contrastar los datos obtenidos con fuentes oficiales (DANE, estadísticas oficiales informes de (DANE, UPME, ministerio de minas y energía).</p> <p>Analizar: Determinar cuáles son las brechas energéticas y priorizar las zonas más críticas.</p>	<p>la 1. Cantidad de comunidades, hogares, usos y consumos energéticos. Mapeo de hogares y comunidades rurales no interconectadas en el municipio de Ubalá.</p> <p>2. Se corroboran cifras con fuentes oficiales (DANE, informes UPME), datos gubernamentales.</p> <p>3. Mapa claro de necesidades energéticas en zonas críticas del municipio, factibilidad técnica, estableciendo una línea base cuantitativa del estado energético para la selección de la zona.</p>	de 26-sep-25	X		- Nicolás Bolívar - Brayan López - Rodrigo Guzmán - Cristina Castro

<p>Evaluar la viabilidad técnica económica del sistema propuesto, incluyendo costos de instalación, operación y mantenimiento, así como el ahorro estimado frente a fuentes convencionales</p>	<p>Identificar: costos de instalación, operación, proyecto incluyendo costos y transporte y mantenimiento de capital y operativos del sistema fotovoltaico. CAPEX, OPEX y la vida útil del sistema. Comparar: costos y del sistema. 2. beneficios frente a contraste de escenarios con alternativas literatura técnica confiable de convencionales, (Diesel, (UPME, IEA). extensión de la red, etc.) 3. Relación costo/beneficio y Analizar: beneficio de e impacto del proyecto para retorno social y económico su justificación y viabilidad así como el esperados frente a la financiera (VPN, TIR) inversión.</p>	<p>17-oct-25 X - Nicolas Bolívar - - Brayan López - - Rodrigo Guzmán - - Cristina Castro</p>
<p>Planificar el desarrollo del proyecto mediante elaboración de un cronograma y definición de los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios.</p>	<p>Identificar: Recursos humanos, técnicos, las actividades financieras, fases y tareas (responsables, equipos, la específicas necesarias para recursos requeridos, hitos del proyecto. clave), (diagrama de Gantt). Comparar: contraste de 2. contraste con planes de cronograma y recursos implementación de recursos disponibles con proyectos FV documentados humanos, presupuesto y tiempo y respaldados por UPME y técnicos y proyectado para la FAO. 3. ejecución del proyecto. Plan operativo detallado con necesarios. Analizar: cronograma hitos claros y responsables ejecutable y sostenible, por cada fase para ejecución recursos humanos, técnicos del proyecto de manera y financieros requeridos eficiente. para cada fase.</p>	<p>31-oct-25 X - Nicolas Bolívar - - Brayan López - - Rodrigo Guzmán - - Cristina Castro</p>

Nota. DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. UPME - Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia. CAPEX - Capital Expenditure o Gasto de Capital. OPEX - Operating Expenses o Gastos Operativos. IEA - Agencia Internacional de Energía. VPN - Valor Presente Neto. TIR – Tasa Interna de Retorno. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FV – fotovoltaico.

8.3 Población y muestra

Método discreción del investigador con narración:

La población de interés está constituida por los habitantes de las veredas del municipio de Ubalá (Cundinamarca) que presentan deficiencias en acceso a energía eléctrica y que, por su condición, serían potenciales beneficiarios de sistemas fotovoltaicos autónomos.

Población objetivo: habitantes adultos responsables del hogar (jefes/as de hogar), líderes comunitarios, y usuarios institucionales (docentes) de veredas seleccionadas de Ubalá.

Justificación del muestreo: se busca información específica de actores que tengan conocimiento y experiencia directa con el problema energético local (consumo doméstico, prioridades de carga, uso educativo), y según (Hernández Sampieri et al., 2022), la elección intencional está avalada metodológicamente para estudios exploratorios y de diseño de intervenciones cuando se requiere seleccionar informantes clave con conocimiento pertinente.

Propuesta (5 veredas de Ubalá, Cundinamarca)

Teniendo en cuenta un criterio metodológico para la selección de las veredas basado en alta probabilidad de déficit energético, representatividad topográfica/funcional y factibilidad de acceso en caso de trabajo de campo futuro.

Tabla 3

Veredas seleccionadas para estudio Ubalá, Cundinamarca.

Vereda seleccionada	Motivo de selección	fuentes
--------------------------------	----------------------------	----------------

Santa Rosa	Núcleo poblacional rural referido en cartografía y reportes locales con actividad agrícola y dispersión.	Página municipal y material local; mapas y reseñas turísticas. Gobernación de Cundinamarca+1
San Pedro	Vereda con rutas documentadas (senderos/rutas) que evidencian existencia de población rural y acceso por vías terciarias y topografía montañosa relevante para diseño FV.	Rutas / Wikiloc y referencias locales. Wikiloc Rutas del Mundo
Campo Hermoso	Nombre aparece en listados de veredas históricas del municipio, típica vereda agropecuaria con dispersión de viviendas.	Listados de veredas / registros municipales / genealogía local. FamilySearch+1
Sagrado Corazón	Área mencionada en boletines de CORPOGUAVIO y planes locales con permisos y reuniones comunitarias, además, presencia de comunidades con gestión de recursos naturales.	CORPOGUAVIO boletín (menciona veredas Sagrado Corazón, San José, etc.). corpoguavio.gov.co
Algodones	Vereda listada en divisiones político-administrativas y en archivos municipales, representa tipologías de vereda con baja densidad poblacional.	Documentos de división política y archivo municipal. Facebook+1

Nota. Selección por muestreo discrecional.

Tamaño de la muestra:

Muestra: 15 informantes (muestreo discrecional).

Distribución por vereda y roles sugeridos: 3 personas por vereda.

- ✓ Persona 1. Jefe de hogar (persona responsable del gasto y uso energético).

- ✓ Persona 2. Docente o representante de alguna institución educativa (si existe), (para captar demanda institucional, iluminación, TIC).
- ✓ Persona 3. Líder comunitario, (micro emprendedor, agricultor), (para perspectiva sobre usos productivos).

Estos perfiles entregan los insumos necesarios para definir perfiles de carga y priorización de cargas críticas, adecuada para fines exploratorios, generación de perfiles de consumo informados y entrevistas cualitativas, no pretende estimar parámetros poblacionales con representatividad estadística, la selección intencional permite recopilar la información práctica necesaria para dimensionar y simular sistemas, que es el objetivo del proyecto.

Criterios de inclusión y exclusión:

Inclusión: ser residente de la vereda seleccionada y mayor de 18 años, además de disponibilidad para responder encuesta y consentimiento informado.

Exclusión: visitantes temporales (no residentes), y/o personas que no acepten participar o sin información viable de uso energético.

Consideraciones éticas:

Solicitar consentimiento informado para encuestas, además, Garantizar anonimato y confidencialidad para cumplir con normas éticas de investigación.

8.4 Instrumentos

Tabla 4

Instrumentos para el desarrollo del proyecto.

Objetivos específicos	Tipo de investigación	Técnica	Instrumentos	Validación previa	Narración Científica previa
Diagnosticar las necesidades energéticas y cuantificar el nivel actual de acceso a electricidad en las comunidades rurales de Ubalá, identificando número de usuarios, consumo promedio y usos principales.	las Mixta (cuantitativa y cualitativa)	Encuestas, y revisión documental (análisis de contenido), observación sistemática y no sistemática.	Cuestionario (escala Likert), bases de datos de oficiales (DANE, UPME), computadoras, y GPS, diarios.	Validación post cuestionario (alfa de Cronbach).	Estudios sobre brechas de acceso energético en zonas rurales. DANE, UPME, Banco mundial. https://www.dane.gov.co/ https://www.upme.gov.co/ https://www.bancomundial.org/ext/es/home
Evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema propuesto, incluyendo costos de instalación, operación y mantenimiento, así como el ahorro estimado frente a fuentes convencionales	la Cuantitativa	Análisis de costo-beneficio, técnicas proyectivas (proyecciones financieras), análisis de documentos.	Software o hojas de cálculo, bases de datos sistemas FV, entrevistas con proveedores, computadoras.		Estudio y comparación de supuestos financieros con literatura oficial, UPME. Estudios banco Mundial sobre implementación completa de sistemas FV. https://www.upme.gov.co/ https://www.bancomundial.org/ext/es/home
Planificar el desarrollo del proyecto mediante la elaboración de un cronograma y la definición de los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios.	el Mixta (cuantitativa y cualitativa)	Análisis de proyectos, inventarios, observación no sistemática, análisis de documentos, grupos de discusión.	Diagramas de Gantt, (MS project), fichas de planeación, diarios, computadoras, hojas de cálculo.	No necesariamente, pero si puede validarse previamente por expertos.	Casos de estudio de proyectos rurales FV, estudios planeación de proyectos. UPME https://www.upme.gov.co/ Literatura: ¿Qué Es un Diagrama de Gantt? https://www.ganttproject.biz/

Nota. DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. UPME - Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia. GPS – sistema de posicionamiento globalFV – Fotovoltaico.

9. Resultados

Encuesta

A continuación, se presenta la encuesta aplicada a 16 personas de las veredas santa rosa, san pedro, campo hermoso, sagrado corazón y algodones del municipio de Ubalá, Cundinamarca durante los meses de octubre y noviembre de 2025

Link de encuesta:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfKe1YKVi0TLQNlmGB7UCjGQ2ACyjU3qgoCczCaJxTIPL0ifw/viewform?usp=dialog>

1. Número de personas que viven en su hogar

2. Ocupación principal

Agricultura/Ganadería

Comercio

Empleado (a)

Estudiante

Desempleado (a)

Otros:

3. Ingreso mensual aproximado del hogar

Menos de \$ 500.000

Entre \$ 500.000 y \$ 1.000.000

Entre \$ 1.000.000 y \$ 2.000.000

Más de \$ 2.000.000

4. ¿Cuenta actualmente con servicio de energía eléctrica en su hogar?

Sí

No

5. ¿Con qué frecuencia se presentan cortes de energía?

Nunca

Ocasionalmente

Frecuentemente

6. ¿Cuál es la principal fuente de energía que utiliza?

Red eléctrica

Planta eléctrica

Velas o lámparas de kerosene

Otros:

7. ¿Conoce qué es un sistema de energía solar o paneles solares?

Sí

No

8. ¿Ha visto algún sistema de energía solar funcionando en su comunidad?

Sí

No

9. ¿Considera que la energía solar puede ser una buena alternativa para su hogar?

Sí

No

No sabe / No responde

10. ¿Qué beneficio le parece más importante de la energía solar?

Ahorro económico

Energía limpia y sostenible

Menor dependencia del servicio eléctrico

Otros:

11. ¿Qué dificultad cree que podría existir para implementarla?

Costo inicial alto

Falta de información

Mantenimiento

Desconfianza en la tecnología

12. ¿Estaría dispuesto(a) a invertir en un sistema solar para su vivienda?

Sí

No

Tal vez

13. ¿Cuánto estaría dispuesto(a) a invertir en un sistema solar básico?

Menos de \$1.000.000

Entre \$1.000.000 y \$3.000.000

Más de \$3.000.000

14. ¿Le gustaría recibir información o capacitación sobre el uso de energía solar?

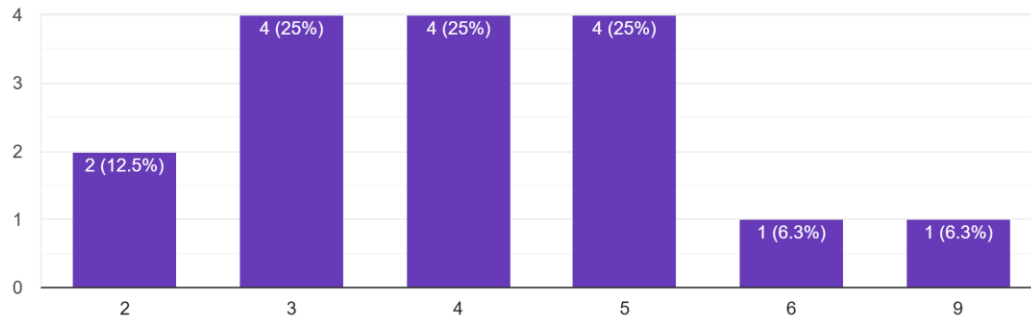
Sí

No

Resultados

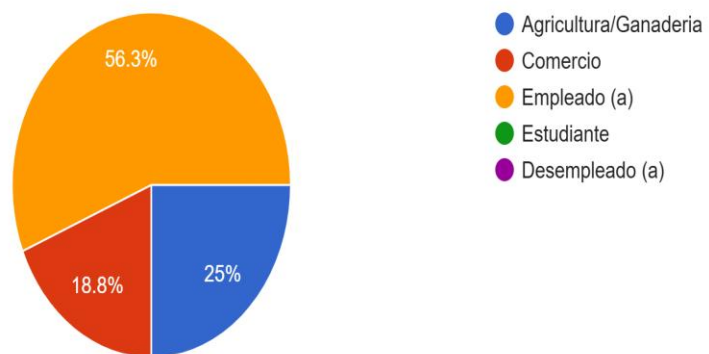
Número de personas que viven en su hogar

16 respuestas



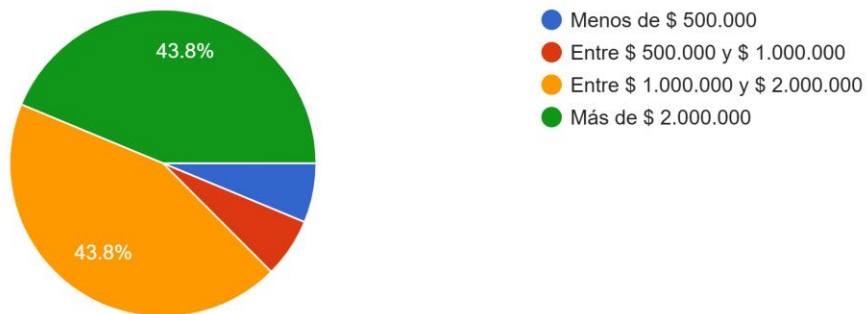
Ocupación principal

16 respuestas



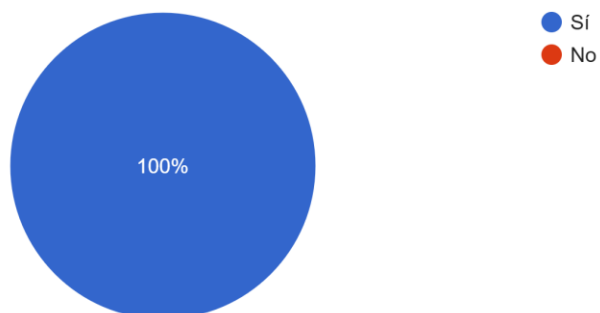
Ingreso mensual aproximado del hogar

16 respuestas



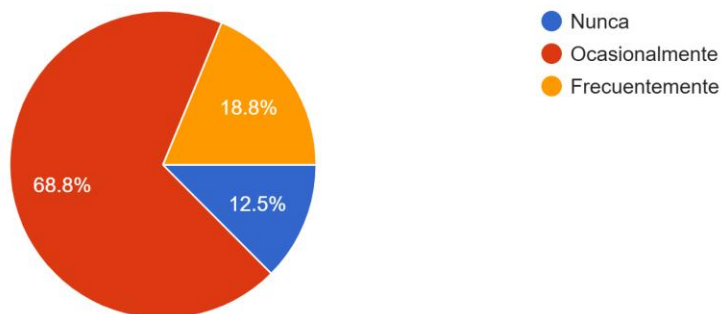
¿Cuenta actualmente con servicio de energía eléctrica en su hogar?

16 respuestas



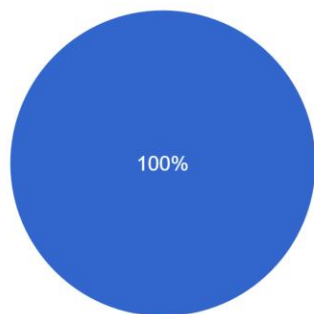
¿Con qué frecuencia se presentan cortes de energía?

16 respuestas



¿Cuál es la principal fuente de energía que utiliza?

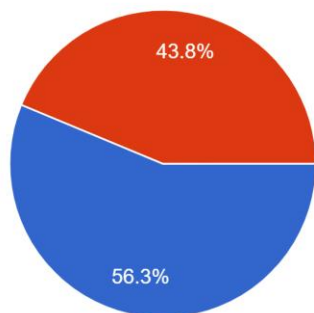
16 respuestas



- Red eléctrica
- Planta eléctrica
- Velas o lámparas de kerosene

¿Conoce qué es un sistema de energía solar o paneles solares?

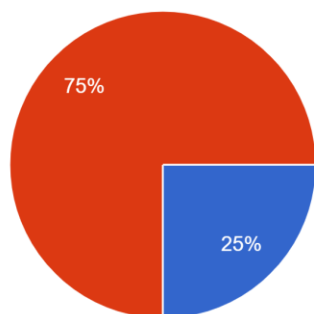
16 respuestas



- Sí
- No

¿Ha visto algún sistema de energía solar funcionando en su comunidad?

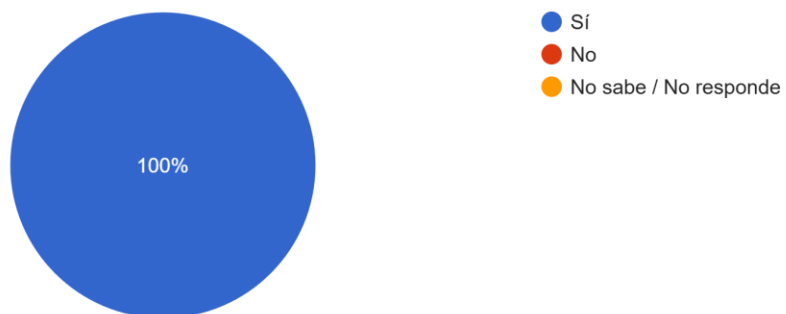
16 respuestas



- Sí
- No

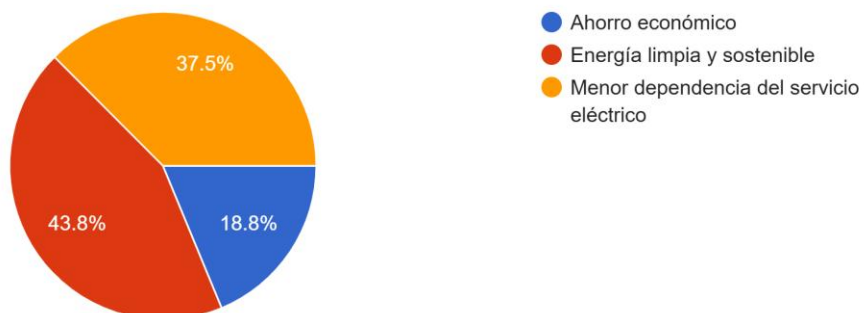
¿Considera que la energía solar puede ser una buena alternativa para su hogar?

16 respuestas



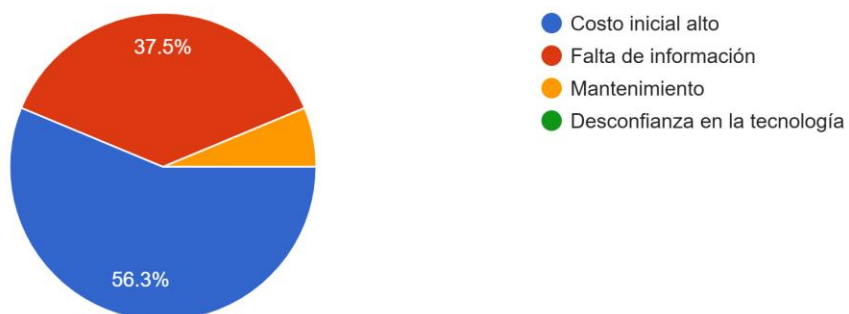
¿Qué beneficio le parece más importante de la energía solar?

16 respuestas



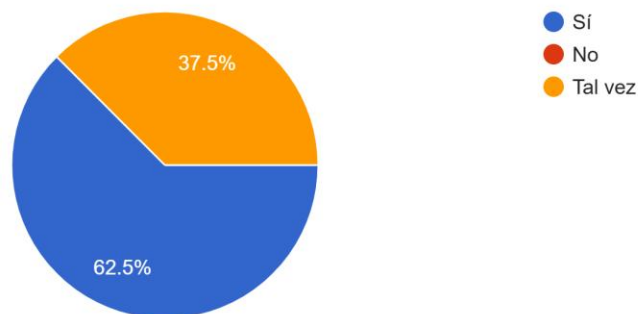
¿Qué dificultad cree que podría existir para implementarla?

16 respuestas



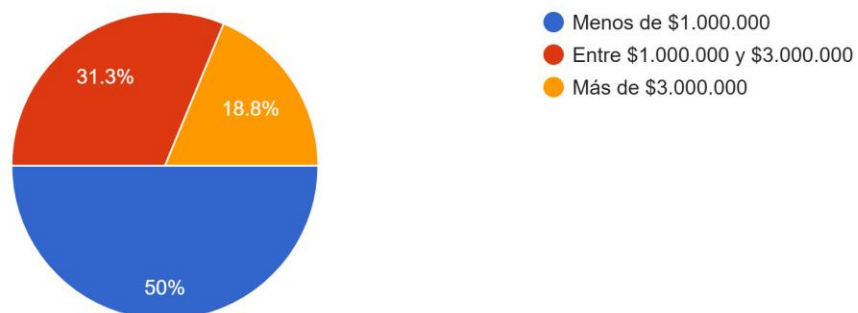
¿Estaría dispuesto(a) a invertir en un sistema solar para su vivienda?

16 respuestas



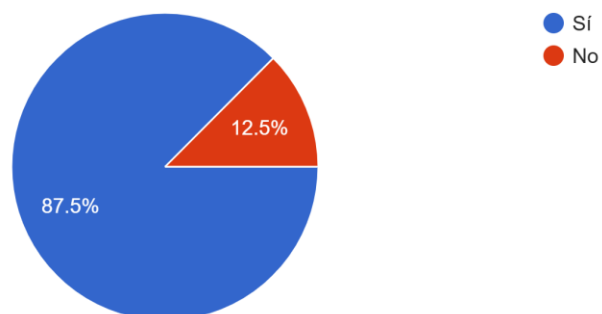
¿Cuánto estaría dispuesto(a) a invertir en un sistema solar básico?

16 respuestas



¿Le gustaría recibir información o capacitación sobre el uso de energía solar?

16 respuestas



Análisis de resultados

Se aplica una encuesta que consta de 14 preguntas a una muestra de 16 hogares rurales del municipio Ubalá para conocer la percepción frente a la implementación de un sistema solar fotovoltaico en sus propiedades. Los resultados permiten acceder a información como la composición de los hogares, condiciones de acceso a electricidad, principales fuentes de energía utilizadas y el nivel de aceptación de tecnologías solares.

Inicialmente, se encontró que la mayoría de los encuestados vive en hogares conformados por 3 a 5 personas, lo cual evidencia y confirma la tendencia a la reducción de personas que conforman los hogares contrastado con décadas anteriores en donde los hogares rurales eran superiores en cuanto a número de integrantes. En cuanto a la ocupación, predominan actividades como la agricultura/ganadería y trabajos como empleados, lo que influye en la capacidad económica y en el consumo energético de los hogares.

Respecto a los ingresos, una proporción importante de los participantes reportó ingresos mensuales entre \$1.000.000 y \$2.000.000, mientras que otro grupo significativo se ubicó por debajo de \$500.000, reflejando un contexto económico limitado para asumir costos altos de infraestructura energética.

En relación con el acceso al servicio eléctrico, la mayoría indicó que sí cuenta con energía, aunque con cortes frecuentes, lo que evidencia una calidad del suministro inestable. Además, varios hogares todavía dependen de fuentes como velas o plantas a gasolina, generalmente en los momentos en que hay cortes de energía eléctrica confirmando la existencia de una brecha energética.

Finalmente, se destaca que la gran mayoría de los encuestados considera que la energía solar es una buena alternativa para su hogar y muestra disposición a aprender e incluso invertir en un sistema solar básico, aunque dentro de rangos económicos bajos.

Revisión documental (análisis de contenido)

La revisión documental permitió recopilar información oficial y técnica sobre el acceso a la electricidad, el potencial solar y las políticas energéticas aplicables al municipio de Ubalá. A través del análisis de contenido, se identificaron brechas de cobertura eléctrica, condiciones favorables de irradiancia y lineamientos normativos que respaldan la viabilidad del sistema de energía solar propuesto.

A continuación, se presenta la matriz de revisión documental que sintetiza la información analizada sobre el contexto energético y normativo del municipio de Ubalá.

Tabla 5

Matriz de revisión documental (Análisis de contenido).

Fuente consultada	Tipo de documento	Año	Información relevante / contenido analizado	Categoría temática	Conclusiones parciales del análisis
DANE – <i>Perfil socioeconómico municipal de Ubalá</i>	Informe estadístico oficial	2018	Registra que el 81,61 % de las familias rurales tienen servicio de electricidad, mientras que cerca del 18,39 % carecen de este servicio, equivalente a unos 1.700 hogares rurales.	Cobertura eléctrica	Existe una brecha importante de acceso a la energía eléctrica en las zonas rurales del municipio.
UPME – <i>Atlas de Radiación Solar de Colombia</i>	Documento técnico	2021	Indica una irradiancia promedio anual de entre 4,5 y 5,0 kWh/m ² /día en Cundinamarca, valores óptimos para sistemas solares fotovoltaicos autónomos.	Potencial solar	Las condiciones geográficas y climáticas de Ubalá son favorables para implementar sistemas solares autónomos.

Alcaldía de Ubalá – Plan de Desarrollo Municipal 2023–2027: Ubalá Sostenible	Plan de desarrollo territorial	de 2023	Menciona la persistencia de comunidades sin acceso continuo a la electricidad y prioriza la transición hacia energías limpias en veredas rurales.	Proyectos y políticas locales	El municipio reconoce la necesidad de electrificación rural mediante fuentes renovables.
Ministerio de Minas y Energía – Política para la cobertura del servicio eléctrico en Zonas No Interconectadas	Documento normativo	2021	Define estrategias de apoyo a proyectos de energización con tecnologías renovables (solar y eólica) y establece lineamientos técnicos para zonas rurales.	Normatividad energética	El marco normativo nacional favorece el uso de energías renovables en áreas rurales.
UPME – Plan Energético Nacional 2020–2050	Estrategia nacional de planeación energética	2020	Plantea metas de expansión de energías limpias, priorizando regiones no interconectadas mediante el uso de fuentes no convencionales.	Política nacional	Colombia cuenta con una estrategia clara para promover la energía solar rural.
Banco Mundial – Energy Access in Developing Countries	Informe internacional comparativo	2019	Presenta indicadores globales sobre pobreza energética y estrategias de electrificación rural mediante sistemas solares domésticos (SHS).	Referente internacional	Los modelos internacionales validan la efectividad de los sistemas fotovoltaicos en comunidades rurales aisladas.

Viabilidad técnica y económica del sistema

Para evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema se partió del diseño de referencia definido en el proyecto: un arreglo fotovoltaico de 3,0 kWp compuesto por seis módulos de 500 Wp, un banco de baterías de litio LiFePO₄ configurado a 48 V con una capacidad útil cercana a 8 kWh, un inversor de 3 kW, un controlador de carga MPPT de 100 A y el conjunto de protecciones, cableado y estructura de soporte correspondientes. Este sistema se dimensionó para cubrir un consumo diario estimado de 8 kWh, equivalente a 2.920 kWh al año, con una autonomía de un día y cumpliendo los requisitos de seguridad eléctrica y normativos vigentes.

Para el análisis económico se partió del costo estimado del sistema fotovoltaico definido previamente en el proyecto, el cual se sitúa en un rango aproximado de 27,3 a 29,5 millones de pesos por sistema, incluyendo módulos, banco de baterías, inversor, controlador, estructura y protecciones. A este valor se le añadieron porcentajes adicionales para contemplar los gastos de transporte hacia las veredas, la instalación realizada por personal calificado y los trámites asociados a la puesta en servicio, lo que incrementa la inversión total en un 12 % a 20 % y sitúa el costo global del sistema en un rango cercano a 30,6 a 35,4 millones de pesos. Asimismo, se asumió un costo de operación y mantenimiento anual entre el 1 % y el 2 % de la inversión inicial, valor coherente con prácticas habituales en proyectos fotovoltaicos de pequeña escala. Estos supuestos permiten contar con una base numérica razonable para calcular el costo nivelado de la energía, el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación de la inversión.

A partir de la matriz de recursos técnicos se estimó el rango de inversión inicial en equipos entre 27,3 y 29,5 millones de pesos por sistema fotovoltaico, considerando módulos, baterías, inversor, controlador, estructura, protecciones y tablero de control. A esta inversión se le añadieron los costos asociados al transporte hacia zonas rurales de difícil acceso, la instalación realizada por personal certificado y las gestiones de trámites y certificación, lo que incrementa el valor total del proyecto aproximadamente entre un 12 % y un 20 %. Con ello, el costo de inversión total del sistema se sitúa alrededor de 30,6 a 35,4 millones de pesos, tomando como escenario base un valor cercano a 32,7 millones por sistema.

Para los gastos de operación y mantenimiento se adoptó un porcentaje anual de entre el 1 % y el 2 % de la inversión total, que incluye actividades como inspecciones periódicas, limpieza de módulos, ajuste de conexiones, verificación de protecciones y posibles reposiciones menores de componentes. Este valor es coherente con buenas prácticas de proyectos fotovoltaicos autónomos y permite incorporar en el análisis los costos asociados a mantener el sistema en condiciones adecuadas de operación durante toda su vida útil.

Con los valores anteriores se calculó el costo nivelado de la energía del sistema fotovoltaico. Para ello se consideró un horizonte de análisis de diez años, una tasa de descuento del 12 %, la inversión total estimada y el gasto anual de operación y mantenimiento, junto con la energía anual entregada de 2.920 kWh. El resultado del cálculo muestra un costo nivelado de la energía cercano a 2.100 pesos por kWh en el escenario base, con un rango de variación aproximado entre 1.600 y 2.400 pesos por kWh cuando se modifican dentro de márgenes razonables los costos de inversión, la tasa de descuento, la vida útil y el porcentaje de operación y mantenimiento.

Este rango de valores permite identificar un umbral de paridad frente a alternativas convencionales de suministro de electricidad, como el uso de plantas diésel o la compra de energía en condiciones de alta dispersión geográfica. Cuando el costo de la energía de la alternativa convencional es similar o inferior a 2.100 pesos por kWh, la diferencia económica frente al sistema fotovoltaico es reducida y la decisión de inversión depende de otros factores como la estabilidad del suministro, el impacto ambiental y la seguridad energética. Sin embargo, cuando el costo de la alternativa se sitúa por encima de ese

umbral, el sistema fotovoltaico comienza a ofrecer ventajas económicas crecientes en el mediano plazo.

Para analizar la relación costo–beneficio se evaluaron distintos escenarios de precio de la energía convencional. Los resultados muestran que, a medida que el costo de la alternativa aumenta, el valor presente neto del proyecto fotovoltaico pasa de ser negativo a positivo y la tasa interna de retorno supera la tasa de descuento usada en la evaluación. En particular, cuando el costo de la energía convencional se ubica cerca o por encima de 2.500 pesos por kWh, el proyecto presenta un valor presente neto positivo, una tasa interna de retorno superior al 12 % y un periodo de recuperación de la inversión cercano a los cuatro o cinco años. Esto indica que, en contextos rurales donde la electricidad convencional es costosa o poco confiable, el sistema diseñado no solo es técnicamente viable, sino también financieramente atractivo.

En síntesis, los resultados del análisis técnico y económico permiten concluir que el sistema fotovoltaico de 3 kWp con almacenamiento de 8 kWh satisface la demanda energética planteada y resulta competitivo frente a alternativas basadas en combustibles fósiles o extensiones de red de alto costo. El costo nivelado de la energía obtenido, junto con los indicadores financieros de valor presente neto, tasa interna de retorno y periodo de recuperación, respaldan la viabilidad del proyecto en el horizonte evaluado y justifican su implementación en las veredas rurales priorizadas.

Con base en las cotizaciones recopiladas para módulos fotovoltaicos, baterías de litio, inversores, controladores de carga, estructuras, protecciones y cableado, fue posible afinar los rangos de costos de inversión y confirmar que los valores utilizados en el análisis se encuentran dentro de niveles realistas para el contexto colombiano. Las

distintas ofertas de proveedores permitieron identificar una banda de precios relativamente estrecha para los componentes principales, lo que da solidez a la estimación del costo de inversión total por sistema y reduce la incertidumbre sobre el presupuesto requerido para una eventual implementación.

A partir de estas cotizaciones se revisaron nuevamente los cálculos del costo nivelado de la energía y de los indicadores financieros. La actualización de los precios confirma que el costo nivelado del sistema fotovoltaico se mantiene dentro del rango aproximado de 1.600 a 2.400 pesos por kWh, con un valor central alrededor de 2.100 pesos por kWh. Del mismo modo, la simulación de diferentes escenarios de precio de la energía convencional muestra que, cuando este valor es superior a 2.500 pesos por kWh, el proyecto fotovoltaico presenta un valor presente neto positivo, una tasa interna de retorno mayor que la tasa de descuento y un periodo de recuperación de la inversión en el orden de los cuatro a cinco años. Estos resultados refuerzan la conclusión de que el sistema propuesto es económicamente atractivo en condiciones típicas de zonas rurales no interconectadas.

Se realizó también un análisis de sensibilidad con el fin de identificar las variables que más influyen en la viabilidad económica del proyecto. Las variaciones en el costo de inversión inicial y en la vida útil efectiva del sistema, especialmente de las baterías, se encontraron entre los factores más determinantes en el comportamiento del costo nivelado de la energía y de los indicadores financieros. Un incremento significativo en el costo de los equipos o una reducción temprana de la vida útil del banco de baterías elevan el costo por kWh y disminuyen el valor presente neto. En contraste, el porcentaje

de operación y mantenimiento, dentro de un rango razonable, tiene un impacto menor sobre los resultados globales.

A partir de este análisis se identificaron los principales riesgos asociados al objetivo 2. En primer lugar, existe el riesgo de sobrecostos logísticos al transportar equipos voluminosos y pesados a veredas de difícil acceso. En segundo lugar, la demanda real de energía podría ser superior a los 8 kWh diarios considerados en el diseño, lo que llevaría a sobrecargas del sistema o a la necesidad de ampliar capacidad en el futuro. En tercer lugar, un mantenimiento insuficiente o inadecuado podría reducir la vida útil de los componentes, en especial del banco de baterías. Finalmente, se reconoce el riesgo de incumplir requisitos normativos si en la ejecución no se mantienen los criterios de diseño y montaje establecidos.

Para mitigar estos riesgos se proponen varias acciones. En cuanto a los costos, se recomienda trabajar siempre con al menos tres cotizaciones comparables por cada componente crítico, consolidar la logística de transporte y prever un margen de contingencia en el presupuesto. Respecto al consumo energético, es necesario validar en terreno el perfil de carga mediante encuestas y observación directa para ajustar la capacidad del sistema si se identifica una demanda sustancialmente distinta a la estimada. En relación con el mantenimiento, se sugiere definir un plan anual de operación y mantenimiento que incluya responsables locales y un fondo de reposición de componentes. Finalmente, se plantea elaborar una memoria técnica detallada y un plano unifilar que faciliten la revisión por parte de un profesional competente y garanticen el cumplimiento de las normas eléctricas aplicables.

En conjunto, la actualización de los cálculos con información de mercado, el análisis de sensibilidad y la identificación de riesgos y medidas de mitigación completan la evaluación de la viabilidad técnica y económica del proyecto. Estos resultados fortalecen la justificación del sistema fotovoltaico propuesto y proporcionan insumos concretos para la toma de decisiones sobre su implementación futura en las comunidades rurales del municipio de Ubalá.

En conclusión, los resultados obtenidos para el objetivo 2 se encuentran alineados con la metodología planteada en el proyecto, ya que integran el diseño técnico del sistema, el presupuesto detallado, el análisis costo–beneficio y el uso de instrumentos como hojas de cálculo y cotizaciones a proveedores. Asimismo, guardan coherencia con las actividades programadas en el diagrama de Gantt, donde se contemplan la elaboración del presupuesto, la evaluación de viabilidad y la relación costo–beneficio como hitos clave del proyecto.

Plan de desarrollo para eventual implementación

Cronograma desarrollo del proyecto

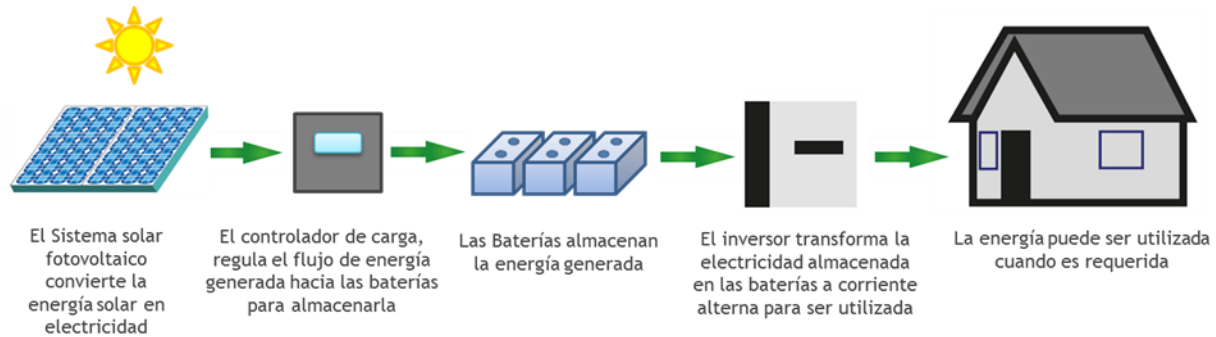
Desarrollo de diagrama de Gantt donde se incluye la secuencia lógica de las fases del diseño del proyecto, incluyendo fechas estimadas, duración de cada fase y responsables. **(ver anexo A).**

Plan de recursos humanos y técnicos

Definición de funciones en la eventual ejecución del sistema FV, con perfiles mínimos necesarios mediante el desarrollo de matriz RACI, con asignación de funciones. **(ver anexo B).**

Estimación de recursos materiales y financieros requeridos

Figura 1. Resumen sistema fotovoltaico



Nota. Tomado de Tipos de sistemas solares fotovoltaicos. Autogeneración
https://autoconsumo.minenergia.cl/?page_id=806

Sistema dimensionado para un hogar con consumo diario estimado de 8 kWh/día, asumiendo la irradiación promedio solar de 4-4.5 kWh/m²/día. Cumpliendo con estándares RETIE para seguridad eléctrica, además, se incluye protecciones contra cortocircuitos, sobretensiones y puesto a tierra.

Tabla 6

Dimensionamiento técnico

Parámetro	Valor
Consumo diario estimado	8 kWh/día
Consumo anual	2.920 kWh/año
Paneles requeridos (500 Wp)	6 unidades
Potencia total	3.000 Wp

Producción diaria estimada	13.5–16.5 kWh/día (excedente para batería)
Batería (autonomía 1 día)	8 kWh útil → 2 baterías LiFePO₄ 24V 200Ah
Inversor	3.000 W (mínimo)
Controlador MPPT	100A 48V (sistema escalado a 48V para eficiencia)

Nota. kWh – kilovatio/hora, Wp – vatios pico, V – voltios.

Tabla 7

Matriz de recursos técnicos

Tipo de Recurso	Descripción General	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (COP)	Subtotal (COP)	Referencia Cotización
Paneles solares	Módulo 500 Wp monocristalino (Tier 1)	unidad	6	1.200.000	7.200.000	AutoSolar Colombia. (2025)
Batería LiFePO₄	24V 200Ah (4.8 kWh útil), pack 48V	unidad	2	5.500.000	11.000.000	Emergente Energía. (2025)
Controlador MPPT	100A 48V (Victron/SRNE /EPEVER)	unidad	1	1.800.000	1.800.000	Eco Green Solar. (2025)
Inversor sinusoidal pura	3.000W 48V (onda pura, bajo THD)	unidad	1	3.500.000	3.500.000	Ineldec. (2025)
Cableado, fusibles, protecciones	Paquete RETIE (cables 6-10 mm ² , breakers DC/AC, SPD)	paquete	1	1.200.000	1.200.000	Solar Vatio. (2025)

Estructura soporte	Metálica galvanizada (techo inclinado, paneles)	6	juego	1	1.800.000	1.800.000	Estructuras Solares Colombia. (2025)
Tablero de control y monitoreo	Con medidor bidireccional más app remota		unidad	1	800	800	Victron Energy Colombia. (2025)

Nota. kWh – kilovatio/hora, Wp – vatios pico, V – voltios.

Total, recursos técnicos estimados por sistema FV

COP 27.300.000 - 29.500.000 (Rango incluye \pm 8% siendo un porcentaje típico y razonable en cotizaciones de bienes o proyectos que dependen de factores volátiles (como materias primas o proveedores). Sumando costos adicionales por razón de transporte e importación, instalación certificada RETIE y tramites y certificación RETIE.

Plan de gestión técnico y normativo

Todos los elementos sugeridos deben tener una certificación RETIE actual y respetar las normativas IEC/NTC equivalentes, además los planos eléctricos deben ser revisados por un ingeniero electricista matriculado antes de la ejecución, finalmente, la documentación que se detalla aquí (**ver anexo C**) será indispensable para las peticiones de financiación.

Contraste del proyecto con planes de implementación respaldados por la UPME y la FAO.

Tabla 8.

Contraste UPME Y FAO

Área	UPME/FAO	Cómo lo hicimos	Aun por corregir
-------------	-----------------	------------------------	-------------------------

Diagnóstico solar	Atlas UPME + análisis HPS por vereda. UPME	Usamos HPS 4–5 h/día promedio.	Generar mapas por vereda con coordenadas y HPS locales.
Dimensionamiento	Incluir usos productivos si excedente disponible. FAOHome	Diseño para 8 kWh/día (excedente).	Evaluar y modelar uso productivo potencial (bombeo, refrigeración).
Financiamiento	Expediente FAER requiere 3 cotizaciones y plan de sostenibilidad. UPME	Se incluyeron costos y rangos.	Adjuntar cotizaciones formales y carta de intención de la Alcaldía.
Gobernanza	Comité local, capacitación y plan de repuestos. FAOHome	Propuesta de capacitación y comité.	Establecer mecanismo financiero (fondo rotatorio).
Normatividad	RETIE / NTC / planos y certificación por OIA (cuando se ejecute). Upme	Obligación RETIE incluido.	Preparar memoria técnica y plano unifilar listos para revisión RETIE.

Nota. Tabla con enlaces bibliografía UPME, FAO, RETIE/NTC.

10. Discusión

El diseño y propuesta de un sistema de energía solar fotovoltaica autónomo para comunidades rurales de Ubalá, Cundinamarca, plantea respuestas a los principales retos de electrificación que tienen estos territorios apartados. Los resultados sugieren un avance sustancial en términos de viabilidad técnica, económica, social y ambiental en comparación con soluciones convencionales como la extensión de redes eléctricas o el uso de plantas diésel.

A nivel técnico, el sistema de 3 kWp diseñado, con un banco de baterías de 8 kWh útiles, cumple satisfactoriamente los requerimientos de autonomía y capacidad para

cubrir una demanda diaria promedio de 8 kWh por hogar o institución educativa. El dimensionamiento, sustentado tanto en simulación y análisis de cargas como en cotizaciones reales de mercado, garantiza que la solución es replicable y adaptable a otros contextos rurales similares.

Desde la perspectiva económica, el costo nivelado de energía calculado (rango de 1.600 a 2.400 COP/kWh, valor central 2.100 COP/kWh) es competitivo respecto a alternativas fósiles en estos territorios y permite identificar las condiciones bajo las cuales la opción fotovoltaica se vuelve financiera y socialmente preferible. Aquí destacan la relevancia del costo inicial, la vida útil de las baterías y la correcta estimación/validación en terreno del perfil de consumo como elementos determinantes para la sostenibilidad y rentabilidad del proyecto. El análisis de sensibilidad pone de manifiesto que los sobrecostos logísticos y la variabilidad en demandas pueden afectar la viabilidad del sistema, reforzando la necesidad de diagnósticos energéticos previos y planes de mantenimiento robustos.

En el plano social y cualitativo, la favorable percepción y disposición a la adopción mostradas por la comunidad (con altas expectativas sobre ahorro, sostenibilidad e independencia energética) constituyen una fortaleza para la apropiación y el éxito de la propuesta. Sin embargo, emergen desafíos asociados al bajo poder adquisitivo y a la necesidad de fortalecer la información, capacitación y confianza en la tecnología solar, factores ya reportados en la literatura como críticos para la sostenibilidad de proyectos rurales.

En cuanto al marco normativo, el proyecto cumple los requisitos técnicos y legales exigidos (RETIE, NTC 2050, normas IEC), lo que lo habilita como solución formalizable

y escalable para la electrificación rural de zonas apartadas. La integración de herramientas de planificación –como Gantt, matriz de recursos y esquema RACI– muestra la adopción de buenas prácticas de gestión de proyectos orientados a la acción real.

Finalmente, se destaca la alineación del trabajo con los planes territoriales y nacionales para la transición energética y la inclusión rural (Plan Nacional Energético, Plan de Desarrollo Municipal, política FAZNI), validando así la pertinencia institucional del enfoque. No obstante, para garantizar el impacto y la replicabilidad de la solución, resulta clave profundizar componentes de gestión comunitaria, sostenibilidad financiera a largo plazo y gobernanza local.

11. Conclusiones

A partir del desarrollo de este proyecto, nosotros concluimos que la implementación de un sistema fotovoltaico autónomo en las zonas rurales de Ubalá, Cundinamarca, resulta técnica y económicamente viable cuando se consideran las condiciones de irradiancia solar local y la demanda energética de las viviendas y escuelas analizadas. Nuestro diseño, dimensionado para cubrir un consumo diario estimado de 8 kWh, probó ser suficiente para suplir las necesidades básicas de los usuarios potenciales, garantizando autonomía y confiabilidad en la operación del sistema, tal como proponen autores como Duffie y Beckman (2020) y Kalogirou (2021).

Observamos además que, aunque la población encuestada muestra una alta aceptación e interés frente a la energía solar, el principal obstáculo identificado es el costo inicial de inversión, lo cual refleja la importancia de gestionar apoyos financieros y esquemas de capacitación adecuados para asegurar la sustentabilidad a largo plazo del sistema, coincidiendo con lo reportado por Eras-Almeida et al. (2023) y García et al. (2021).

Consideramos que la viabilidad económica del proyecto se evidencia en el acceso a costos nivelados de la energía inferiores o comparables a los de alternativas convencionales como el diésel, especialmente donde los costos logísticos y de operación de combustibles fósiles son elevados. Además, nuestro análisis de sensibilidad demostró que aspectos como la vida útil de las baterías y los costos logísticos son determinantes para la rentabilidad, lo cual debe contemplarse en la planificación de futuros proyectos similares (Ministerio de Minas y Energía, 2021; UPME, 2020).

Finalmente, creemos que nuestra propuesta contribuye de manera significativa a la reducción de brechas energéticas, el fortalecimiento del desarrollo local y la promoción de la sostenibilidad ambiental en zonas rurales apartadas, alineándose con políticas públicas y marcos normativos vigentes en Colombia. Recomendamos implementar mecanismos de seguimiento, capacitación comunitaria y fortalecer la gestión local para garantizar la sostenibilidad social y técnica del proyecto a largo plazo.

12. Bibliografía y/o web gráfica

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México, D.F.: McGraw-Hill.

Hernández- Sampieri, R., Mendoza Torres, C. P.(2023). Metodología de la Investigación. McGraw-Hill Interamericana. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=31455>

Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2022). Metodología de la investigación (7.^a ed.). McGraw-Hill.

Elibro.net. Recuperado el 7 de agosto de 2025, de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaean/282324?page=4>

Rojas, J. C. (2017, octubre 16). La maratónica labor para llevar luz a veredas de Cundinamarca. El Tiempo. https://www.eltiempo.com/bogota/gibraltar-y-la-romaza-en-cundinamarca-tendrian-electricidad-este-ano-141480?utm_source

Nozal López, Ó. D. (2025). Una odisea solar: todo lo que necesitas saber para tener paneles solares en casa: (ed.). Editorial Tébar Flores. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/lc/bibliotecaean/titulos/282324>

Story Map Series. (s/f). Arcgis.com. Recuperado el 30 de agosto de 2025, de <https://dane.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=e53e1178fb1f497cac9b241dbafb1690>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill.

Mertens, D. M. (2015). *Research and evaluation in education and psychology* (4th ed.). SAGE.

Yegidis, B. L., & Weinbach, R. W. (2005). *Research methods for social workers* (5th ed.). Pearson/Allyn & Bacon.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. (2025, 24 de enero). Acta de audiencia pública (LAM0529). Recuperado de <https://www.anla.gov.co/>

Rojas, J. C. (2017, 16 de octubre). La maratónica labor para llevar luz a veredas de Cundinamarca. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2025). Perfil socioeconómico municipal de Ubalá. <https://dane.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=e53e1178fb1f497cac9b241dbafb1690>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.

Mertens, D. M. (2015). *Research and evaluation in education and psychology* (4th ed.). SAGE.

Nozal López, Ó. D. (2025). *Una odisea solar: todo lo que necesitas saber para tener paneles solares en casa*. Editorial Tébar Flores.

Rojas, J. C. (2017, 16 de octubre). La maratónica labor para llevar luz a veredas de Cundinamarca. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/>

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. (2025, 24 de enero). Acta de audiencia pública (LAM0529). <https://www.anla.gov.co/>

Agencia Internacional de Energía (IEA). (2023). World Energy Outlook 2023. Paris: IEA.

Kalogirou, S. A. (2021). Solar Energy Engineering: Processes and Systems (3rd ed.). Academic Press.

López, D., Romero, A., & Trujillo, C. (2022). Evaluación de sistemas fotovoltaicos autónomos en zonas rurales andinas. *Revista Energética Colombiana*.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2020). Solar Engineering of Thermal Processes (5th ed.). Wiley.

Eleksiani, A., Jackson, M., Mackey, B., & Beal, C. (2025). Renewable energy systems in supporting climate resilience of off-grid communities: A review of the literature and practice. *Journal of Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems*, [13]([3]), [1]-[32]. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d13.0569>

Kizilcec, Vivien & Parikh, Priti. (2020). Solar Home Systems: A comprehensive literature review for Sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*.

Liao, R., Manfren, M., & Nastasi, B. (2025). Off-grid PV systems modelling and optimisation for rural communities - leveraging understandability and interpretability of modelling tools. *Energy (Oxford, England)*, 324(135948), 135948. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135948>

Eras-Almeida, AA, Vásquez-Hernández, T., Hurtado-Moncada, MJ, y Egidio-Aguilera, MA (2023). Evaluación integral de experiencias fotovoltaicas fuera de la red en zonas no interconectadas de Colombia: Integrando una perspectiva sostenible. *Energies* , 16 (5), 2292. <https://doi.org/10.3390/en16052292>

Pérez Gelves, JJ, y Díaz Florez, GA (2020). Metodología para evaluar la implementación de proyectos de energía solar en zonas rurales mediante AHP: un estudio de caso de Colombia. *Revista Internacional de Planificación y Gestión de Energía Sostenible* , 29 , 69–78. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.3592>

Pact, U. K. Scaling up rural electrification via capacity building to public and private sectors, phase 2. [Ukpact.co.uk](https://www.ukpact.co.uk). <https://www.ukpact.co.uk/gggi-rural-electrification-colombia-project-page>

Prieto, J. D., Reina, J. D., Useche, C., Novenario, C., & Donado, H. M. (2025, septiembre 3). “Energy Communities” bring electricity, livelihoods to Colombia’s remotest regions. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/colombia-energy-communities-bring-electricity-income>

Sánchez, A., Parra, J., & Molina, D. (2021). Energización rural sostenible mediante sistemas solares en Colombia. *Revista Colombiana de Energía*

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2020). *Solar Engineering of Thermal Processes* (5th ed.). Wiley.

García, J., Cifuentes, L., & Mendoza, R. (2021). Diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos en zonas rurales colombianas. *Ingeniería y Energía*.

Heli A Arregocés, Roberto Rojano, Daiver Pinto Pimienta, Un análisis exhaustivo de las variaciones futuras del potencial de energía solar utilizando un enfoque de conjunto multimodelo CMIP6 en Colombia, *Clean Energy* , Volumen 8, Número 4, agosto de 2024, páginas 79–89, <https://doi.org/10.1093/ce/zkae037>

Pérez Gelves, J. J., & Díaz Florez, G. A. (2020). Methodology to Assess the Implementation of Solar Power Projects in Rural Areas Using AHP.

Alcaldía de Ubalá. (2023). Plan de Desarrollo Municipal 2023–2027: Ubalá sostenible. Ubalá, Cundinamarca.

Eras-Almeida, A. A., Vásquez-Hernández, T., Hurtado-Moncada, M. J., & Egidio-Aguilera, M. A. (2023). A Comprehensive Evaluation of Off-Grid Photovoltaic Experiences in Non-Interconnected Zones of Colombia: Integrating a Sustainable Perspective.

UPME (2019, 2020, 2021). Informes energéticos de zonas no interconectadas en Colombia.

Banco Mundial (2019). Energy Access in Developing Countries.

IEA (2020, 2021). Off-grid renewable energy reports.

FAO (2017, 2018). Proyectos de electrificación rural y sostenibilidad comunitaria.

Banco Mundial. (2019). Rural electrification in developing countries: Policies, programs and progress. World Bank Group. <https://documents.worldbank.org>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2020). Energía y desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas.

<https://www.cepal.org>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2024). Censo Nacional de Población y Vivienda 2024. DANE. <https://www.dane.gov.co>

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2017). Energía sostenible para erradicar el hambre y la pobreza. FAO. <https://www.fao.org>

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ]. (2020). Energías renovables y capacitación comunitaria en zonas rurales. GIZ. <https://www.giz.de>

International Energy Agency [IEA]. (2020). Off-grid renewable energy solutions. IEA. <https://www.iea.org>

International Electrotechnical Commission [IEC]. (2016). Photovoltaic system standards: IEC 61215, IEC 61730, IEC 62109, IEC 62446. IEC. <https://www.iec.ch>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2019). NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano. ICONTEC.

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2013). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE. MinEnergía. <https://www.minenergia.gov.co>

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2021). Política para la cobertura del servicio de energía eléctrica en Zonas No Interconectadas. MinEnergía.

<https://www.minenergia.gov.co>

Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME]. (2019). Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2019-2023. Ministerio de Minas y Energía.

<https://www1.upme.gov.co>

Tipos de sistemas solares fotovoltaicos. Autogeneración. Tomado de

https://autoconsumo.minenergia.cl/?page_id=806

¿Cuántos paneles solares necesito para casa? Endesa. de

<https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/calcular-cuantas-placas-solares-necesita-una-casa>

Cuántos paneles solares necesito para una casa. Autosolar.co. de

https://autosolar.co/energia-solar/cuantos-paneles-solares-necesito-para-mi-casa?srsltid=AfmBOoodU0S_3DSSHIEYO1Z2u1iZoMN5942pErWdFTRV-2i3q5VKJxdD

UPME. Guía para la elaboración de un Plan de Energización Rural Sostenible (PERS). UPME / MinEnergía. (Guía PERS). UPME

UPME. Atlas de Radiación Solar de Colombia (2005; ediciones y recursos online). UPME+1

UPME. Guía FAER / Guía para la formulación de proyectos a fondos (FAER, FAZNI, FNR, FECF). UPME

FAO. van Campen, B., Guidi, D., & Best, G. (2000). Solar photovoltaics for sustainable agriculture and rural development (SARD). FAO Environment and Natural Resources Working Paper No. 2. FAOHome+1

FAO. Solar-powered agriculture and guidance for solar irrigation and productive uses (varios documentos y toolboxes). Open Knowledge FAO+1

IDEAM / UPME. Mapas y datos de radiación solar en Colombia.

(S/f). Recuperado el 14 de noviembre de 2025, de <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.andi.com.co/uploads/radiacion.compressed.pdf>

Plan de desarrollo 2024-2027. Municipio de Ubalá. (s/f). Arcgis.com. Recuperado el 14 de noviembre de 2025, de <https://mapasyestadisticas-cundinamarca-map.opendata.arcgis.com/documents/d8e75b47cbcd4d46996391e26db196b6/about>

(S/f-b). Recuperado el 14 de noviembre de 2025, de http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Resumen_Ejecutivo_PEN_2020_2050.pdf

13. Anexos

Anexo A

Diagrama de Gantt con secuencia fases del diseño del proyecto.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR AUTÓNOMO PARA VIVIENDAS Y COLEGIOS EN ZONAS RURALES DEL MUNICIPIO DE UBALÁ, CUNDINAMARCA

Proyecto de integración

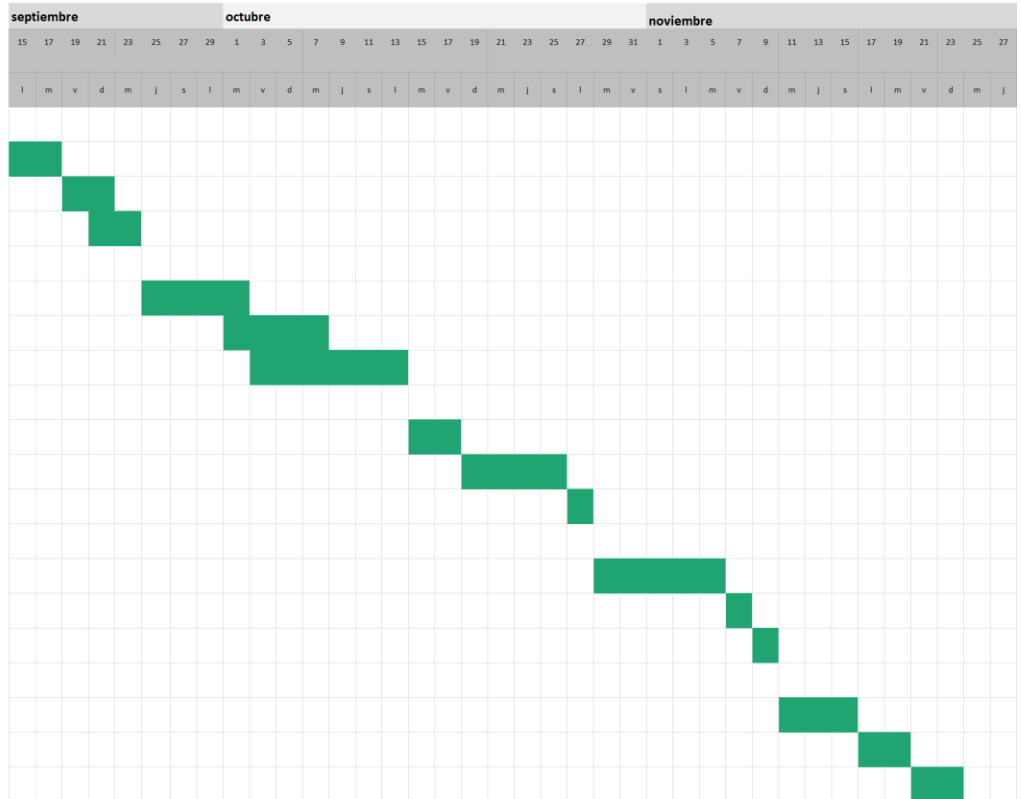
Castro Aura, López Brayan, Bolívar Brayan, Guzman Rodrigo

Fecha de inicio del proyecto: 14/09/2025

Facultad de Ingeniería universidad EAN

Legenda: Según lo previsto No completado En proceso Sin asignar

Descripción del hito	Categoría	Asignado a	Progreso	Inicio	Días
Preparación y revisión documental					
Recopilación de información.	Según lo previsto	Guzman Rodrigo	100%	15/09/2025	3
Revisión de normativa	Según lo previsto	Guzman Rodrigo	100%	18/09/2025	5
Revisión topográfica.	Según lo previsto	Bolívar Brayan	100%	20/09/2025	5
Diagnóstico técnico y social					
Ejecución y procesamiento de encuestas	Según lo previsto	Guzman Rodrigo	100%	25/09/2025	8
Análisis de disponibilidad solar	Según lo previsto	López Brayan	100%	30/09/2025	9
Análisis de accesibilidad	Según lo previsto	Guzman Rodrigo	100%	3/10/2025	11
Diseño y dimensionamiento					
Cálculo de demanda	Según lo previsto	Bolívar Brayan	100%	14/10/2025	4
Dimensionamiento técnico del sistema	Según lo previsto	Bolívar Brayan	100%	18/10/2025	8
Estudio factibilidad de componentes	Según lo previsto	Bolívar Brayan	100%	26/10/2025	3
Evaluación económica y financiera					
Elaboración de presupuesto	Según lo previsto	Castro Aura	100%	29/10/2025	8
Análisis de viabilidad	Según lo previsto	Castro Aura	100%	6/11/2025	3
Relación costo / beneficio	Según lo previsto	Castro Aura	100%	9/11/2025	2
Planificación operativa final					
Elaboración de plan de implementación	Según lo previsto	López Brayan	100%	11/11/2025	5
Matriz de recursos	Según lo previsto	López Brayan	100%	16/11/2025	5
Gestión técnica y normativa	Según lo previsto	López Brayan	100%	21/11/2025	4



Nota. Elaboración propia.

Anexo B

Matriz RACI definición de funciones eventual ejecución del sistema FV

SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR AUTÓNOMO PARA VIVIENDAS Y COLEGIOS EN ZONAS RURALES DEL MUNICIPIO DE UBALÁ, CUNDINAMARCA	Responsables del proyecto				
	Coordinador general	Ingeniero eléctrico	Técnico instalador	Analista financiero	Gestor comunitario
Planificación general del proyecto	A/R	C	I	C	C
Diseño técnico del sistema FV	A	R	C	I	I
Cálculos eléctricos y protecciones	A	R	C	I	I
Validación RETIE y normativa	A	R	C	I	I
Instalación física (paneles, inversores, cableado)	C	C	R	I	C
Puesta a tierra y pruebas eléctricas	C	A/R	R	I	I
Elaboración de presupuestos y proyecciones financieras	C	I	I	A/R	I
Evaluación de sostenibilidad económica	C	I	I	A/R	C
Gestión y enlace con la comunidad	C	I	C	I	A/R
Capacitación a usuarios finales	C	C	C	I	A/R
Supervisión técnica y administrativa	A/R	C	C	C	C
Entrega final y cierre del proyecto	A/R	C	C	C	C

R	A	C	I
Responsable	A cargo	Consultado	Informado

Nota. Elaboración propia.

Anexo C

Ficha técnica de requisitos técnicos y normativos

Campo	Descripción
Nombre	Planificación para la eventual implementación de sistemas solares fotovoltaicos en zonas rurales de Ubalá, Cundinamarca.
Objetivo de la ficha	Identificar y documentar los requisitos normativos técnicos institucionales necesarios para la ejecución futura del proyecto, garantizando la conformidad con la legislación colombiana y estándares técnicos.
Alcance	Aplicable a proyectos de energía solar aislada (off-grid) con potencias inferiores a 10 kWp por instalación, destinados a uso comunitario en zonas rurales.

Requisitos normativos

Norma / Resolución	Entidad emisora	Requisito principal	Aplicación al proyecto	Cumplimiento
RETIE Resolución 90708 de 2013 y actualizaciones	– Ministerio de Minas y Energía	Garantizar seguridad eléctrica en todas las instalaciones, incluyendo puesta a tierra, protecciones, rotulación, y certificación por Organismo de Inspección acreditado.	Requiere que la instalación futura sea diseñada y ejecutada por técnico certificado y obtenga certificación RETIE final.	Se contempla en la planificación y diseño técnico.
NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano	– ICONTEC	Define parámetros de diseño, calibre de conductores, protección contra sobre corriente y procedimientos de conexión.	Aplicado en el diseño del cableado, protecciones, y distribución del sistema FV.	Cumplimiento teórico garantizado en los planos eléctricos.
NTC 60069-2 Seguridad eléctrica en sistemas fotovoltaicos	– ICONTEC	Regula la seguridad de componentes FV, protecciones, polaridad, aislamiento y resistencias.	Los componentes seleccionados cumplen con normas IEC equivalentes.	Incluido en especificaciones técnicas del plan.

Guía UPME- MinEnergía para sistemas solares aislados (2021)	UPME – MinEnergía	Lineamientos para proyectos de acceso rural, dimensionamiento, evaluación económica y social.	Referencia metodológica para el diseño técnico y evaluación de viabilidad.	Cumplimiento en fase de planificación.
Resolución CREG 030 de 2018	Comisión de Regulación de Energía y Gas	Define condiciones de prestación del servicio eléctrico en Zonas No Interconectadas (ZNI).	Determina criterios para conexión futura a programas de subsidio o incentivos.	Plan de gestión institucional.
Ley 1715 de 2014 y Decreto 2143 de 2015	Congreso de la República y MinEnergía	Promueve el uso de energías renovables no convencionales y otorga beneficios tributarios.	Permite gestionar beneficios fiscales o incentivos en ejecución.	Etapas de financiación.

Requisitos técnicos

Componente / Sistema	Requisito técnico	Verificación / Evidencia esperada
Paneles solares	Cumplir norma IEC 61215 y 61730. Etiqueta visible con potencia nominal y voltaje.	Fichas técnicas del fabricante y certificaciones IEC.
Baterías	Celdas certificadas bajo IEC 62619 o UL 1973; ubicación ventilada y señalizada.	Certificado del fabricante y manual de instalación.
Inversor	Onda sinusoidal pura, eficiencia $\geq 90\%$, protección contra sobrecarga y sobrecalentamiento.	Hoja de datos técnica del equipo y certificación RETIE.
Cableado	Calibre conforme a NTC 2050, aislamiento UV, codificación de colores, canalización protegida.	Plano eléctrico y listado de materiales (BOM).
Puesta a tierra	Varilla cobre 5/8", resistencia $< 25 \Omega$, conexión equipotencial.	Plano de tierras y medición con telurómetro.
Protecciones	Fusibles, breakers DC/AC, y supresores de sobretensión (SPD) certificados IEC.	Esquema unifilar y ficha de componentes.
Señalización	Etiquetas de advertencia "Circuito FV" visibles en cuadros, baterías e inversor.	Fotografías o planos señalados.

Nota. Elaboración propia.