

Diagnóstico sectorial sobre energía fotovoltaica en la Unidad Básica de Producción Cooperativa “José Vázquez Martínez”

Sectoral diagnosis on photovoltaic energy in the Basic Unit of Cooperative Production "José Vázquez Martínez"

 Misleydis Quintero León*,  Luis Addiel Pérez,  Astrid Fernández de Castro Fabre,
 Gemma Domínguez Calvo and  Pablo Manuel Hernández Alfonso

Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.
E-mail: luisaddiel@unah.edu.cu, astrid@unah.edu.cu, gemma@unah.edu.cu, phernand@unah.edu.cu

*Autor para correspondencia: Misleydis Quintero León, e-mail: mquintero@unah.edu.cu

RESUMEN: El diagnóstico sectorial enfocado en el aspecto económico de la energía fotovoltaica en la Unidad Básica de Producción Cooperativa “José Vázquez Martínez” evidencia las dificultades existentes para implementar un sistema fotovoltaico eficiente. Esta investigación se enmarcó en un proyecto nacional de la Universidad Agraria de La Habana para la creación de capacidades en gestión de energía fotovoltaica en cooperativas de AZCUBA. La gestión de esta fuente energética se plantea como una solución sostenible para optimizar el consumo en diversas aplicaciones, especialmente en el ámbito agrícola. El objetivo general del estudio es evaluar la viabilidad de incorporar energía fotovoltaica en una cooperativa agrícola que actualmente no dispone de dicho sistema. Para ello, se aplicó una metodología que incluyó el análisis del consumo de agua y energía de la unidad, así como el diseño de indicadores técnicos, socioeconómicos y ambientales. Estos indicadores fueron organizados en una matriz de decisión que facilitó el análisis integral y la toma de decisiones estratégicas. Los resultados permitieron identificar áreas de mejora y oportunidades para implementar un sistema fotovoltaico alineado con los principios de la economía circular. Al adoptar un enfoque basado en la economía circular, se busca no solo optimizar el uso de los recursos disponibles, sino también fomentar prácticas sostenibles que beneficien tanto a la cooperativa como a su entorno comunitario. La evaluación realizada revela un alto potencial para implementar soluciones energéticas sostenibles que contribuyan a transformar la matriz energética de la cooperativa.

Palabras clave: implementación fotovoltaica, gestión energética agrícola, matriz energética, sistemas fotovoltaicos agrícolas.

ABSTRACT: The sectoral diagnosis focused on the economic aspects of photovoltaic energy at the "José Vázquez Martínez" Basic Unit of Cooperative Production reveals the existing difficulties in implementing an efficient photovoltaic system. This research was framed within a national project of the Agrarian University of Havana aimed at building capacity in photovoltaic energy management within AZCUBA cooperatives. Managing this energy source is presented as a sustainable solution to optimize consumption in various applications, especially in the agricultural sector. The overall objective of the study is to evaluate the feasibility of incorporating photovoltaic energy into an agricultural cooperative that currently lacks such a system. To this end, a methodology was applied that included analyzing the unit's water and energy consumption, as well as designing technical, socioeconomic, and environmental indicators. These indicators were organized into a decision matrix that facilitated comprehensive analysis and strategic decision-making. The results allowed for the identification of areas for improvement and opportunities to implement a photovoltaic system aligned with the principles of the circular economy. By adopting a circular economy approach, the aim is not only to optimize the use of available resources but also to foster sustainable practices that benefit both the cooperative and its surrounding community. The assessment reveals significant potential for implementing sustainable energy solutions that will contribute to transforming the cooperative's energy mix.

Keywords: Photovoltaic Implementation, Agricultural Energy Management, Energy Mix, Agricultural Photovoltaic Systems.

Recibido: 25/10/2025

Aceptado: 10/03/2026

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Metodología, Redacción-borrador inicial, Redacción-revisión y edición, Supervisión: Misleydis Quintero León. Conceptualización, Curación de datos, Metodología: Luis Addiel Reconde Pérez. Conceptualización, Curación de datos, Supervisión, Investigación: Astrid Fernández de Castro Fabre. Curación de datos, Investigación: Gemma Domínguez Calvo. Curación de datos, Investigación, Redacción-revisión y edición, Supervisión: Pablo Manuel Hernández Alfonso.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación los mismos, ni por los autores ni por el editor



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

En 2021, la demanda mundial de energía primaria aumentó cerca de un 6%, superando los niveles registrados en 2019. Este crecimiento fue impulsado principalmente por las economías emergentes, como India y China, mientras que las economías desarrolladas mostraron una demanda más estable o incluso decreciente en algunos casos (World Economic Forum, 2022). En 2023, el consumo global de energía primaria alcanzó un nuevo récord, con un incremento adicional del 2% respecto al año anterior (Fernández, 2024a). Esta tendencia ascendente se proyecta para continuar en las próximas décadas, como resultado del crecimiento económico global y la creciente demanda energética en países en desarrollo.

El petróleo se mantiene como el combustible fósil predominante a nivel mundial, seguido por el carbón y el gas natural. China lidera el consumo de energía primaria con 170.7 exajoules, superando a Estados Unidos y posicionándose como el principal actor en la matriz energética global (Fernández, 2024b).

La creciente preocupación por el cambio climático y la presión de organismos internacionales han incentivado la transición hacia fuentes de energía más limpias, como las renovables. Aunque este proceso avanza lentamente en algunas regiones, se han logrado progresos significativos. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA (2024), las fuentes renovables representaron el 29,1% de la generación eléctrica mundial en 2022, con un total de 8 440 TWh. El restante 70,9% (20 591 TWh) provino de combustibles fósiles, energía nuclear y otras fuentes no renovables, alcanzando una generación total de 29 031 TWh.

Este crecimiento se refleja especialmente en las tecnologías solar y eólica, que registraron un incremento conjunto del 18,20% en 2021 (IRENA, 2024). China, Estados Unidos y Brasil se destacan como líderes en capacidad instalada de energía renovable en 2023. China encabeza el ranking con aproximadamente 1 453 GW, seguida por Estados Unidos, mientras que Brasil lidera en Sudamérica y ocupa el tercer lugar a nivel mundial (Fernández, 2024a; 2024b).

En este contexto global, la adopción de alternativas sostenibles se vuelve esencial. La energía renovable se presenta como una solución clave para enfrentar los desafíos energéticos actuales (Arencibia, 2016). En Cuba, la crisis energética que afecta sectores estratégicos como la agroindustria exige un replanteamiento urgente de las fuentes de energía. La energía solar fotovoltaica se posiciona como una opción viable hacia la autosuficiencia y la sostenibilidad según Rivera y Bayona (2022), siendo fundamental para el desarrollo resiliente ante crisis globales (PNUD, 2022).

La tecnología fotovoltaica, basada en la conversión de luz solar en electricidad mediante el movimiento de electrones entre placas semiconductoras, ha evolucionado significativamente. Existen también sistemas de concentración solar que utilizan espejos para elevar

la temperatura de un fluido térmico, generando vapor y electricidad (Santos et al., 2017). Las células fotovoltaicas han mejorado su rendimiento, optimizando la producción energética en función de los niveles de radiación (Santos et al., 2017).

La integración de energía solar en la agricultura busca estimular el uso de energía limpia, maximizar los recursos naturales, mejorar la productividad y generar valor agregado en la producción agrícola (Navarro et al., 2022). Ejemplos como los invernaderos solares, sistemas de secado y plantas de purificación o desalinización demuestran su aplicabilidad sin necesidad de combustibles fósiles.

Cuba posee un alto potencial solar gracias a su ubicación geográfica y elevada radiación solar. Esto representa una oportunidad estratégica para diversificar la matriz energética y fomentar el desarrollo rural según el Ministerio de Energía y Minas de Cuba Minem-Cuba (2023). No obstante, persisten barreras como la falta de infraestructura, acceso limitado a tecnologías avanzadas y la necesidad de capacitación técnica.

Una gestión efectiva de la energía solar fotovoltaica requiere no solo la instalación de paneles, sino también un marco integral que abarque desde la planificación hasta el mantenimiento (Abella, 2014). Este enfoque holístico permite maximizar el rendimiento y asegurar la sostenibilidad de los sistemas según García et al. (2021), fortaleciendo la resiliencia energética y el bienestar comunitario.

El presente diagnóstico analiza las oportunidades y desafíos en la gestión de energía solar fotovoltaica en la UBPC “José Vázquez Martínez”, con el propósito de proponer estrategias que optimicen su uso y contribuyan al desarrollo sostenible del sector agroindustrial en Cuba. Se enmarca en el Proyecto Nacional PN3602VC002-096 de la Universidad Agraria de La Habana, orientado a la creación de capacidades para la gestión de energía fotovoltaica en cooperativas de AZCUBA. La investigación aspira a generar un modelo replicable que inspire a otras instituciones a adoptar prácticas similares, promoviendo una transición energética justa y sostenible en el contexto cubano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se planteó como un diseño experimental de caso único, aplicado en la UBPC “José Vázquez Martínez” seleccionada de manera intencional por sus características productivas y potencial de incorporación de energía fotovoltaica. La población total estuvo conformada por 60 integrantes, de los cuales se tomó una muestra dirigida de 35 participantes (58%), incluyendo obreros, técnicos entre otros, con el fin de garantizar representatividad y diversidad de criterios. La investigación se sustentó en la Metodología de Evaluación Multicriterio para proyectos renovables según Martín et al. (2023), diseñando nueve indicadores agrupados en tres dimensiones principales: Técnicos/Infraestructura, Gobernanza/Sostenibilidad y Socioeconómicos

Se aplicaron encuestas estructuradas y entrevistas semiestructuradas para recolectar información sobre tres dimensiones principales y cada una integrada por indicadores clave. Los datos fueron normalizados en una escala de 0 a 1 y se construyó un índice global de viabilidad mediante una ponderación combinada: asignación equitativa de pesos a todos los indicadores y ajuste complementario mediante análisis factorial, lo que permitió identificar la variabilidad explicada por cada dimensión y refinar la importancia relativa de los criterios.

Para el análisis se emplearon diversas técnicas de apoyo a la toma de decisiones como:

- Diagrama de Ishikawa (causa-efecto): Se empleó para identificar las causas raíz de los problemas en la gestión energética, clasificándolas en categorías que facilitan el análisis.
- Matriz de decisión: Permite comparar alternativas en función de múltiples criterios, apoyando la toma de decisiones estratégicas.
- Ruta crítica: Se utilizó para definir la secuencia de actividades que determina la duración total del proyecto, identificando tareas que no pueden retrasarse sin afectar la fecha de finalización.

Las variables consideradas incluyeron consumo energético, costos de inversión, percepción social, generación de empleo, reducción de emisiones y disponibilidad de recursos técnicos. El procesamiento de datos cuantitativos se realizó con el programa PSPP para análisis estadístico descriptivo (medias y desviaciones estándar). El análisis final integró los resultados estadísticos y cualitativos para evaluar la viabilidad del proyecto fotovoltaico en la UBPC bajo un enfoque multicriterio.

Caracterización energética de la unidad

Fuentes de energía actuales:

- Red eléctrica (70%): utilizada para bombeo de riego, oficinas, almacén y comedor. Consumo mensual: 13.539 kW h. Costo mensual: \$24.370 USD.
- Diésel (25%): empleado en maquinaria pesada. Su uso ha generado un aumento del 30% en los costos energéticos en los últimos dos años.

Problemas frecuentes:

- Cortes eléctricos 2-3 veces al día.
- Contaminación por diésel, con quejas de comunidades vecinas.

Infraestructura disponible:

- Techos de almacenes: 300 m².
- Suelos no cultivables: 710 000 m².
- Total, disponible para paneles: 710 300 m².

Conocimiento técnico y capacitación

- Nivel técnico actual: Solo el 20% de los técnicos posee conocimientos básicos sobre energía fotovoltaica.
- Interés en capacitación: El 90% del equipo está dispuesto a capacitarse, priorizando el mantenimiento práctico de paneles solares.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la información obtenida permitió construir una matriz de decisión que integró los nueve indicadores agrupados en las dimensiones Socioeconómica, Técnica y Gobernanza. La ponderación se realizó mediante un esquema combinado: equilibrado y complementado con el análisis factorial, que ajustó los pesos según la variabilidad explicada por cada dimensión.

Evaluación de indicadores

Se diseñaron nueve indicadores clave agrupados en tres dimensiones: Técnicos/Infraestructura, Gobernanza/Sostenibilidad y Socioeconómicos. Estos indicadores permiten evaluar la viabilidad y el impacto potencial de proyectos fotovoltaicos antes de su implementación, priorizando aquellos con mayor retorno económico y social.

Socioeconómicos

Estos indicadores permiten evaluar la viabilidad y el impacto potencial de proyectos fotovoltaicos antes de su instalación, centrándose en aspectos sociales y económicos. Son clave para la toma de decisiones estratégicas. Una evaluación rigurosa con estos indicadores identificó oportunidades y riesgos, priorizando proyectos con mayor impacto social y retorno económico, incluso sin implementación física (Figura 1).

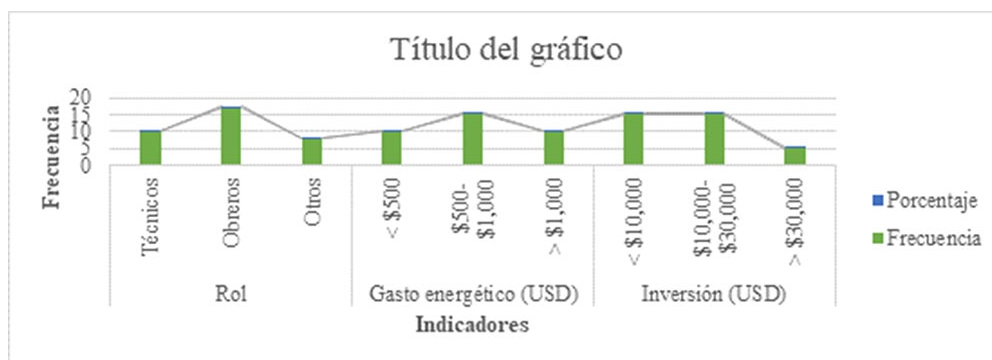


Figura 1. Comportamiento de indicadores Socioeconómicos. Fuente: elaboración propia

La encuesta fue aplicada a 35 trabajadores, incluyendo obreros (48,57%), técnicos (28,57%) y otros roles (22,86%). En cuanto a inversión, el rango más común fue de \$500-\$1.000 USD (42,90%), mientras que el 85,80% invierte menos de \$30.000 USD. Solo el 14,30% supera ese monto. La baja proporción de técnicos podría limitar la adopción tecnológica, lo que subraya la necesidad de políticas de formación.

Técnicos/Infraestructura

Estos indicadores (Figura 2), evalúan la capacidad del territorio para soportar proyectos solares. Se identificaron como principales limitantes:

- Falta de suelo cultivable (65,7%)
- Altos costos de implementación (85,7%)

La oportunidad en infraestructura subutilizada es el 20% posee techos de almacenes disponibles, un recurso estratégico para instalar paneles solares; conllevando a un beneficio potencial como mitigar los cortes eléctricos

(afectan al 71,4%) y generar ahorros energéticos a mediano plazo señalando que los cortes eléctricos frecuentes afectan la productividad, generando pérdidas diarias de \$812.00 USD. La contaminación como preocupación secundaria solo es de 34,3% considera la contaminación relevante frente a problemas económicos/energéticos.

Gobernanza y Sostenibilidad

Estos indicadores (Figura 3) miden el respaldo institucional y la sostenibilidad a largo plazo. Proyectos sin respaldo municipal y sin estudios de impacto tienen 68% más probabilidad de conflictos comunitarios (IRENA, 2024). Se identificaron los siguientes hallazgos:

- Falta de financiamiento (71,40%) como principal obstáculo.
- Baja prioridad a la sostenibilidad ambiental (14,30%), frente a la reducción de costos (57,10%).
- Limitado conocimiento técnico (51,40%), aunque el 71,40% está dispuesto a capacitarse.

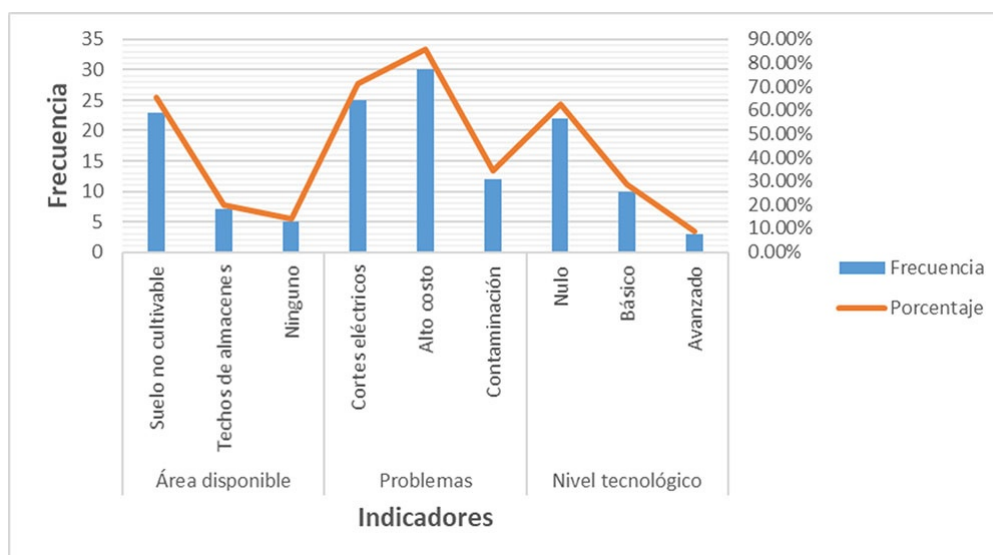


Figura 2. Comportamiento de Indicadores técnicos/infraestructura. Fuente: elaboración propia

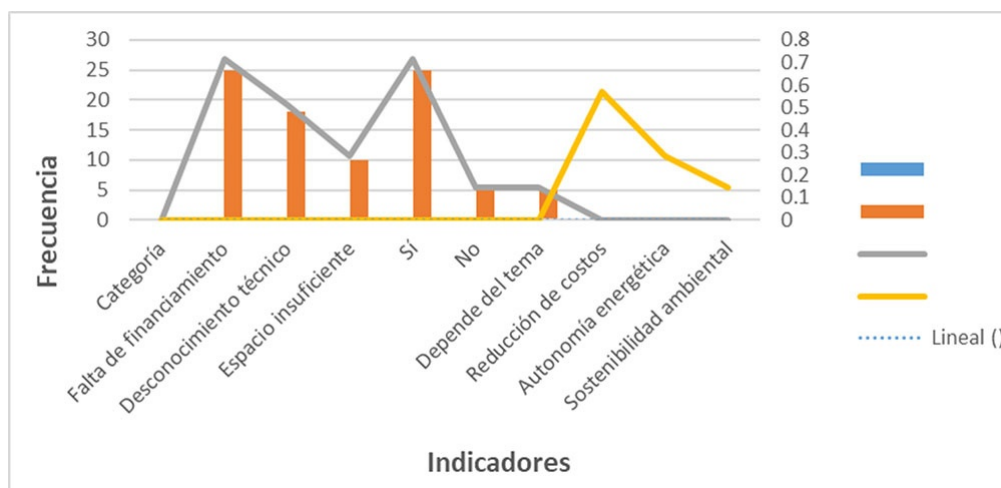


Figura 3. Comportamiento de indicadores de gobernanza y sostenibilidad. Fuente: elaboración propia

La limitante del 71,40% identifica falta de financiamiento como principal obstáculo. Correlación con solo 14,30% que prioriza sostenibilidad ambiental. Por tanto, el 71,40% responde "Sí" a implementar soluciones, pero 51,40% carece de conocimiento técnico. Además, hay como prioridad económica la reducción de costos (57,10%) triplica la prioridad de la sostenibilidad (14,30%), reforzando la urgencia de modelos financieros viables. La muestra evidencia una alta viabilidad técnica (65,70% de espacio disponible) y compromiso colectivo, pero requiere soluciones financieras viables para avanzar (Tabla 1).

La muestra evidencia alta viabilidad técnica (65,70% de espacio disponible) y compromiso colectivo (71,40% dispuesto a capacitarse), pero requiere soluciones de financiamiento (71,40% lo señala como barrera crítica).

La energía fotovoltaica (FV) es clave para la sostenibilidad agrícola, pero su gestión inadecuada genera problemas críticos. Estos son los principales factores y consecuencias. Utilizando las 6M (Metodología Ishikawa), se identifican las causas raíz que impiden la gestión eficiente (Figura 4):

Explicación por Categoría

1. Mano de Obra

- Capacitación insuficiente: 70% de técnicos agrícolas carecen de formación en renovables.
- Resistencia cultural: 62% de trabajadores prefieren métodos tradicionales por desconocimiento.

2. Métodos

- Falta de protocolos: no tienen manuales de eficiencia energética.
- Viabilidad no evaluada: no se realiza estudios preliminares (irradiación, carga energética).

3. Materiales

- Barreras económicas: Inversión inicial promedio: \$25.000 - \$50.000\$ (retorno en >7 años).
- Cadena de suministro: 40% de cooperativas reportan dificultad para importar componentes.

4. Maquinaria

- Infraestructura incompatible: 55% de unidades tienen redes eléctricas > 20 años.
- Espacios limitados: 30% carece de techos con orientación óptima (sur, 15-30° inclinación).

5. Medición

- Datos inexactos: 60% no mide consumo por equipos (bombeo).
- ROI indefinido: Falta de métricas para calcular
- Ahorro = Costo actual – Costo fotovoltaico.

6. Medio Ambiente

- Clima: Zonas con > 120 días nublados/año reducen eficiencia en 40%.
- Marco legal: inexistencia de normativas para el uso de energía renovable

Tabla 1. Resumen estadístico

Dimensión	Indicador Clave	Media (%)	Desviación
Socioeconómica	Gasto >\$1.000 USD	28,60%	±4,20%
Técnica	Espacio en techos	65,70%	±6,10%
Gobernanza	Disposición a capacitarse	71,40%	±5,80%

Fuente: Elaboración propia

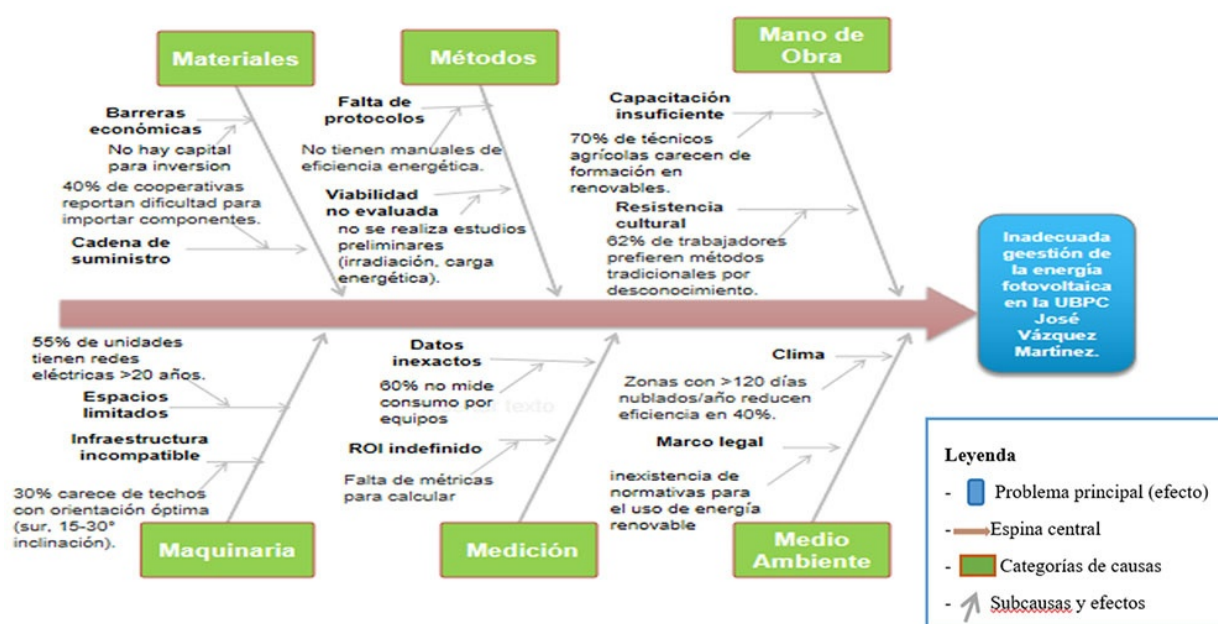


Figura 4. Diagrama Causa/efecto. Fuente: elaboración propia

Se desarrolló una matriz de decisión (Tabla 2.) para la toma de decisiones, la cual evalúa y compara diferentes alternativas en función de múltiples criterios en la UBPC, asignando una puntuación. Esta es específica para la evaluación de proyectos fotovoltaicos con el objetivo de asignar puntuaciones (0-10) a 12 indicadores técnicos, económicos y ambientales para priorizar proyectos fotovoltaicos en cooperativas agrícolas.

Clave de evaluación

Puntuación máxima por dimensión: Técnica: 40 puntos, Económica: 40 puntos y Ambiental: 40 puntos. Total, máximo: 120 puntos

Interpretación: ≥ 90 puntos: Viabilidad alta (priorizar proyecto), 60-89 puntos: Viabilidad media (requiere ajustes) y < 60 puntos: Viabilidad baja (replantear estrategia).

Esta matriz transforma 12 variables complejas en un índice de viabilidad claro, facilitando la toma de decisiones en cooperativas. La viabilidad alta de 93 indica que la UBPC en términos de los criterios evaluados cuenta con condiciones favorables para operar y desarrollarse. Existen oportunidades que pueden ser bien aprovechada y se cuenta con el apoyo de los miembros de la cooperativa y posiblemente de la comunidad.

Estas medidas buscan equilibrar las tres dimensiones, garantizando una sostenibilidad integral del proyecto.

Basado en los indicadores socioeconómicos, técnicos y de gobernanza evaluados permitió proponer mejoras encaminadas a la sostenibilidad integral.

A partir de los resultados, se proponen las siguientes mejoras:

- Fortalecer programas de capacitación.
- Empleo local vinculados a la operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.

- Implementar planes de mantenimiento preventivo y mejorar la eficiencia mediante la incorporación de tecnologías más avanzadas.
- Consolidar mecanismos de participación comunitaria y establecer políticas internas de gestión ambiental que refuercen la reducción de emisiones y el uso racional del suelo.
- Agrovoltaje piloto: Instalar estructuras elevadas en 0,5 ha de cultivo, monitoreando: Microclima bajo paneles (humedad/temperatura).
- Rendimiento agrícola vs. zonas sin paneles.
- Plan de economía circular: Acuerdo con fabricantes para retiro futuro de paneles

Por tanto, se diseñó una ruta crítica para la secuencia de actividades que determina la duración total del proyecto. Esto incluyó las tareas que no pueden ser retrasadas sin afectar la fecha de finalización del proyecto.

Ruta crítica (12 meses)

El gráfico a continuación resume las fases principales y su duración estimada, desde el estudio preliminar hasta la firma de acuerdos (Figura 5).

Algunas actividades se realizan en paralelo; la ruta crítica incluye la obtención de permisos y la participación comunitaria.

Impacto esperado:

- Año 1: 30% de reducción en costos energéticos en áreas administrativas.
- Año 3: Autosuficiencia en bombeo de agua para riego (usando solo energía solar).
- Año 5: Reconversión total a agrovoltaje en 50% de tierras cultivables.

Tabla 2. Matriz de decisión para la UBPC José Vázquez Martínez

Indicador	Valor	Puntuación	Justificación
Espacio disponible	1885 m ²	10	Techos disponibles sin uso agrícola
Radiación solar	20,9 kW h/m ² /día	10	Datos validados con piranómetro casero
Estado de red	15 años	0	Transformador ampliable
Conocimiento técnico	25% nivel básico	7	1 talleres realizados
Gasto energético	1885 USD/mes	10	Alto costo por riego eléctrico
ROI anual	18%	10	Límite de viabilidad (5,5 años)
Financiamiento	Subsidio 60%	7	Programa estatal vigente
Periodo retorno	6,2 años	8	Inversión recuperable en 74 meses
Huella carbono	420 t CO ₂ /año	7	Uso diésel en maquinaria
Reducción emisiones	120 t CO ₂ /año	7	Equivalente a 2900 árboles/año
Impacto recursos	0% suelo agrícola	10	Paneles solo en techos
Alineación ODS	ODS 7, 12, 13	7	Energía limpia, producción sostenible
TOTAL		93	Viabilidad ALTA

Fuente: elaboración propia

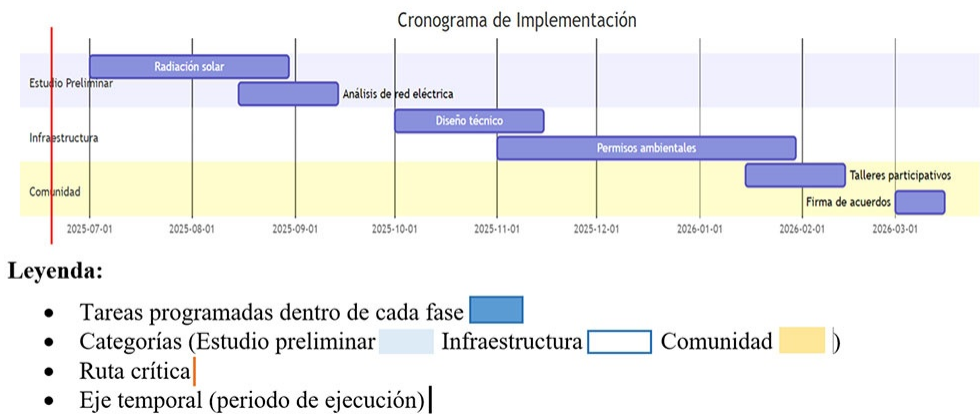


Figura 5. Ruta crítica propuesta. Fuente: elaboración propia

Las acciones de economía circular son estrategias que aprovechan recursos existentes, minimizan residuos y preparan la transición energética:

- La integración del ciclo de biomateriales en la economía circular con la gestión de energía fotovoltaica representa una oportunidad para avanzar hacia un modelo energético más sostenible. Este enfoque no solo promueve el uso eficiente de recursos, sino que también contribuye a la reducción del impacto ambiental y al desarrollo de soluciones innovadoras para la producción y gestión energética como se muestra en la [Tabla 3](#).
- La simbiosis hídrica energética vinculada a la economía circular en las labores agrícolas representa una oportunidad significativa para transformar la producción agrícola hacia un modelo más sostenible. Al integrar el uso eficiente del agua y la energía, se pueden lograr sistemas agrícolas más resilientes, productivos y respetuosos con el medio ambiente.
- Impacto: Recircula el 90% del agua y reduce un 75% la energía para bombeo (preparación para solar). Eficiencia en el Uso de Recursos contribuye a la integración de sistemas hídricos y

energéticos permite un uso más eficiente del agua y la energía, reduciendo costos y aumentando la productividad agrícola.

- La cadena de valor sinérgica es fundamental para avanzar hacia una economía circular efectiva. Al fomentar la colaboración, optimizar el uso de recursos y cerrar ciclos, se puede lograr un sistema productivo más sostenible que beneficie tanto a las empresas como al medio ambiente, aquí se evidencia en la [Tabla 4](#).

Implementar este enfoque requiere un compromiso conjunto entre todos los actores involucrados, así como un marco regulatorio que apoye estas iniciativas.

Los resultados confirman la viabilidad del proyecto fotovoltaico en la UBPC, destacando la fortaleza de las dimensiones socioeconómica y de gobernanza, y señalando áreas de mejora en la dimensión técnica. La combinación de ponderación equitativa y factorial otorgó robustez al análisis, reduciendo la subjetividad y reflejando la variabilidad real de los datos. La aplicación de la matriz de decisión, junto con las medidas de mejora y la planificación mediante ruta crítica, ofrece un marco integral para avanzar hacia la sostenibilidad energética en el ámbito cooperativo.

Tabla 3. Biomateriales

Acción	Implementación	Beneficio circular
Biofertilizantes	Digestores anaeróbicos para transformar estiércol/residuos en fertilizante.	Reduce compra de químicos (+ 40% nutrientes reciclados).
Bioplásticos agrícolas	Uso de plásticos biodegradables de almidón de yuca o plátano.	Elimina 8 ton/año de plásticos convencionales no reciclables
Enmiendas de suelo	Compostaje de podas y rastrojos con lombricultura.	Mejora retención hídrica (+ 30%) y captura CO ₂ .

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Cadena de valor sinérgica

Recurso subutilizado	Producto circular	Mercado meta
Bagazo de caña	Tableros aglomerados para construcción	Cooperativas vecinas
Pulpa de café	Biocombustible para secadoras	Procesadoras locales
Huesos de frutas	Carbón activado para filtros	Acueductos rurales

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

- El diagnóstico realizado en la UBPC “José Vázquez Martínez” revela múltiples deficiencias que obstaculizan la gestión adecuada de la energía fotovoltaica. Entre ellas destacan el limitado conocimiento técnico del personal, la ausencia de métricas de evaluación energética y la carencia de normativas específicas sobre energía solar. Sin embargo, también se identificaron fortalezas significativas que pueden convertirse en oportunidades estratégicas para la implementación de un sistema fotovoltaico.
- A partir de los indicadores diseñados, técnicos, económicos y ambientales, se elaboró una matriz de decisión, se definió una ruta crítica de actividades y se estructuraron tres fases de mejora junto con cuatro acciones orientadas a la economía circular. Se elaboraron herramientas de decisión (matriz, ruta crítica) y se propusieron fases de mejora y acciones de economía circular que abordan la sostenibilidad integral y contribuyen a la viabilidad de la UBPC para adoptar soluciones energéticas sostenibles.
- La evaluación evidencia que, a pesar de las limitaciones actuales, la cooperativa cuenta con condiciones favorables para avanzar hacia un modelo energético más eficiente y resiliente. La implementación de sistemas fotovoltaicos no solo contribuiría a reducir los costos operativos y mitigar los cortes eléctricos, sino que también fortalecería la sostenibilidad ambiental y el desarrollo agroindustrial del territorio. La metodología aplicada, basada en indicadores multicriterio y técnicas de análisis participativas, ofrece un marco replicable para futuras evaluaciones de proyectos renovables en el ámbito cooperativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELLA, M.A.: “Dimensionado de sistemas fotovoltaicos”, *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*. Tesis para optar al título de maestría, Departamento de Energías Renovables. Escuela de organización industrial, 2014.
- ARENCIBIA, C., G.: “La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica”, *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(9): 1-4, 2016, ISSN: 1695-7504.
- FERNÁNDEZ, L.: *Países líderes en capacidad instalada de energía renovable a nivel mundial en 2023 (en GigaVolt)*, [en línea], Statista, 2024a, Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/267233/renewable-energy-capacity-worldwide-by-country/>.
- FERNÁNDEZ, L.: *Países líderes en consumo de energía renovable a nivel mundial en 2023 (en exaJoule)*, [en línea], Statista, 2024b, Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/237090/renewable-energy-consumption-of-the-top-15-countries/>.
- GARCÍA, J.; PÉREZ, M.; LÓPEZ, R.: “Gestión de recursos energéticos renovables: Un enfoque práctico”, *Revista Cubana de Energía*, 12(3): 45-60, 2021.
- IRENA: *Estadísticas de energía renovable 2024*, [en línea], Inst. Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), 2024, Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2024.pdf.
- MARTÍN, B.A.M.; LEYVA, F.G.; HERNÁNDEZ, R.G.: “Criterio de expertos para fundamentar un procedimiento que evalúe la sostenibilidad económica de la inversión energética renovable en Sancti Spiritus, Cuba”, *Cofin Habana*, 17(2), 2023, ISSN: 2073-6061.
- MINEM-CUBA: *Informe sobre Energías Renovables en Cuba*, [en línea], Inst. Ministerio de Energía y Minas, La Habana, Cuba, 2023, Disponible en: <http://www.minem.gob.cu>.
- NAVARRO, N.D.A.; VILLAMIL, C.J.E.; GARNICA, M.J.P.; JARAMILLO, B.C.: “Evaluación de un enfoque modificado de escuelas de campo en la apropiación de conocimientos en agricultores de arracacha”, *Revista Ciencia y Agricultura*, 19(3): 1-16, 2022, ISSN: 0122-8420.
- PNUD: *Informe sobre desarrollo humano*, [en línea], Inst. PNUD, 2022, Disponible en: <https://www.undp.org>.
- RIVERA, J.S.; BAYONA, W.N.: “Estudio de viabilidad de sistemas fotovoltaicos como fuente de energía: caso Universidad San Gregorio Portoviejo”, *Conciencia Digital*, 5(2): 162-183, 2022, ISSN: 2600-5859.
- SANTOS, A.; HERNÁNDEZ, Y.; DÍAZ, R.: *Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda*, Inst. Poder Popular La Tunas, Cuba, Las Tunas, Cuba, 5 p., 2017.
- WORLD ECONOMIC FORUM: *Estado de la energía mundial: en gráficos*, [en línea], Inst. World Economic Forum, 2022, Disponible en: <https://es.weforum.org/stories/2022/08/este-es-el-estado-de-la-energia-mundial-en-graficos/>.