

RESEARCH ARTICLE

Tendencias, avances y vacíos en las investigaciones y aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos para el desarrollo rural: un estado del arte con énfasis en Manabí, Ecuador

Guerrero-Calero, Juan Manuel ^{1,2}  Maytín-Fumero, Carlos ²  Indacochea-Ganchozo, Blanca Soledad ³ 

¹ Programa Doctoral en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Venezuela

² Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

³ Carrera de Agropecuaria, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

✉ Correspondencia: juan.guerrero@unesum.edu.ec ☎ +593 99 043 8723

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj93353>

Resumen: La contribución de los sistemas fotovoltaicos al desarrollo rural no depende únicamente de su capacidad para generar electricidad, sino también de las condiciones sociales, económicas y territoriales donde se implementan. Por ello, este estudio analizó las principales tendencias, avances y vacíos de conocimiento sobre el uso de sistemas fotovoltaicos para el desarrollo rural, con especial énfasis en su importancia para la provincia de Manabí, Ecuador. Se realizó un estado del arte crítico a partir de la revisión y verificación de 42 documentos, de los cuales 39 fueron seleccionados para el análisis. Los estudios se organizaron en cuatro áreas temáticas y se complementaron con un análisis exploratorio de relaciones entre términos. Los resultados mostraron una mayor presencia de investigaciones relacionadas con gobernanza, sostenibilidad y aplicaciones productivas, mientras que solo seis documentos abordaron directamente contextos rurales y cinco presentaron referencias específicas a Manabí. Entre los principales avances se identificaron propuestas de dimensionamiento de sistemas, almacenamiento de energía y aplicaciones para servicios rurales. Sin embargo, la evidencia disponible fue limitada para comparar aspectos como la continuidad del suministro eléctrico, el mantenimiento de los sistemas, los costos de reposición y los efectos socioeconómicos a largo plazo. Estos resultados muestran la necesidad de realizar evaluaciones territoriales que integren la calidad del suministro eléctrico, el mantenimiento, los



Check for
updates

Cita: Guerrero-Calero, J. M., Maytín-Fumero, C. Y Indacochea-Ganchozo, B. (2026). Tendencias, avances y vacíos en las investigaciones y aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos para el desarrollo rural: un estado del arte con énfasis en Manabí, Ecuador. Green World Journal, 09(03), 353. <https://doi.org/10.53313/gwj93353>

Received: 30/septiembre /2026

Accepted: 12/octubre /2026

Published: 14/octubre /2026

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.

Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial

editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2026 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

usos productivos y las condiciones locales, con el fin de orientar decisiones más sostenibles sobre electrificación rural en Manabí.

Palabras claves: sistemas fotovoltaicos; electrificación rural; desarrollo rural; sostenibilidad energética; Manabí.

Trends, Advances, and Gaps in Research and Applications of Photovoltaic Systems for Rural Development: A State-of-the-Art Review with Emphasis on Manabí, Ecuador.

Abstract: The contribution of photovoltaic systems to rural development depends not only on their capacity to generate electricity but also on the social, economic, and territorial conditions in which they are implemented. Therefore, this study analyzed the main trends, advances, and knowledge gaps related to the use of photovoltaic systems for rural development, with particular emphasis on their relevance to the province of Manabí, Ecuador. A critical state-of-the-art review was conducted based on the examination and verification of 42 documents, of which 39 were selected for analysis. The studies were organized into four thematic areas and complemented by an exploratory analysis of relationships among terms. The results showed a greater presence of research related to governance, sustainability, and productive applications, while only six documents directly addressed rural contexts and five included specific references to Manabí. The main advances identified included system sizing, energy storage, and applications for rural services. However, the available evidence was limited for comparing aspects such as continuity of electricity supply, system maintenance, replacement costs, and long-term socioeconomic effects. These findings highlight the need for territorial assessments that integrate electricity supply quality, maintenance, productive uses, and local conditions in order to support more sustainable decision-making for rural electrification in Manabí.

Keywords: photovoltaic systems; rural electrification; rural development; energy sustainability; Manabí.

1. Introducción

El desarrollo rural requiere un suministro energético capaz de sostener las actividades domésticas, los servicios comunitarios y la producción local, de modo que el interés por los sistemas fotovoltaicos debe examinarse tanto desde su capacidad de generación como desde las condiciones que permiten aprovecharla de manera duradera; Izam et al. (1) sitúan estas tecnologías dentro de una transición que comprende desempeño energético, sostenibilidad y barreras de adopción, mientras Rumbayan et al. (2) relacionan su implementación rural con distintas metas de desarrollo sostenible, lo que invita a distinguir entre la disponibilidad de una solución tecnológica y la evidencia sobre sus contribuciones efectivas al bienestar de las comunidades.

En los territorios donde extender la red eléctrica resulta complejo, la generación fotovoltaica aislada y las configuraciones híbridas ofrecen alternativas cuya pertinencia depende de la demanda, el almacenamiento y la confiabilidad del suministro; Karamov et al. (3) muestran que la planificación de sistemas autónomos involucra objetivos que pueden competir entre sí, como reducir costos y consumo de combustibles o mejorar la seguridad del servicio, por lo que comparar soluciones únicamente mediante su potencia instalada deja fuera decisiones relevantes sobre la calidad de la energía disponible y la capacidad de atender necesidades que cambian con las actividades económicas y comunitarias.

La investigación desarrollada en Ecuador permite reconocer avances en el diseño de soluciones adaptadas a localidades rurales, como la herramienta de optimización presentada por Domenech et al. (4), que incorpora aspectos técnicos, económicos y sociales al evaluar configuraciones individuales y microrredes en tres comunidades amazónicas; por su parte, Cuenca et al. (5) proponen procedimientos de dimensionamiento y simulación de sistemas aislados que integran módulos, controladores, baterías e inversores, aunque el alcance de estos aportes exige diferenciar la viabilidad estimada mediante modelos de la continuidad operativa y los beneficios comprobados después de la implementación, especialmente cuando se pretende trasladar sus resultados a territorios con condiciones distintas.

Las aplicaciones fotovoltaicas vinculadas con la agricultura amplían las posibilidades de investigación más allá de la electrificación de viviendas, al plantear combinaciones entre producción energética y aprovechamiento del suelo; Chopdar et al. (6) examinan la agrivoltaica desde perspectivas técnicas, ambientales y sociales, mientras Asa'a et al. (7) advierten que la selección de cultivos, el diseño de los arreglos y los efectos del sombreado condicionan su funcionamiento, de manera que la coexistencia de paneles y actividades agrícolas debe evaluarse mediante balances situados entre rendimiento, uso de recursos y viabilidad económica, sin asumir que una experiencia favorable en determinada región conservará los mismos resultados bajo otras condiciones agroclimáticas.

La dimensión institucional introduce una segunda corriente de análisis en la que la tecnología se estudia a través de las formas de organización, la participación y las reglas que orientan su utilización; Lode et al. (8), mediante un estudio participativo en una comunidad rural española, articulan la optimización energética con criterios locales y restricciones regulatorias, identificando desafíos legales y financieros que influyen en la implementación, mientras Bielig et al. (9) muestran que los beneficios sociales atribuidos a las comunidades energéticas todavía requieren evidencia más robusta, particularmente longitudinal y comparativa, lo que aconseja examinar con cautela las promesas de autonomía, inclusión y fortalecimiento comunitario asociadas a estas iniciativas.

Para Manabí, el análisis territorial encuentra un antecedente reciente en Navas Bayona et al. (10), quienes estiman el potencial fotovoltaico de varios cantones y documentan diferencias en el recurso solar que pueden orientar evaluaciones posteriores; sin embargo, su aproximación al potencial de generación y al autoconsumo no demuestra por sí misma impactos sobre el desarrollo rural, de modo que la pertinencia provincial de las investigaciones debe examinarse también considerando las características de la demanda, las posibilidades de mantenimiento, los costos de reposición y las formas de gestión, como condiciones que requieren documentación específica antes de formular recomendaciones de aplicación para las comunidades rurales manabitas.

La lectura conjunta de estos antecedentes plantea la necesidad de articular los avances de ingeniería con la consideración de las condiciones territoriales e institucionales que intervienen en su aplicación, manteniendo la distinción entre resultados simulados, experiencias implementadas y efectos evaluados; para organizar esa lectura, este estado del arte propone cuatro orientaciones analíticas —electrificación rural, gobernanza y políticas públicas, avances

tecnológicos, y aplicaciones sectoriales y cadenas de valor— que admiten relaciones y superposiciones, mientras las experiencias urbanas se consideran por su posible aporte transferible al ámbito rural y los vacíos se examinan a partir de la cobertura y solidez de la evidencia, evitando equiparar una baja frecuencia temática con la inexistencia de investigación.

La pregunta que guía este estudio es: ¿cuáles son las principales tendencias, avances y vacíos en las investigaciones y aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos para el desarrollo rural, y qué significado tienen para la provincia de Manabí, Ecuador? A partir de esta pregunta, el objetivo es analizar de manera crítica la información disponible mediante una revisión documental, un análisis temático y apoyo bibliométrico. Para ello, se comparan distintos grupos de estudios y se integran sus principales aportes, con el fin de identificar qué conocimientos pueden ser útiles para el contexto rural de Manabí y cuáles son las principales limitaciones de la evidencia existente.

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño y objetivo

Se realizó un estudio documental del estado del arte de tipo crítico, con un enfoque descriptivo e interpretativo, para revisar y organizar la información disponible sobre el uso de sistemas fotovoltaicos en el desarrollo rural. Los documentos fueron agrupados según temas comunes y se analizaron las relaciones entre sus principales descriptores. El propósito fue identificar las principales tendencias, avances y vacíos de conocimiento presentes en la literatura revisada, y analizar qué tan útiles y aplicables pueden ser estos hallazgos para el contexto rural de la provincia de Manabí, Ecuador. La delimitación se apoyó en Kraus et al. (11), quienes distinguieron las revisiones sistemáticas de otras modalidades de síntesis y reconocieron la utilidad de organizar previamente las áreas de cobertura; en este estudio, la unidad de análisis fue cada documento y las conclusiones se circunscribieron a la colección examinada.

2.2. Conformación y verificación del corpus

El estudio se desarrolló a partir de un corpus documental de 42 registros que ya había sido recopilado previamente y organizado en dos matrices. La primera estuvo conformada por 23 documentos procedentes de bases de datos e índices regionales, mientras que la segunda reunió 19 documentos procedentes de bases de datos e índices de alcance internacional. Los trabajos analizados fueron publicados entre 2008 y 2025 e incluyeron artículos científicos, revisiones, trabajos de titulación, libros e informes en español e inglés, procedentes de distintas bases de datos e índices bibliográficos, entre ellos SciELO, ERIH PLUS, Latindex, Scopus y Dialnet.

Debido a que no se contó con información completa sobre la estrategia utilizada originalmente para localizar y seleccionar esos documentos, el estudio no se plantea como una revisión sistemática exhaustiva. Por esta razón, los resultados y conclusiones se limitan al conjunto de documentos analizados.

Para mantener el orden y facilitar el seguimiento de la información, se conservaron los títulos, autores y descriptores originales, y cada documento fue identificado con un código único entre FV01 y FV42. Posteriormente, el 5 de octubre de 2026, se realizó una verificación

bibliográfica complementaria mediante la consulta de títulos en Crossref, fichas editoriales, repositorios y enlaces disponibles. Esta revisión permitió confirmar y completar la información de los registros existentes, pero no incorporó nuevos documentos mediante una búsqueda sistemática adicional.

La identidad se contrastó por DOI y, cuando este no estuvo disponible, por título, autoría y año, conservándose por separado el dato original, el dato localizado y las discrepancias de cotejo. De los 42 registros inicialmente considerados, 31 presentaban DOI declarado y en 11 no se localizó este identificador. La comparación actual de claves no detectó repeticiones, aunque la ausencia de duplicados en la lista recibida no permitió reconstruir la depuración previa. La limpieza y la trazabilidad se orientaron por Lim et al. (12), mientras las fuentes de verificación actual se diferenciaron de las bases de recuperación original, cuya procedencia individual, ecuaciones, filtros, fechas y cantidades iniciales no estuvieron documentados.

2.3. Criterios de pertinencia y selección actual

Antes de construir las redes del corpus retenido, se aplicaron criterios explícitos de pertinencia a la información verificable de cada registro, considerando su contribución a sistemas fotovoltaicos rurales o a aspectos tecnológicos, territoriales, sectoriales y de gobernanza relevantes para interpretar su aplicación. Se asignó la categoría de núcleo rural fotovoltaico a los documentos que abordaron expresamente sistemas FV en territorios rurales, electrificación remota o servicios rurales, y se mantuvo como contexto la evidencia provincial, urbana, industrial o sobre renovables y desarrollo rural que aportó un marco de comparación; esta segunda categoría no se utilizó como prueba de desempeño fotovoltaico rural ni de impacto en Manabí.

La evaluación actual retuvo 39 documentos, distribuidos en 22 del primer conjunto y 17 del segundo, y excluyó tres registros: FV11, centrado en concentración solar térmica; FV40, referido a relaciones macroeconómicas de energía verde; y FV42, sobre exportaciones minerales y emisiones, sin contribución fotovoltaica rural específica identificada en la información consultada. Los 39 retenidos se distribuyeron en seis documentos del núcleo rural y 33 de contexto, con decisión, motivo y fecha registrados en la matriz; siguiendo la atención de Sauer y Seuring (13) a la coherencia entre elegibilidad y síntesis, estos conteos se atribuyeron exclusivamente a la evaluación actual, sin estimar exclusiones históricas ni presentar la selección como cribado independiente por dos revisores.

Los documentos de contexto se conservaron únicamente cuando aportaban elementos tecnológicos, institucionales, ambientales o productivos útiles para interpretar las posibilidades de aplicación de los sistemas fotovoltaicos rurales.

2.4. Extracción documental y clasificación temática

Se dispuso del texto completo de 18 documentos. Para los otros 21 se utilizaron resúmenes, metadatos y extractos verificables disponibles en las fuentes consultadas. La matriz de extracción incorporó identificación bibliográfica, territorio o ámbito, método informado, aporte, limitaciones expresamente localizadas, restricciones de interpretación y localizador de evidencia; las afirmaciones de los documentos se diferenciaron de los resultados observados, las simulaciones, las propuestas de viabilidad y los marcos conceptuales, y la ausencia de

una limitación en las secciones consultadas no se interpretó como ausencia de limitaciones del estudio.

Estas categorías se utilizaron porque representan cuatro dimensiones complementarias de la aplicación fotovoltaica al desarrollo rural: A, electrificación rural y soluciones aisladas; B, gobernanza, políticas y sostenibilidad socioecológica; C, avances tecnológicos fotovoltaicos; y D, aplicaciones sectoriales y cadenas de valor, permitiéndose asignaciones múltiples. Saunders et al. (14) sustentaron la organización y revisión de contenidos relevantes, sin trasladar a este trabajo las condiciones participativas de su guía; la clasificación se apoyó en la evidencia disponible por documento y se registró como una interpretación deductiva, diferenciada de las comunidades detectadas matemáticamente y sin cálculo de concordancia entre codificadores. Las definiciones operativas de las cuatro orientaciones se sintetizaron en la Figura 1.



Figura 1. Categorías temáticas utilizadas para el análisis documental

Nota. Elaboración propia. Las categorías orientaron la clasificación deductiva y admitieron asignaciones múltiples; no representaron comunidades algorítmicas ni relaciones causales..

2.5. Construcción y comparación de redes

Se utilizó Python 3.12.14, con NumPy 2.3.5 y Matplotlib 3.10.8, como único entorno de procesamiento y visualización, construyéndose una red para cada conjunto retenido y una red integrada sobre los 39 identificadores únicos. La entrada correspondió a los descriptores sugeridos de las matrices originales, conservados como términos asignados en el material de trabajo y no como palabras clave de los autores; se aplicaron normalización Unicode NFKC, minúsculas y ajuste de espacios, sin eliminar tildes, traducir términos ni fusionar sinónimos, para evitar introducir equivalencias conceptuales no respaldadas por un tesauruso validado.

Cada término se contó una vez por documento y cada enlace no dirigido recibió un peso igual al número de documentos que contuvieron ambos términos, excluyéndose autoenlaces y repeticiones internas; la especificación principal conservó frecuencias y pesos mínimos de uno, sin normalización por fuerza de asociación. Las comunidades se obtuvieron mediante

una implementación de fusión voraz de modularidad ponderada, iniciada con un término por comunidad y con resolución gamma igual a uno, que combinó en cada iteración la pareja con mayor ganancia positiva superior a 10^{-12} y resolvió empates mediante orden lexicográfico; no se impuso un único clúster ni se equipararon los grupos originales con bases bibliográficas individuales.

Los mapas de relaciones entre términos se organizaron de manera que aquellos que aparecían con mayor relación dentro de los documentos quedaran más próximos entre sí. Para facilitar su lectura, el tamaño de cada nodo representó la frecuencia con la que aparecía un término en los documentos y los colores permitieron distinguir los diferentes grupos de términos relacionados. La distancia entre grupos separados se utilizó únicamente con fines visuales y no representa una mayor o menor relación temática.

También se realizaron varias pruebas para comprobar si la forma de las redes cambiaba al modificar algunos criterios del análisis, como la frecuencia mínima de aparición de los términos, la intensidad de sus relaciones y el nivel utilizado para formar los grupos. Estas pruebas permitieron conocer qué tan estables eran los resultados y evitar interpretaciones excesivas. Además, se conservaron los datos utilizados, los nodos, las relaciones, el código y las principales métricas del análisis para asegurar la trazabilidad del procedimiento. Los resultados obtenidos inicialmente con los 42 documentos se mantuvieron únicamente como respaldo del proceso, mientras que el análisis final se realizó con los documentos seleccionados.

2.6. Síntesis e interpretación territorial

Las tendencias se definieron como patrones temáticos y temporales dentro del corpus retenido, los avances como aportes respaldados por la información consultada y los vacíos como insuficiencias de cobertura o de evidencia identificables en esa colección. De acuerdo con Lim y Kumar (15), las métricas de red se interpretaron junto con el contenido documental, sin atribuir importancia causal a la centralidad, novedad a la periferia ni ausencia de investigación a términos poco frecuentes; la sensibilidad observada restringió el uso de comunidades a una representación exploratoria de los descriptores.

La relación con Manabí se examinó distinguiendo evidencia provincial, antecedentes ecuatorianos y experiencias externas de transferencia condicionada, con atención a demanda, recurso solar, usos productivos, mantenimiento, financiamiento y organización local. Los esquemas orientaron las categorías conceptuales, mientras los hallazgos se vincularon con sus documentos de origen; el acceso desigual a textos completos, la heterogeneidad de diseños, la selección previa de la colección y la falta de una procedencia bibliográfica original trazable limitaron la exhaustividad y la evaluación crítica, por lo que no se efectuaron metaanálisis, regresiones para reconstruir datos históricos ni estimaciones causales de impactos rurales.

3. Resultados

3.1. Composición y cobertura del corpus

La evaluación documental retuvo 39 de los 42 registros recibidos, con 22 documentos en el primer conjunto (artículos obtenidos de bases de datos regionales) y 17 en el segundo (artículos obtenidos de bases de datos de alcance internacional), tras excluir un estudio de concentración solar térmica y dos análisis macroeconómicos sin contribución fotovoltaica rural específica identificable en la información consultada. La colección quedó integrada por seis documentos referidos a asentamientos rurales con disponibilidad de generación de energía fotovoltaica y 33 de contexto, una distribución que situó el análisis directo de la electrificación y los servicios rurales dentro de un repertorio más amplio de tecnologías, políticas y aplicaciones sectoriales; la Tabla 1 presenta esta composición y el nivel de acceso que sustentó la extracción.

Tabla 1. Composición y disponibilidad documental del corpus.

Característica	n	%
Registros recibidos	42	—
Retenidos	39	92,9
Excluidos	3	7,1
Núcleo rural fotovoltaico	6	15,4
Documentos de contexto	33	84,6
Texto completo recuperado y consulta selectiva	18	46,2
Resumen o extracto verificable	21	53,8
Publicados entre 2022 y 2025	26	66,7

Nota. Elaboración propia. Los porcentajes de selección corresponden a los 42 registros iniciales, mientras que la composición y disponibilidad documental se describen sobre los 39 retenidos.

La evaluación documental retuvo 39 de los 42 registros recibidos, con 22 documentos en el primer conjunto (artículos obtenidos de bases de datos regionales) y 17 en el segundo (artículos obtenidos de bases de datos de alcance internacional), tras excluir un estudio de concentración solar térmica y dos análisis macroeconómicos sin contribución fotovoltaica rural específica identificable en la información consultada. La colección quedó integrada por seis documentos referidos a asentamientos rurales con disponibilidad de generación de energía fotovoltaica y 33 de contexto, una distribución que situó el análisis directo de la electrificación y los servicios rurales dentro de un repertorio más amplio de tecnologías, políticas y aplicaciones sectoriales; la Tabla 1 presenta esta composición y el nivel de acceso que sustentó la extracción.

Entre los documentos retenidos, como puede verse, 26 se publicaron entre 2022 y 2025, equivalentes al 66,7 % del corpus, mientras los 13 restantes aportaron antecedentes de 2008 a 2021. La colección combinó así una mayoría de trabajos recientes con referencias históricas útiles para reconocer la evolución de los enfoques temáticos, conservando los dos conjuntos como grupos documentales de procedencia; esta distribución temporal caracterizó el material analizado y su cobertura, más que el ritmo de crecimiento de la investigación fotovoltaica en su conjunto.

3.2. Distribución de las orientaciones temáticas

La clasificación temática reunió 22 documentos en la categoría temática gobernanza, políticas y sostenibilidad socioecológica –B–, 21 en aplicaciones sectoriales y cadenas de valor –D–, 16 en avances tecnológicos –C– y ocho en electrificación rural y soluciones aisladas –A–, con cruces que produjeron 67 asignaciones para los 39 documentos.

Como muestra la Tabla 2, las categorías B y D tuvieron mayor presencia en una colección que incorporó numerosos antecedentes de contexto, mientras la categoría A agrupó los seis trabajos directamente rurales junto con dos aportes conceptuales o territoriales, ampliando la lectura de la electrificación hacia sus condiciones de aplicación.

Tabla 2. Cobertura de las cuatro orientaciones temáticas

Orientación	n	% del corpus
A. Electrificación rural y soluciones aisladas	8	20,5
B. Gobernanza, políticas y sostenibilidad socioecológica	22	56,4
C. Avances tecnológicos fotovoltaicos	16	41,0
D. Aplicaciones sectoriales y cadenas de valor	21	53,8

Nota. Elaboración propia. Un mismo documento pudo contribuir a varias orientaciones, por lo que los porcentajes reflejan la presencia de cada temática en el corpus.

La lectura de las cuatro orientaciones permitió reconocer asuntos compartidos entre el diseño y el uso de la tecnología, como la relación A-C en el dimensionamiento de sistemas aislados, A-D en servicios de agua y salud, y B-D en adopción, organización y cadenas de valor. Estas conexiones expresaron los contenidos que coincidieron en los documentos y dieron forma a una síntesis donde los avances de ingeniería se examinaron junto con las condiciones sociales y territoriales de su aplicación.

3.3. Avances y restricciones de la evidencia en el ámbito rural

Dentro de los estudios relacionados directamente con el ámbito rural, Ávila-Paredes et al. (16) analizaron experiencias de América Latina, con especial atención al caso ecuatoriano. Sus resultados mostraron que los sistemas fotovoltaicos pueden ofrecer beneficios ambientales, aunque también presentan dificultades relacionadas con los costos y la viabilidad financiera. Por su parte, Karamov et al. (3) estudiaron el uso de sistemas fotovoltaicos en zonas remotas y destacaron la importancia del almacenamiento de energía, la confiabilidad del servicio y una adecuada planificación del sistema. En conjunto, ambos trabajos muestran que no basta con conocer si existe suficiente recurso solar; también es necesario considerar aspectos técnicos, económicos y de funcionamiento para determinar si una solución fotovoltaica puede mantenerse y responder adecuadamente a las necesidades de las comunidades rurales.

Cuenca et al. (5) desarrollaron una herramienta de dimensionamiento y modelos de simulación para sistemas fotovoltaicos aislados en tres localidades de Ecuador: Pedernales, en la provincia de Manabí; Ambuquí, en la provincia de Imbabura; y Cuyabeno, en la provincia de Sucumbíos. El diseño consideró componentes como paneles solares, controladores, baterías e inversores, con el fin de estimar una configuración adecuada para zonas sin acceso estable a la red eléctrica. La inclusión de Pedernales permitió relacionar directamente el estudio con la realidad de Manabí. Sin embargo, el modelo no consideró algunos aspectos técnicos, como el consumo propio de ciertos equipos, las pérdidas de energía en los conductores y determinadas protecciones electrónicas. Por ello, su principal aporte se encuentra en el diseño

y la simulación del sistema, pero no permite conocer cómo funcionó realmente después de su instalación ni si mantuvo un servicio continuo a lo largo del tiempo.

La diversificación de servicios rurales apareció en el estudio de Chiliquinga Chariguamán (17), relacionado con el suministro eléctrico de un sistema de abastecimiento de agua mediante evaluación del recurso y del consumo, así como en Hosseini Dehshiri y Firoozabadi (18), quienes examinaron una configuración fotovoltaica con almacenamiento de hidrógeno para centros sanitarios rurales iraníes.

3.4. Diversificación tecnológica y condiciones de aplicación

Los documentos de contexto ampliaron el repertorio de avances hacia la integración de funciones energéticas y ambientales, como el trabajo experimental de Öztürk et al. (19), que combinó un colector fotovoltaico-térmico, almacenamiento térmico y modificaciones de superficie con nanomateriales. El resultado identificado fue una línea de evaluación conjunta de energía, exergía y sostenibilidad, cuyo carácter experimental no equivalió a validación para la realidad rural ecuatoriana; en paralelo, las revisiones de dispositivos y sistemas híbridos aportaron configuraciones potenciales, con distintos grados de madurez y requisitos de adaptación.

La aplicación productiva quedó representada por Steren et al. (20), quienes modelaron en Israel la integración de paneles transparentes e invernaderos mediante un marco de servicios ecosistémicos, relacionando producción agrícola, electricidad y usos del suelo. Su aporte al corpus se registró como una evaluación de escenarios y compensaciones entre funciones productivas, sin trasladar las magnitudes estimadas a Manabí ni asumir que los cultivos, los precios o las condiciones agroclimáticas provinciales conservarían los mismos balances.

En relación con la aceptación de esta tecnología por parte de los usuarios, Alkawsí et al. (21) analizaron las respuestas de 758 hogares para conocer qué factores favorecen o dificultan la instalación de sistemas fotovoltaicos residenciales. El estudio encontró que la decisión de adoptar esta tecnología no depende únicamente de sus características técnicas, sino también de aspectos como la percepción de los usuarios, los beneficios esperados, los costos y los incentivos disponibles. Sin embargo, estos resultados corresponden a un contexto residencial específico y, por tanto, no pueden aplicarse directamente a las comunidades rurales de Manabí. Aun así, el estudio aporta información útil para comprender que la incorporación de sistemas fotovoltaicos también está influida por factores sociales y económicos, además de los aspectos técnicos y territoriales.

La sostenibilidad también se examinó a lo largo de la cadena de valor, tal como mostraron Rojas Hernández et al. (22) al proponer indicadores ambientales para paneles fotovoltaicos en Cuba y Su et al. (23) al comparar alternativas de tratamiento y recuperación de recursos en aguas residuales de fabricación mediante ciclo de vida y costos. El corpus incluyó así impactos y decisiones anteriores al uso final de los paneles, con beneficios económicos y ambientales que dependieron de la alternativa evaluada; estos resultados ampliaron la cobertura de la revisión sin constituir evidencia del manejo de residuos o del desempeño de cadenas de suministro en Manabí.

3.5. Estructura de las redes y sensibilidad del análisis

Las redes de descriptores sugeridos mostraron 82 términos y 187 enlaces en el primer conjunto, frente a 79 términos y 177 enlaces en el segundo, con cuatro y diez componentes conectados, respectivamente. La integración produjo 153 términos, 364 enlaces, seis componentes y 11 comunidades algorítmicas, mientras ocho términos estuvieron presentes en ambos conjuntos. Las Figuras 2 y 3 muestran sus estructuras, mientras que la Tabla 3 reúne los indicadores principales y las pruebas de sensibilidad, conservando la distinción entre componentes conectados y comunidades de modularidad.

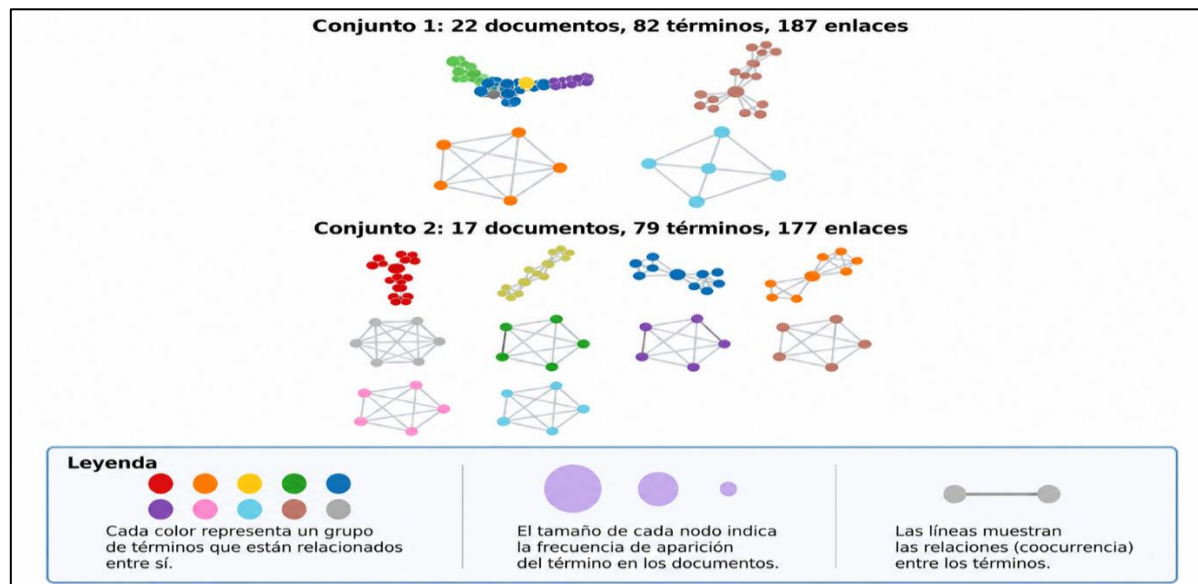


Figura 2. Redes exploratorias de los dos conjuntos documentales

Nota. Elaboración propia. El tamaño de los nodos refleja la frecuencia de los descriptores y los colores distinguen las comunidades identificadas dentro de cada red.

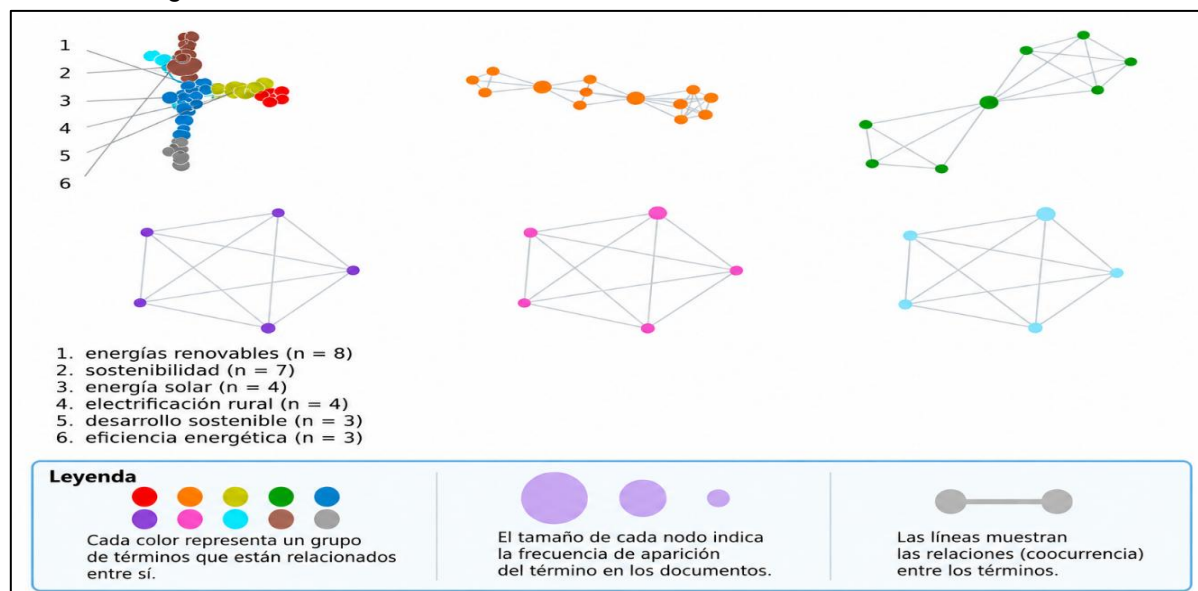


Figura 3. Red integrada de descriptores del corpus retenido

Nota. Elaboración propia sobre los 39 documentos retenidos. El tamaño de cada nodo aumenta según el número de documentos en los que aparece el término. Los colores representan agrupaciones de términos que tienden a aparecer relacionados dentro de la red. Los números

identifican los seis términos más frecuentes y n indica el número de documentos en los que fueron registrados.

Tabla 3. Estructura de las redes y sensibilidad a los parámetros

Red o prueba	Términos	Enlaces	Componentes	Comunidades	Q
Conjunto 1	82	187	4	8	0,729
Conjunto 2	79	177	10	10	0,866
Integrada	153	364	6	11	0,803
Frecuencia 2	17	16	3	6	0,599
Enlace 2	153	2	151	151	0,500
Resolución	153	364	6	9	0,871
0.5					
Resolución	153	364	6	13	0,752
1.5					

Nota. Elaboración propia. Los términos corresponden a los descriptores analizados y los enlaces muestran sus relaciones. Los componentes y comunidades reflejan cómo se agrupan dentro de la red. El valor Q indica el grado de agrupación, y las pruebas de frecuencia, enlace y resolución permiten comprobar la estabilidad de los resultados.

En las redes de las figuras 2 y 3 los descriptores más frecuentes fueron «energías renovables», presente en ocho documentos, «sostenibilidad», en siete, y «electrificación rural» y «energía solar», en cuatro cada uno. La mayor parte del vocabulario tuvo una presencia puntual, con 136 de los 153 términos registrados en un solo documento –88,9 %–, circunstancia que reflejó la dispersión de descriptores y la decisión metodológica de conservar variantes sin fusionar sinónimos; estas frecuencias describieron los términos asignados en las matrices y no palabras clave originales de los autores.

Al elevar a dos la frecuencia mínima se conservaron 17 términos y 16 enlaces, distribuidos en tres componentes y seis comunidades, mientras el umbral de dos documentos por enlace dejó únicamente las parejas «electrificación rural-energías renovables» y «eficiencia energética-sostenibilidad». En esta última prueba se mantuvieron los 153 nodos, de los cuales 149 quedaron aislados, por lo que los 151 componentes y comunidades resultantes expresaron fragmentación y no 151 líneas de investigación; al variar la resolución de 0.5 a 1.5, el número de comunidades pasó de nueve a 13, acotando su interpretación a agrupaciones exploratorias sensibles a los parámetros.

Estos resultados muestran que las relaciones entre los temas analizados no tienen la misma fuerza. Cuando se aplicaron criterios más exigentes, muchas conexiones desaparecieron y solo se mantuvieron algunas relaciones frecuentes, como la de electrificación rural con energías renovables y la de eficiencia energética con sostenibilidad. Esto indica que la literatura revisada presenta una organización temática diversa y todavía poco concentrada en grupos claramente definidos. Por ello, las comunidades identificadas en la red deben entenderse como una forma de visualizar cómo se relacionan los temas dentro de los documentos analizados, y no como líneas de investigación completamente consolidadas.

3.6. Evidencia territorial y vacíos identificables para Manabí

Se localizaron cinco documentos con referencia provincial o cantonal explícita: el diseño de Pedernales, el estudio rural de Chone, el libro de planificación provincial y los trabajos de Portoviejo y Montecristi. Dentro de este grupo, Cuenca et al. (5) aportaron simulación de sistemas aislados y Vélez Quiroz (24) documentó problemas de calidad del suministro por extensión de red junto con criterios de factibilidad y cartografía; la evidencia consultada permitió reconocer necesidades y alternativas técnicas, sin extraer de estos antecedentes una estimación causal de beneficios posteriores a una instalación fotovoltaica.

Rodríguez Gámez y Vázquez Pérez (25) organizaron cartografía y recurso solar para la planificación provincial, mientras García-Pinargote y Rodríguez-Gámez (26) estudiaron la viabilidad de electrificación de una plaza comercial en Portoviejo y Zambrano Solorzano y Guamán Segura (27) desarrollaron una revisión documental sobre viabilidad ambiental en Montecristi. Como muestra la Tabla 4, sus aportes se concentraron en recurso, planificación y factibilidad, con escalas y objetos de estudio diferentes; la ubicación provincial aportó pertinencia territorial, pero los casos urbano-comerciales y municipales no se equipararon a evaluaciones de desarrollo rural.

Tabla 4. Aportes provinciales y límites de interpretación para Manabí

Documento y ámbito	Aporte identificado	Alcance de la evidencia
Cuenca et al. (5) Pedernales y dos localidades externas	Dimensionamiento y simulación FV aislada	Diseño simulado; sin evaluación de efectos rurales posteriores.
Vélez Quiroz (24) Chone rural	Diagnóstico de calidad eléctrica, cartografía y factibilidad	Antecedente de campo y alternativas; sin efecto causal FV extraído.
Rodríguez Gámez y Vázquez Pérez (25) Provincia de Manabí	Recurso solar y planificación territorial	Libro técnico; no evaluación de impacto comunitario.
García-Pinargote y Rodríguez- Gámez (26) Portoviejo	Viabilidad FV en una plaza comercial	Caso urbano; transferencia rural condicionada.
Zambrano Solorzano y Guamán Segura (27) Montecristi	Revisión sobre viabilidad ambiental	Síntesis documental; no operación de una instalación.

Nota. Elaboración propia.

La revisión de los seis documentos enfocados en zonas rurales mostró que no todos presentan el mismo tipo de información, lo que dificulta compararlos entre sí. En varios casos no fue posible encontrar datos similares sobre el funcionamiento de los sistemas a lo largo del tiempo, los costos de reposición, el mantenimiento o los cambios sociales y económicos después de su implementación. Además, los estudios sobre usos productivos y servicios de salud fueron realizados en contextos y con métodos diferentes. Por ello, el principal vacío identificado es la falta de información comparable que permita relacionar el funcionamiento

técnico de los sistemas fotovoltaicos con sus resultados en los estudios vinculados con Manabí. También debe considerarse que 21 documentos solo pudieron revisarse de manera parcial, por lo que esta falta de información no significa necesariamente que no existan más investigaciones sobre el tema.

1. Discusión

El análisis mostró una mayor presencia de estudios relacionados con la gobernanza y las aplicaciones sectoriales de los sistemas fotovoltaicos, mientras que solo seis documentos abordaron de manera directa contextos rurales. Esto indica que todavía resulta difícil establecer con claridad cómo el buen desempeño técnico de estos sistemas se traduce en un servicio continuo y en beneficios sostenidos para las comunidades rurales. En este sentido, Cuenca-Enrique et al. (28) señalaron que la sostenibilidad de los proyectos de electrificación depende no solo de la tecnología, sino también de aspectos como el financiamiento, la operación, el mantenimiento y la integración con las condiciones sociales y económicas de cada territorio. De manera similar, Eales et al. (29) analizaron una minirred en Malawi y encontraron que un buen funcionamiento técnico no garantiza por sí solo su sostenibilidad financiera. Por su parte, Carabajal et al. (30) identificaron cambios sociales y económicos en comunidades de Kenia y Nigeria mediante entrevistas realizadas antes y después de la conexión eléctrica. En comparación con estos trabajos, los estudios rurales revisados en esta investigación se concentraron principalmente en el diseño, la factibilidad y la revisión documental. Por ello, todavía existe una distancia importante entre demostrar que un sistema puede instalarse y comprobar que genera beneficios sostenidos para sus usuarios. Estos resultados externos sirven como referencia, pero no pueden trasladarse directamente a Manabí.

Los avances encontrados en aspectos como el dimensionamiento, el almacenamiento de energía y los servicios rurales deben analizarse en función de las necesidades reales de cada comunidad. No es lo mismo diseñar un sistema para iluminación doméstica que para bombeo de agua, actividades agrícolas o pequeños negocios, ya que cada uso requiere condiciones diferentes de generación y almacenamiento. En este sentido, Wassie y Ahlgren (31), a partir de mediciones y encuestas realizadas en dos localidades de Etiopía, encontraron diferencias entre el consumo de los hogares y el de los negocios, así como limitaciones asociadas con la disponibilidad del suministro eléctrico. Estos resultados muestran que no es conveniente utilizar un mismo perfil de consumo para todos los contextos rurales. En el ámbito agrícola, Mamun et al. (32) destacaron las posibilidades de combinar la generación fotovoltaica con el uso productivo del suelo, aunque también señalaron la falta de modelos financieros más completos. De forma similar, Cinderby et al. (33) identificaron en Kenia y Tanzania dificultades relacionadas con la inversión inicial, la tenencia de la tierra y el aprovechamiento de la energía generada. En conjunto, estos estudios muestran que la utilidad de los sistemas fotovoltaicos depende de las características de los cultivos, el uso del agua, las necesidades energéticas y las capacidades de quienes administran los sistemas. Por ello, cualquier propuesta para Manabí debe considerar primero las condiciones específicas del territorio y de sus actividades productivas.

En el caso de Manabí, los cinco antecedentes provinciales identificados se concentraron principalmente en el recurso solar disponible, la planificación y la factibilidad técnica. Estos estudios ofrecen una base importante para diseñar sistemas fotovoltaicos, pero aportan poca información sobre su funcionamiento a largo plazo o sobre los cambios producidos en las comunidades después de su instalación. Como referencia adicional, Mera-Bravo y Rodríguez-Gámez (34) analizaron la electrificación rural en la provincia desde una perspectiva documental, geográfica y técnica, y señalaron la viabilidad de sistemas fotovoltaicos autónomos. Sin embargo, demostrar su factibilidad técnica no permite conocer por sí solo sus resultados sociales, económicos o productivos a largo plazo.

Por otra parte, Mogrovejo-Narvaez et al. (35) identificaron en Ecuador obstáculos para la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, entre ellos los altos costos iniciales, las dificultades de financiamiento, los trámites administrativos y la falta de conocimiento técnico. Aunque este estudio se desarrolló principalmente en un contexto urbano, sus resultados ayudan a comprender algunas barreras que también podrían ser relevantes para otros territorios. En conjunto, los estudios revisados sugieren que disponer de un buen recurso solar no es suficiente para garantizar el éxito de un sistema fotovoltaico. También es necesario considerar cómo se financiará, quién asumirá el mantenimiento y la reposición de equipos, qué tipo de asistencia técnica estará disponible y cómo participarán los usuarios en su gestión. Estos aspectos deberían formar parte de futuras evaluaciones en Manabí.

La red integrada de descriptores se utilizó como una herramienta exploratoria para observar cómo se relacionaban los principales temas presentes en los documentos. Sin embargo, muchos términos aparecieron solo en un estudio y las agrupaciones cambiaron al modificar los parámetros del análisis. Por esta razón, los grupos identificados deben interpretarse con cautela y no como líneas de investigación completamente consolidadas. Su principal utilidad fue mostrar posibles relaciones entre aspectos tecnológicos, productivos y de gestión. Por ejemplo, Gelchu et al. (36) demostraron que las características de la demanda pueden influir en el tamaño y los costos de los sistemas fotovoltaicos, mientras que Akram Cheema et al. (37) destacaron la importancia del desensamblaje, la recuperación de materiales y el reciclaje de paneles al final de su vida útil. Esto muestra que la sostenibilidad de un sistema fotovoltaico debe analizarse desde su instalación y funcionamiento hasta el manejo de sus componentes una vez que dejan de utilizarse.

Dado que el conjunto documental fue conformado previamente y 21 documentos solo pudieron consultarse mediante resúmenes o extractos, los resultados deben interpretarse considerando estas limitaciones. En este contexto, el principal vacío identificado corresponde a la falta de información comparable que permita relacionar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos con sus efectos sobre el desarrollo rural. Para avanzar en esta relación se necesitan estudios de seguimiento en Manabí que evalúen aspectos como la continuidad y calidad del suministro eléctrico, los costos de mantenimiento y reposición durante la vida útil del sistema, así como los cambios generados en los servicios, las actividades productivas y las condiciones de las comunidades rurales.

2. Conclusión

El estado del arte permitió identificar, en los 39 documentos retenidos, una diversificación de las investigaciones y aplicaciones fotovoltaicas hacia sistemas aislados, almacenamiento y servicios rurales, acompañada de una presencia amplia de gobernanza, sostenibilidad y usos sectoriales. La organización en cuatro orientaciones mostró conexiones entre diseño técnico y condiciones de aplicación, mientras las redes ayudaron a explorar la estructura de los descriptores dentro de la colección. Los avances documentados aportaron alternativas de ingeniería y criterios de factibilidad, pero la heterogeneidad de los seis trabajos directamente rurales y de la información disponible limitó la comparación de continuidad operativa, mantenimiento y resultados socioeconómicos, por lo que la contribución principal del estudio consistió en delimitar qué relaciones pudieron sustentarse y cuáles permanecieron pendientes de evaluación.

La pertinencia para Manabí se apoyó en antecedentes provinciales que vincularon recurso solar, planificación y diseño con necesidades de electrificación, aunque su alcance no permitió establecer beneficios comunitarios posteriores a la instalación. A partir de esa evidencia, la investigación futura debería integrar seguimiento del suministro y de los costos de reposición con el análisis de servicios rurales y actividades productivas, considerando la participación de los usuarios y la capacidad local de mantenimiento. El carácter delimitado de la colección, el acceso parcial a parte de los documentos y la sensibilidad de las redes acotaron las conclusiones al material examinado; dentro de ese alcance, el estudio ofreció una base crítica para orientar evaluaciones que permitan valorar cuándo y bajo qué condiciones los sistemas fotovoltaicos pueden contribuir de manera sostenida al desarrollo rural de la provincia.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Izam NSMN, Itam Z, Sing WL, Syamsir A. Sustainable development perspectives of solar energy technologies with focus on solar photovoltaic—A review. *Energies*. 2022;15(8):2790. <https://doi.org/10.3390/en15082790>
2. Rumbayan M, Kindangen J, Sambul A, Sompie S, Cross J. Solar energy implementation in rural communities and its contributions to SDGs: A systematic literature review. *Unconventional Resources*. 2025;6:100180. <https://doi.org/10.1016/j.uncres.2025.100180>
3. Karamov DN, Ilyushin PV, Suslov KV. Electrification of rural remote areas using renewable energy sources: Literature review. *Energies*. 2022;15(16):5881. <https://doi.org/10.3390/en15165881>
4. Domenech B, Ferrer-Martí L, García F, Hidalgo G, Pastor R, Ponsich A. Optimizing PV microgrid isolated electrification projects—A case study in Ecuador. *Mathematics*. 2022;10(8):1226. <https://doi.org/10.3390/math10081226>
5. Cuenca A, Oña C, Suquillo I, Miniguano H. Design methodology of off-grid PV solar powered systems for rural areas in Ecuador. *Revista Técnica energía*. 2023;20(1):43-51. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.537>

6. Chopdar RK, Sengar N, Giri NC, Halliday D. Comprehensive review on agrivoltaics with technical, environmental and societal insights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024;197:114416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114416>
7. Asa'a S, Reher T, Rongé J, Diels J, Poortmans J, Radhakrishnan HS, et al. A multidisciplinary view on agrivoltaics: Future of energy and agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024;200:114515. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114515>
8. Lode ML, Felice A, Martinez Alonso A, De Silva J, Angulo ME, Lowitzsch J, et al. Energy communities in rural areas: The participatory case study of Vega de Valcarce, Spain. *Renewable Energy*. 2023;216:119030. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119030>
9. Bielig M, Kacperski C, Kutzner F, Klingert S. Evidence behind the narrative: Critically reviewing the social impact of energy communities in Europe. *Energy Research & Social Science*. 2022;94:102859. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102859>
10. Navas Bayona WI, Durango Espinoza RS, Landívar Chávez EF. El potencial de la energía fotovoltaica como fuente de electricidad en Manabí. *Ciencia Digital*. 2022;6(1):91-115. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v6i1.1956>
11. Kraus S, Breier M, Lim WM, Dabić M, Kumar S, Kanbach D, et al. Literature reviews as independent studies: Guidelines for academic practice. *Review of Managerial Science*. 2022;16(8):2577-2595. <https://doi.org/10.1007/s11846-022-00588-8>
12. Lim WM, Kumar S, Donthu N. How to combine and clean bibliometric data and use bibliometric tools synergistically: Guidelines using metaverse research. *Journal of Business Research*. 2024;182:114760. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114760>
13. Sauer PC, Seuring S. How to conduct systematic literature reviews in management research: A guide in 6 steps and 14 decisions. *Review of Managerial Science*. 2023;17(5):1899-1933. <https://doi.org/10.1007/s11846-023-00668-3>
14. Saunders CH, Sierpe A, von Plessen C, Kennedy AM, Leviton LC, Bernstein SL, et al. Practical thematic analysis: A guide for multidisciplinary health services research teams engaging in qualitative analysis. *BMJ*. 2023;381:e074256. <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-074256>
15. Lim WM, Kumar S. Guidelines for interpreting the results of bibliometric analysis: A sensemaking approach. *Global Business and Organizational Excellence*. 2024;43(2):17-26. <https://doi.org/10.1002/joe.22229>
16. Ávila-Paredes MV, Flores-Lazo ET, Cobos-Torres JC, Alvarez-Vera MS. Sistemas fotovoltaicos en sectores del Ecuador con difícil acceso y/o desprovistos de servicio eléctrico: Un estudio desde las experiencias latinoamericanas. *Revista Fuentes el Reventón Energético*. 2023;21(2):29-44. <https://doi.org/10.18273/revfue.v21n2-2023003>
17. Chiliquinga Chariguamán DA. Estudio de sostenibilidad con energía fotovoltaica para el abastecimiento de electricidad al sistema de agua del barrio Mariscal Sucre [tesis de maestría]. Ambato: Universidad Técnica de Ambato; 2022. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36942>

18. Hosseini Dehshiri SS, Firoozabadi B. Building integrated photovoltaic with hydrogen storage as a sustainable solution in Iranian rural healthcare centers. *Energy Conversion and Management*. 2024;314:118710. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118710>
19. Öztürk M, Yüksel C, Çiftçi E. Energy, exergy and sustainability analysis of a photovoltaic-thermal solar system with nano-enhancement and thermal energy storage integration. *Process Safety and Environmental Protection*. 2024;187:593-604. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.05.026>
20. Steren A, Slater Y, Rubin OD, Fleischer A, Kan I. Toward sustainable practices in photovoltaic and agricultural greenhouse systems: An ecosystem services framework. *Energy Economics*. 2025;144:108364. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108364>
21. Alkaws G, Ibrahim N, Al-Sharafi MA, Mustafa AS, Radzi HM, Capretz LF. Determinants of uptake the residential solar photovoltaic system and its impact on environmental sustainability: Evidence from PLS-SEM and fuzzy sets (fsQCA). *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2024;57:101795. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2024.101795>
22. Rojas Hernández D, Díaz García S, Espinosa Martínez EG, Pelegrín Mesa A. Indicadores de sostenibilidad ambiental en la cadena de valor de paneles fotovoltaicos en Cuba. *Revista Estudios Ambientales - Environmental Studies Journal*. 2022;10(2):79-98. <https://doi.org/10.47069/estudios-ambientales.v2i2.1580>
23. Su P, Li L, Zhou H, Li H, Zhu W, He H, et al. Environmental and economic sustainability of the novel photovoltaic industrial wastewater treatment systems from life cycle perspective. *Environmental Research*. 2025;272:121157. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121157>
24. Vélez Quiroz AM. Estudio de la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y su impacto socio económico en la zona rural del cantón Chone, Manabí, Ecuador. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT*. 2018;3(1):23-29. <https://doi.org/10.33936/riemat.v3i1.1420>
25. Rodríguez Gámez M, Vázquez Pérez A. La energía fotovoltaica en la provincia de Manabí. Portoviejo: Ediciones UTM; 2018. Disponible en: <https://utm.edu.ec/ediciones/libros-de-texto?start=30>
26. García-Pinargote DF, Rodríguez-Gámez M. Electrificación con tecnología fotovoltaica en una plaza comercial en Portoviejo. *Dominio de las Ciencias*. 2021;7(6):1499-1519. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2406>
27. Zambrano Solorzano GE, Guamán Segura JC. Estudio de viabilidad ambiental para la implementación de paneles solares para el municipio del Cantón Montecristi. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*. 2022;3(6):120-130. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.493>
28. Cuenca-Enrique C, del-Río-Carazo L, Acquila-Natale E, Iglesias-Pradas S. Sustainability of rural electrification projects in developing countries: A systematic literature review. *Energies*. 2024;17(23):5925. <https://doi.org/10.3390/en17235925>

29. Eales A, Banda E, Frame D, Strachan S. Understanding solar minigrid sustainability and impact through a holistic key performance indicator framework. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*. 2024;4(4):045008. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad8fcd>
30. Carabajal AT, Orsot A, Moudio MPE, Haggai T, Okonkwo CJ, Jarrard GT, et al. Social and economic impact analysis of solar mini-grids in rural Africa: A cohort study from Kenya and Nigeria. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*. 2024;4(2):025005. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad4ffb>
31. Wassie YT, Ahlgren EO. Determinants of electricity consumption from decentralized solar PV mini-grids in rural East Africa: An econometric analysis. *Energy*. 2023;274:127351. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127351>
32. Mamun MAA, Dargusch P, Wadley D, Zulkarnain NA, Aziz AA. A review of research on agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022;161:112351. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112351>
33. Cinderby S, Parkhill KA, Langford S, Muhoza C. Harnessing the sun for agriculture: Pathways to the successful expansion of agrivoltaic systems in East Africa. *Energy Research & Social Science*. 2024;116:103657. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103657>
34. Mera-Bravo J, Rodríguez-Gámez M. Factibilidad para la electrificación rural con tecnología fotovoltaica. 593 Digital Publisher CEIT. 2024;9(3):1139-1153. <https://doi.org/10.33386/593dp.2024.3.2490>
35. Mogrovejo-Narvaez M, Barragán-Escandón A, Zalamea-León E, Serrano-Guerrero X. Barriers to the implementation of on-grid photovoltaic systems in Ecuador. *Sustainability*. 2024;16(21):9466. <https://doi.org/10.3390/su16219466>
36. Gelchu MA, Ehnberg J, Shiferaw D, Ahlgren EO. Impact of demand-side management on the sizing of autonomous solar PV-based mini-grids. *Energy*. 2023;278:127884. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127884>
37. Akram Cheema H, Ilyas S, Kang H, Kim H. Comprehensive review of the global trends and future perspectives for recycling of decommissioned photovoltaic panels. *Waste Management*. 2024;174:187-202. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.11.025>



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>