

Electrificación de las áreas rurales: progreso, desafíos y perspectivas hacia un desarrollo sostenible.

Una revisión sistemática

Electrification of rural areas: progress, challenges, and prospects toward sustainable development. A systematic review

Recibido: 18/04/2025 - Aceptado: 15/08/2025

Víctor Antonio Hinojosa Gómez

<https://orcid.org/0000-0003-3021-8548>

Victor.hinojosa@hotmail.com

Universidad César Vallejo. Lima, Perú

Resumen

El presente artículo analiza de manera sistemática los avances, desafíos y perspectivas de la electrificación rural en el marco del desarrollo sostenible, considerando experiencias internacionales, latinoamericanas y ecuatorianas. Se presta especial atención al papel de las políticas públicas, los modelos tecnológicos implementados, la participación comunitaria y la sostenibilidad ambiental, con el fin de contribuir a la universalización del acceso energético. La investigación adopta un enfoque cualitativo basado en una revisión sistemática de la literatura, siguiendo el modelo PRISMA, que abarca cuatro fases: búsqueda, evaluación, análisis y síntesis. Se seleccionaron 15 artículos científicos entre 2013 y 2025, de un total de 440 documentos iniciales, empleando criterios de inclusión rigurosos y palabras clave vinculadas a la electrificación rural y el desarrollo sostenible. La revisión pone de manifiesto los avances logrados mediante modelos descentralizados, la ampliación de redes eléctricas y el desarrollo de microrredes basadas en energías renovables, permitiendo comparar resultados en diversas regiones del mundo. Finalmente, se destaca la importancia de las políticas públicas efectivas, el involucramiento activo de las comunidades locales y la incorporación de tecnologías renovables para garantizar impactos sostenibles a largo plazo en la electrificación rural.

Palabras clave: electrificación rural, energías renovables, desarrollo sostenible.

Abstract

This article systematically analyzes the progress, challenges, and prospects for rural electrification within the framework of sustainable development, considering international, Latin American, and Ecuadorian experiences. Special attention is paid to the role of public policies, implemented technological models, community participation, and environmental sustainability, all aimed at contributing to universal energy access. The research adopts a qualitative approach based on a systematic literature review, following the PRISMA model, which encompasses four phases: search, evaluation, analysis, and synthesis. Fifteen scientific articles were selected from a total of 440 documents, between 2013 and 2025, using rigorous inclusion criteria and keywords related to rural electrification and sustainable development. The review highlights the progress achieved through decentralized models, the expansion of electricity grids, and the development of microgrids based on renewable energy, allowing for comparisons of results across various regions. Finally, the importance of effective public policies, the active involvement of local communities, and the incorporation of renewable technologies to ensure long-term sustainable impacts of rural electrification are highlighted.

Keywords: rural electrification, renewable energy, sustainable development.

Introducción

La energía eléctrica universal es un bien fundamental para el desarrollo humano y un factor clave para disminuir la pobreza. En este sentido, la electrificación rural representa un área prioritaria en los planes de gobiernos y organismos multilaterales. Según un informe de la Agencia Internacional de Energía-IEA (2023), aproximadamente 675 millones de personas en el mundo carecían de acceso a la electricidad en 2022, la mayoría de las cuales residen en zonas rurales. La generación de electricidad confiable y sostenible no solo mejora el

bienestar en el hogar, sino que también impulsa la productividad económica, la educación, la atención en salud y la resiliencia comunitaria. Sin embargo, la implementación de proyectos de electrificación rural continúa siendo un gran desafío, especialmente en países en vías de desarrollo.

La electrificación rural es, por tanto, un elemento estratégico para el desarrollo sostenible de las comunidades, incidiendo directamente en la reducción de la pobreza, la mejora de la educación, la atención sanitaria y el crecimiento económico. De hecho, el Banco Mundial et al. (2025) indica que más de 666 millones de personas siguen sin acceso eléctrico, concentrándose en regiones rurales de países en desarrollo. Esta realidad evidencia que, pese a los avances tecnológicos y las políticas energéticas implementadas en las últimas décadas, persisten importantes barreras estructurales que dificultan la universalización del acceso a la energía.

Desde el punto de vista técnico, los programas de electrificación rural enfrentan retos significativos, como la dispersión geográfica de asentamientos, la baja densidad poblacional y los altos costos asociados a la extensión de redes eléctricas convencionales (Bhattacharyya & Palit, 2016). En respuesta, recientemente se han promovido soluciones descentralizadas basadas en energías renovables, tales como microrredes híbridas, sistemas solares domiciliarios y pequeñas plantas hidroeléctricas, que ofrecen alternativas viables, sostenibles y adaptadas a los contextos rurales.

Socialmente, el acceso a la electricidad en zonas rurales genera transformaciones profundas: mejora los resultados educativos, facilita la prestación de servicios de salud, fomenta el emprendimiento local y fortalece el empoderamiento de grupos vulnerables, en especial mujeres y jóvenes (Barnes, 2007). Sin embargo, investigaciones recientes destacan que el éxito de los proyectos de electrificación no depende únicamente de aspectos técnicos o económicos, sino también de la participación política y comunitaria. Es esencial que las personas formen parte activa mediante capacitación local y que las iniciativas cuenten con sostenibilidad financiera (Arthur et al., 2025).

El análisis de experiencias internacionales, latinoamericanas y ecuatorianas permite identificar buenas prácticas, obstáculos comunes y lecciones valiosas en la expansión del acceso energético en áreas rurales. Por ello, este artículo realiza una revisión crítica de dichas experiencias, buscando aportar a la formulación de estrategias que contribuyan a alcanzar las metas del “Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos” (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

El acceso a la energía es un derecho esencial para el desarrollo humano y la reducción de la pobreza. En particular, la electrificación de zonas rurales es una prioridad en las agendas gubernamentales y multilaterales. La disponibilidad confiable y equilibrada de electricidad no solo favorece el progreso interno, sino que también fortalece la economía local, la educación, la salud y la estabilidad social. No obstante, la implementación de proyectos eléctricos en comunidades alejadas enfrenta barreras que no se presentan en países desarrollados, donde modelos exitosos responden a las necesidades de estas áreas (La Camera, 2025).

En cuanto al modelo tradicional de electrificación en zonas rurales, este se basa en la expansión de la red nacional, estrategia adecuada en regiones con baja dispersión geográfica y densidad poblacional moderada. Este enfoque ha tenido éxito en países como China e India, donde la expansión rápida de la red permitió alcanzar cerca del 100 % de cobertura en tiempos récord. No obstante, la alta inversión en infraestructura, los costos de mantenimiento y la baja demanda en áreas remotas limitan su eficacia en zonas más aisladas (Almeshqab & Selim, 2019).

Por otro lado, los sistemas eléctricos aislados y descentralizados han avanzado gracias al desarrollo de tecnologías renovables y sistemas híbridos. Las microrredes y soluciones dispersas permiten una energía flexible y adaptada a las necesidades locales, reduciendo la dependencia de infraestructura centralizada. Entre las tecnologías más comunes se encuentran:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos (SHS), ideales para hogares individuales.
- Microrredes híbridas, que combinan generadores solares, eólicos y diésel con baterías.
- Pequeñas plantas hidroeléctricas, en zonas con recursos hídricos estables.

La adopción de estas tecnologías facilita el acceso a áreas aisladas, disminuye la huella de carbono y fortalece el sentido de pertenencia comunitario (Paz, 2016). Respecto a las políticas y esquemas financieros, es crucial diseñar marcos legales claros y estables que incentiven la inversión en electrificación rural, incluyendo subsidios, tarifas diferenciadas y regulaciones técnicas que garanticen la seguridad y viabilidad económica. Países como Etiopía y Nepal han desarrollado estrategias nacionales que combinan planificación centralizada y decisiones descentralizadas, promoviendo la expansión mediante asociaciones público-privadas e intercambio internacional (Banco Mundial, 2024). Además, para afrontar la limitada rentabilidad de varios proyectos rurales, se implementan modelos financieros mixtos como:

- Subsidios directos estatales.
- Modalidades de pago tipo "Pay-As-You-Go" (PAYG), que permiten abonar según disponibilidad.
- Fondos de electrificación rural (FER) que estimulan la inversión privada.
- Cooperativas locales de energía, que ayudan a disminuir riesgos financieros y a mejorar la estabilidad de los proyectos.

En términos sociales y económicos, la electrificación rural tiene un efecto multiplicador en el desarrollo humano. Entre los beneficios más destacados se encuentran:

- Educación: posibilita la capacitación nocturna y el acceso a tecnologías digitales e Internet.
- Salud: mejora el almacenamiento refrigerado de medicinas y equipamiento, así como la iluminación en centros médicos para atención 24 horas.
- Economía local: facilita la mecanización agrícola y diversifica las actividades comerciales.
- Igualdad de género: reduce las tareas manuales domésticas y fortalece la autonomía económica y capacidades de las mujeres mediante microempresas.

Diversos estudios también indican que la electrificación reduce la migración forzada y fortalece la cohesión social, mejorando las condiciones de vida rurales (Peters & Sievert, 2016). En relación con los desafíos y oportunidades, la expansión energética debe equilibrarse con la sostenibilidad y estabilidad ambiental. La selección de tecnologías renovables minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero y reduce la dependencia de combustibles fósiles, alineándose con la transición energética global. Sin embargo, persisten retos, tales como:

- La falta de infraestructura para el reciclaje adecuado de componentes como paneles solares y baterías.
- La necesidad de edificaciones e infraestructura capaz de resistir fenómenos climáticos severos.
- Limitaciones en la gestión comunitaria, que en ocasiones impide el paso de instalaciones a través de ciertos territorios.

En cuanto a la participación comunitaria, la estabilidad social resulta vital para el éxito de los proyectos. La experiencia internacional muestra que la planificación conjunta con las comunidades, previa a la operación, mejora considerablemente las posibilidades de resultados sostenibles a largo plazo. La capacitación técnica, el soporte tecnológico y la creación de redes locales de mantenimiento son imprescindibles para asegurar la autonomía y el buen funcionamiento de los sistemas.

Finalmente, las tecnologías innovadoras, como la inteligencia artificial para pronosticar fallas, monitorear sistemas de almacenamiento y optimizar la distribución, están transformando la percepción tradicional de la electrificación rural. Estas herramientas permiten reducir costos y aumentar la confiabilidad, abriendo nuevas perspectivas para las comunidades (Poudineh, 2025).

En síntesis, este artículo tiene como propósito analizar sistemáticamente los avances, desafíos y perspectivas de la electrificación rural en el marco del desarrollo sostenible. Se considerarán experiencias internacionales, latinoamericanas y ecuatorianas, con especial énfasis en el papel de las políticas públicas, los modelos tecnológicos implementados, la participación comunitaria y la sostenibilidad ambiental, contribuyendo así a la universalización del acceso a la energía.

Metodología

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo, basado en una revisión sistemática de la literatura, con el propósito de analizar de manera rigurosa y estructurada los avances, desafíos y oportunidades en los procesos de electrificación rural vinculados al desarrollo sostenible. Para ello, se utilizó como referente el modelo metodológico PRISMA, que contempla cuatro fases fundamentales: búsqueda, evaluación, análisis y síntesis.

1. Fase de búsqueda

Se realizó una búsqueda documental en bases de datos científicas reconocidas, tales como Scopus, Scielo, Dialnet, Google Scholar y ScienceDirect. Las palabras clave empleadas fueron: "electrificación rural", "energías renovables", "desarrollo sostenible", "acceso a la energía" y "políticas públicas energéticas". Se

seleccionaron artículos publicados entre 2013 y 2025, con la intención de incluir tanto enfoques actuales como fundamentos relevantes de la última década. Se consideraron estudios en español e inglés, incluyendo revisiones sistemáticas, estudios de caso y análisis comparativos. Por el contrario, se excluyeron tesis, informes institucionales y documentos no indexados.

2. Fase de evaluación

Tras la recopilación inicial, se evaluaron los títulos, resúmenes e índices temáticos de los documentos para determinar su pertinencia respecto a los objetivos planteados. Los criterios de inclusión fueron: a) relación directa con el acceso energético rural; b) incorporación de energías renovables en comunidades aisladas; c) análisis de las implicaciones sociales, ambientales o económicas del acceso a la electricidad. Se descartaron documentos duplicados, artículos con menos de seis páginas y aquellos que carecían de un análisis profundo sobre la electrificación rural.

3. Fase de análisis

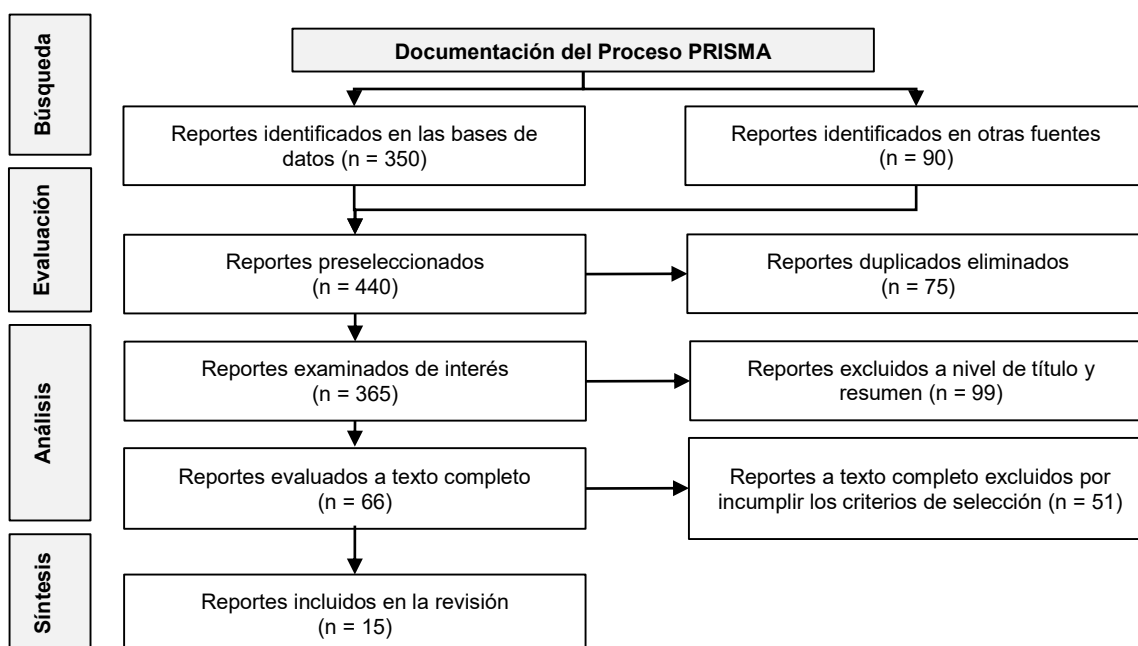
Los artículos seleccionados fueron sometidos a una lectura crítica detallada, extrayendo información relevante sobre: modelos de electrificación (convencional vs. descentralizado), impactos sociales, barreras técnicas y normativas, experiencias internacionales, participación comunitaria, sostenibilidad ambiental y propuestas de políticas públicas. Los datos se organizaron en tablas temáticas que facilitaron la identificación de patrones recurrentes, diferencias regionales y elementos innovadores.

4. Fase de síntesis

Finalmente, se integraron los hallazgos en torno a tres ejes temáticos principales: a) modelos y tecnologías aplicadas en electrificación rural; b) impacto económico y social del acceso a la energía; c) rol de las políticas y programas de financiamiento. Además, se destacaron estudios que evidenciaron el éxito de enfoques participativos y sostenibles, contrastándolos con aquellos que reflejaron limitaciones estructurales. Esta síntesis permitió formular conclusiones sólidas sobre el estado actual del tema y generar recomendaciones valiosas para investigadores, tomadores de decisiones y actores vinculados al desarrollo rural.

Figura 1

Diagrama de flujo que sintetiza el proceso de selección y depuración de los estudios, conforme a la metodología PRISMA



En total, se revisaron 440 documentos, de los cuales 15 artículos científicos cumplieron con todos los criterios de inclusión.

Resultados y discusión

1. Comparación de influencia

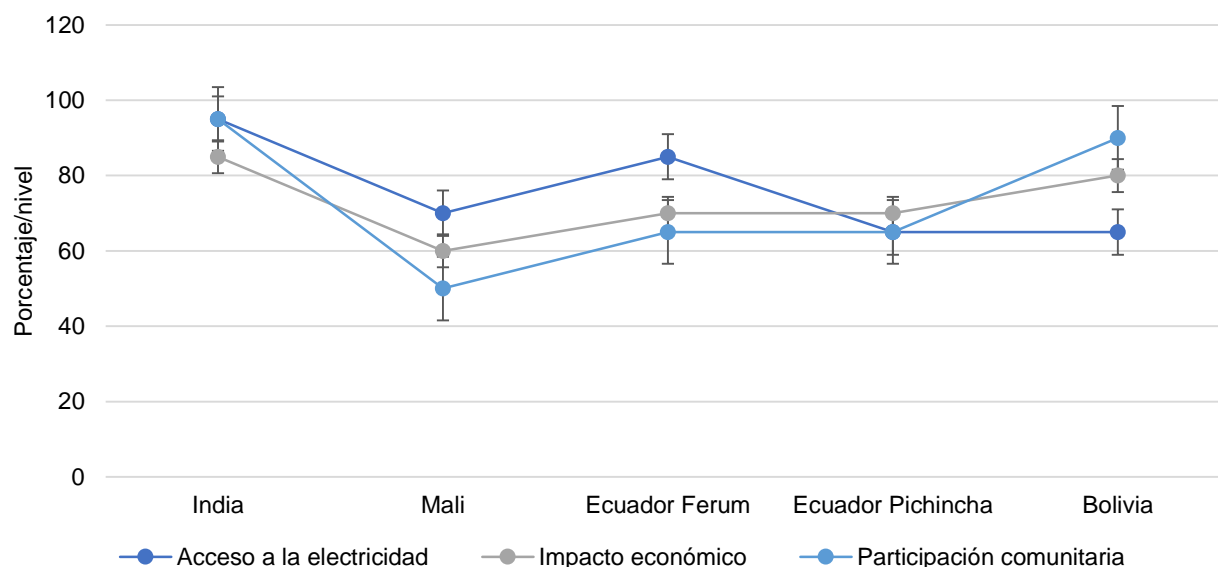
- **Reducción de la pobreza energética:** todos los estudios revisados coinciden en que la electrificación de áreas rurales contribuye significativamente a reducir la pobreza energética, aunque la magnitud del impacto varía según el contexto y el modelo empleado para electrificar las comunidades. En particular, los modelos descentralizados, como los implementados en Bangladesh según Samad & Zhang (2017) han demostrado ser efectivos para aumentar el acceso a servicios energéticos básicos en zonas alejadas de la red principal. Estos sistemas facilitan que los hogares dispongan de iluminación, refrigeración y medios de comunicación, mejorando así la calidad de vida. Además, fomentan el desarrollo de actividades productivas y educativas, factores clave para romper el ciclo de pobreza energética a largo plazo.
- **Impacto en la educación y la salud:** la investigación destaca un efecto positivo en el acceso a la educación, al permitir que escuelas y hogares cuenten con iluminación durante la noche. Por ejemplo, Lenz et al. (2017) documentaron notables mejoras en los resultados educativos en Etiopía tras implementar sistemas híbridos de electrificación.
- **Desarrollo económico local:** los resultados en este aspecto son consistentes, aunque matizados. Peters & Sievert (2016) y Lenz et al. (2017) señalan que, aunque la electrificación mejora las condiciones de vida, su impacto directo en los ingresos o resultados económicos familiares en los primeros años suele ser limitado si no se complementa con programas paralelos de desarrollo o capacitación económica.
- **Estabilidad financiera:** Samad & Zhang (2017) resaltan el potencial de los modelos de pago por uso (PAYG) en países en desarrollo, donde los costos iniciales representan una barrera importante para el acceso a la energía. Este enfoque ofrece una mayor estabilidad financiera en comparación con soluciones tradicionales.

2. Experiencia internacional

A continuación, se presenta una comparación basada en casos específicos de electrificación rural en África, Asia y América Latina, enfatizando sus impactos sociales, económicos y técnicos:

Autor(es)	Año	Región	Modelo de Electrificación	Resultados relevantes
Peters & Sievert	2016	África subsahariana	Extensión de red	Reducción moderada de la pobreza, impacto limitado en producción agrícola, altos costos asociados al consumo doméstico.
Bhattacharyya & Palit	2016	Asia (India y Bangladesh)	Microrredes renovables	Mejora en educación y actividades comerciales, reconocimiento social elevado, aunque limitaciones en la capacidad de alcance.
Samad & Zhang	2017	Bangladesh	PAYG y microfinanzas para sistemas solares	Reducción marcada de la pobreza energética, respuesta rápida e impactos económicos positivos en microempresas rurales.
Lenz et al.	2017	Etiopía	Electrificación híbrida descentralizada (solar-diésel)	Mejoras considerables en educación y acceso continuo; beneficios económicos limitados en etapas iniciales por baja demanda.
Ávila et al.	2023	América Latina (Ecuador)	Sistemas solares fotovoltaicos	Reducción de contaminación; viabilidad depende de subsidios y políticas públicas.

Figura 2
Comparación de indicadores de electrificación rural



3. Discusión: niveles estudiados

Un análisis comparativo permite extraer las siguientes conclusiones:

- La expansión de la red eléctrica, según Peters & Sievert (2016) es eficaz para garantizar la estabilidad del suministro, pero sus costos elevados dificultan su implementación en zonas dispersas y el impacto económico suele resultar limitado.
- Los sistemas solares fotovoltaicos, según Ávila et al. (2023) y las microrredes renovables Bhattacharyya, (2016) ofrecen costos menores, adaptabilidad rápida y flexibilidad frente a contextos geográficos diversos, aunque requieren una planificación cuidadosa para su escalabilidad futura.
- Los modelos híbridos y flexibles de pago, según Samad & Zhang (2017) evidencian que la integración comunitaria es crucial para la sostenibilidad a largo plazo, independientemente de la tecnología aplicada.

Del mismo modo, y en relación con la gráfica (Figura 2), se realiza una comparación de tres indicadores clave —acceso a la electricidad, impacto económico y participación comunitaria— en proyectos de electrificación rural a nivel internacional, en América Latina y en Ecuador, con especial énfasis en el programa FERUM y en la provincia de Pichincha.

1. **India (Barefoot College):** destaca por sus elevados indicadores en acceso, participación comunitaria y beneficios económicos, reflejando un modelo integral que combina cobertura, capacitación comunitaria y generación de ingresos directos.
2. **Malí (VLIGHT):** presenta acceso moderado a la electricidad, con problemas de estabilidad y limitada participación comunitaria, lo que se traduce en un impacto económico indirecto, manifestando la necesidad de políticas y programas complementarios para el desarrollo local.
3. **Ecuador (FERUM):** ha logrado una amplia cobertura en acceso eléctrico gracias a la inversión estatal, aunque los indicadores económicos y sociales mantienen niveles medios por la poca participación comunitaria, evidenciando que la electrificación debe articularse con políticas de desarrollo productivo.
4. **Ecuador (Pichincha):** muestra alta participación y enfoques de gestión innovadores, aunque con un impacto económico moderado; lo que sugiere que la electrificación por sí sola no garantiza el desarrollo socioeconómico, requiriendo apoyo técnico y capacitación.

5. **Bolivia:** ha logrado un notable empoderamiento comunitario a través de sistemas fotovoltaicos domiciliarios, aunque el nivel de acceso y el impacto económico se mantienen en rangos medios, debido a limitaciones técnicas y en el diseño de políticas.

Conclusiones

La electrificación de las áreas rurales va más allá de un proceso técnico; se erige como una herramienta clave para reducir las brechas de desigualdad y avanzar hacia un desarrollo sostenible. La combinación de políticas estatales integradas, modelos de negocio innovadores y tecnologías limpias resulta fundamental para garantizar un acceso real y sostenible a la energía en el largo plazo. La experiencia acumulada demuestra que abordar simultáneamente los aspectos sociales, ambientales y económicos es el enfoque más adecuado para alcanzar los objetivos de una electrificación universal.

Asimismo, la electrificación rural debe considerarse una política pública que se implemente junto con tecnologías adaptativas, programas financieros accesibles y la participación activa de las comunidades beneficiarias. El estudio evidencia que no existe una solución única aplicable en todo contexto, sino que la efectividad de cada modelo depende del entorno económico, geográfico y social donde se desarrolla, garantizando así que el acceso a la energía sea un servicio básico universal.

Los datos reflejan que los modelos basados en fuentes renovables, gestionados a través de microprogramas y con fuerte involucramiento local, son altamente efectivos para ampliar el acceso y reducir la carencia energética en zonas aisladas. Estas iniciativas contribuyen directamente a los objetivos del desarrollo sostenible, posicionando la electrificación rural como una lucha esencial contra la falta de servicios básicos y como un motor para la promoción de comunidades sostenibles.

Aunque se han alcanzado avances significativos en las últimas dos décadas, es imprescindible fortalecer las políticas para el acceso universal, fomentar la implementación de tecnologías con visión a largo plazo y salvaguardar la sostenibilidad social, económica y ambiental de los sistemas desplegados.

Referencias

- Agencia Internacional de Energía. (2023). *Perspectivas de la energía mundial 2023*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- Almeshqab, F., & Selim, T. (2019). Lessons learned from rural electrification initiatives in developing countries: Insights for technical, social, financial and public policy aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 532–539. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.035>
- Arthur, J. L., Kporha, D. C. E., & Arthur, S. D. (2025). Rural electrification as a catalyst for sustainable development. *Discover Environment*, 3(39). <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00225-7>
- Ávila, M. V., Flores, E. T., Cobos, J. C., & Álvarez, M. S. (2023). Sistemas fotovoltaicos en sectores del Ecuador con difícil acceso y/o desprovistos de servicio eléctrico: Un estudio desde las experiencias latinoamericanas. *Revista Latinoamericana de Estudios Sociales*, 21(2), 1–25. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9278342.pdf>
- Banco Mundial. (2024, 3 de abril). Energizar Etiopía: Un nuevo programa del Banco Mundial amplía el acceso a la electricidad. *Fomento al Desarrollo*. <https://fomento.eu/noticias/energizar-etiofia-un-nuevo-programa-del-banco-mundial-amplia-el-acceso-a-la-electricidad>
- Banco Mundial, Agencia Internacional de Energía, Agencia Internacional de Energías Renovables, Organización Mundial de la Salud, & División de Estadística de las Naciones Unidas. (2025). *Seguimiento del ODS 7: Informe de progreso energético 2025*. Naciones Unidas. <https://news.un.org/es/story/2025/06/1539826>
- Barnes, D. (2007). *The challenge of rural electrification: Strategies for developing countries* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781936331697>
- Bhattacharyya, S., & Palit, D. (2016). Mini-grid based off-grid electrification to enhance electricity access in developing countries: What policies may be required? *Energy Policy*, 94, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.010>
- La Cámara, F. (2025, 23 de abril). The powerful role in geopolitics is to manage the energy transition. *Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)*. <https://www.irena.org/News/expertinsights/2025/Apr/The-Powerful-Role-in-Geopolitics-is-to-Manage-the-Energy-Transition>
- Lenz, L., Munyehirwe, A., Peters, J., & Sievert, M. (2017). Does large-scale infrastructure investment alleviate poverty? Impacts of Rwanda's electricity access roll-out program. *World Development*, 89, 88–103. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.08.003>

- Organización de las Naciones Unidas. (2023). Energía – Desarrollo sostenible. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Paz, M. (2016). Redes transnacionales de organizaciones indígenas. Análisis del uso de las redes en conflictos socioambientales. *Revista de Estudios Sociales*, 1(55), 63–72. <https://doi.org/10.7440/res55.2016.04>
- Peters, J., & Sievert, M. (2016). Impacts of rural electrification revisited – the African context. *Journal of Development Effectiveness*, 8(3), 327–345. <https://doi.org/10.1080/19439342.2016.1178320>
- Poudineh, R. (2025). Artificial intelligence and its implications for electricity systems (Issue 145). *Oxford Energy Forum*. Oxford Institute for Energy Studies. <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2025/05/OEF-145.pdf>
- Samad, H., & Zhang, F. (2017). Heterogeneous effects of rural electrification: Evidence from Bangladesh. *World Bank Policy Research Working Paper No. 8102*. Banco Mundial. https://www.researchgate.net/publication/317588429_Heterogeneous_effects_of_rural_electrification_evidence_from_Bangladesh