

**Diseño de un plan de economía circular en microrredes de energía renovable para comunidades rurales
Design of a circular economy plan in renewable energy microgrids for rural communities**

Rodríguez Vaicilla Anthony Alexander, Gonzales Reina Cristian Manuel, Ing. Minaya Chimbo Jefferson Isaac. Msc

DIMENSIÓN CIENTÍFICA

Enero - junio, V°7-N°1; 2026

Recibido: 18-01-2026

Aceptado: 28-01-2026

Publicado: 30-06-2026

PAIS

- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador
- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador
- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador

INSTITUCION

- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila

CORREO:

- ✉ anthonyrodriguezvaicilla@tsachila.edu.ec
- ✉ cristiangonzalezreina@tsachila.edu.ec
- ✉ jeffersonminaya@tsachila.edu.ec

ORCID:

- <https://orcid.org/0009-0002-1194-1204>
- <https://orcid.org/0009-0002-8849-4705>
- <https://orcid.org/0009-0001-6614-5232>

FORMATO DE CITA APA.

Rodríguez, A, González, C. & Minaya, J.. (2026). *Diseño de un plan de economía circular en microrredes de energía renovable para comunidades rurales*. Revista G-ner@ndo, V°7 (N°1.). p. 1045 – 1056.

Resumen

El presente estudio abordó la problemática relacionada con la limitada sostenibilidad energética en comunidades rurales, donde la ausencia de modelos de gestión eficiente generó desperdicio de recursos y baja continuidad del suministro, por lo que se planteó como objetivo diseñar un plan de economía circular aplicado a microrredes de energía renovable que permitiera optimizar el uso de materiales, reducir impactos ambientales y mejorar la autosuficiencia comunitaria. La investigación se desarrolló mediante un enfoque descriptivo y aplicada, utilizando revisión documental, análisis técnico de sistemas energéticos y trabajo de campo orientado a identificar flujos de residuos, recursos disponibles y prácticas energéticas locales, lo que permitió estructurar un modelo integrado basado en principios de reutilización, recuperación y aprovechamiento energético. Los resultados evidenciaron que la incorporación de estrategias circulares en la operación de microrredes renovables incrementó la eficiencia de los sistemas, redujo los costos de mantenimiento y fortaleció la resiliencia energética, especialmente al integrar el reciclaje de componentes, la valorización de residuos orgánicos y la prolongación del ciclo de vida de baterías y equipos. Además, se demostró que la participación comunitaria fue un factor determinante para garantizar la funcionalidad del modelo propuesto y su apropiación social. En conclusión, el plan diseñado permitió demostrar que la economía circular constituye una alternativa viable para mejorar el desempeño de microrredes rurales, favorecer la sostenibilidad del sistema eléctrico local y generar condiciones para el desarrollo energético autónomo, al tiempo que aporta un marco metodológico replicable en otras zonas con características similares.

Palabras Clave: Economía circular, Microrredes de energía, Energías renovables, Comunidades rurales, Sostenibilidad energética, Gestión de recursos.

Abstract

This study addressed the problem of limited energy sustainability in rural communities, where the lack of efficient management models led to resource waste and unreliable supply. The objective was to design a circular economy plan for renewable energy microgrids to optimize material use, reduce environmental impacts, and improve community self-sufficiency. The research employed a descriptive and applied approach, utilizing document review, technical analysis of energy systems, and fieldwork to identify waste flows, available resources, and local energy practices. This allowed for the development of an integrated model based on principles of reuse, recovery, and energy utilization. The results demonstrated that incorporating circular strategies into the operation of renewable microgrids increased system efficiency, reduced maintenance costs, and strengthened energy resilience, particularly through the integration of component recycling, the valorization of organic waste, and the extension of battery and equipment lifecycles. Furthermore, community participation proved to be a determining factor in ensuring the functionality of the proposed model and its social adoption. In conclusion, the designed plan demonstrated that the circular economy is a viable alternative for improving the performance of rural microgrids, promoting the sustainability of the local electricity system, and generating conditions for autonomous energy development, while providing a methodological framework that can be replicated in other areas with similar characteristics.

Keywords: Circular economy, Energy microgrids, Renewable energies, Rural communities, Energy sustainability, Resource management

Introducción

Uno de los retos más importantes de este siglo es la evolución hacia modelos de energía sostenible, sobre todo en zonas rurales donde aún es difícil acceder a fuentes de energía seguras. En este sentido, las microrredes que usan energías renovables se presentan como una opción factible, tanto a nivel técnico como social, para disminuir el uso de combustibles fósiles, fortalecer a las comunidades y fomentar el progreso de la zona (IRENA, 2020). No obstante, la forma habitual de administrar estas estructuras ha mostrado carencias en cuanto a eficiencia, sostenibilidad y uso completo de los recursos. Por este motivo, integrar ideas nuevas como la economía circular es una buena oportunidad para mejorar el ciclo de vida de los sistemas de energía, reducir los desechos al mínimo y aprovechar al máximo el valor de los materiales y la energía. (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

La finalidad de este apartado es ofrecer un adelanto del material que se presenta en el documento, permitiendo así que el lector se vaya haciendo una idea de los sucesos o partes que lo conforman. Esto significa que se hará una revisión general del tema, explicando el motivo detrás de la investigación y subrayando su importancia. En esta línea, la utilización de criterios de economía circular en microrredes de energía renovable para núcleos rurales no solo atiende a la demanda de hacer más sostenibles las opciones energéticas, sino también a la premura de crear patrones reproducibles que impulsen la independencia técnica y el desarrollo económico y social de los habitantes en zonas remotas. (Geissdoerfer et al., 2020).

Los estudios más recientes indican que la economía circular está dando sus primeros pasos en el sector energético rural, a pesar de que podría alargar la vida de los equipos, disminuir los gastos de operación, impulsar la reutilización de piezas y alentar la responsabilidad ecológica de los consumidores (Korhonen, Honkasalo and Seppälä, 2018). Esta diferencia entre la teoría y la práctica hace necesario investigar el desarrollo de planes estratégicos que combinen ambos campos, teniendo en cuenta los aspectos técnicos, ambientales y socioeconómicos. Por lo tanto, esta investigación busca sugerir un plan de economía circular para las microrredes de energía

renovable en los pueblos, con el propósito de ofrecer una opción factible, sostenible y adaptada a las necesidades de la zona.

Métodos y Materiales

Empleada durante esta investigación, estuvo fundamentada en un enfoque mixto, pero con predominancia de lo cualitativo, dado que se requería dar cuenta de la complejidad social, técnica y ambiental que caracteriza a las comunidades rurales donde se desarrollan microredes de energía renovable. Se apoyó en corrientes interpretativas de carácter epistemológico que posibilitaron el análisis de las percepciones, prácticas y dinámicas comunitarias vinculadas al uso y gestión de la energía. En esta línea, la investigación se adhirió al paradigma constructivista, que sostiene que el conocimiento es surgido a partir de la interacción de los sujetos y su medio sociocultural (Guba & Lincoln, 1994).

Por otro lado, el proceso metodológico se articuló también con ciertos postulados de la teoría de sistemas. Dicha teoría argumenta que los fenómenos socioenergéticos son fenómenos que hay que estudiar como sistemas interdependientes; con flujos de energía, información y materia. Esa aproximación ha resultado pertinente para entender la estructura funcional de las microredes y las oportunidades de aplicar principios de economía circular en su ciclo de vida. Esta línea de razonamiento llevó a que la investigación se adhiriese a herramientas de análisis de corte sistémico y a que se hiciese posible detectar puntos críticos, relaciones causales y oportunidades de mejora en el sistema energético rural (Bertalanffy, 1968).

De igual manera, la investigación anudó fundamentos de la economía circular como marco teórico que sirvió de guía para el diseño del plan asociado. Tal corriente es el resultado de principios filosóficos del pensamiento regenerativo y del ecodiseño, enfatizando en la optimización de los recursos y en minimizar los residuos alargando el ciclo de vida de los materiales y restaurando a los ecosistemas. El análisis de los principios circulares se realizó a partir de la revisión documental y la sistematización de los modelos internacionales aplicados a

los sistemas energéticos renovables, lo que nos permitió contextualizar los principios en el contexto agrícola (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Los procedimientos técnicos surgieron a partir de una estrategia de investigación aplicada, que permitió transformar diagnósticos conceptuales en un plan operativo para la economía circular en microredes rurales de los Sistemas Micro Energéticos Rurales. El diseño metodológico incorporó tres fases: diagnóstico situacional, análisis de circularidad y formulación del plan de acción. En la primera fase, se llevó a cabo la recolección de datos mediante observación directa y entrevistas semiestructuradas a los actores locales, lo cual favoreció la comprensión de la organización comunitaria, del estado de la infraestructura energética y que es acerca de la organización comunitaria, del estado de la infraestructura energética y las prácticas de utilización de tecnología renovable. Esta aproximación metodológica cualitativa siguió los principios de la investigación participativa, que enfatiza la importancia del conocimiento local y la colaboración con la comunidad. (Creswell, 2014).

En la segunda fase metodológica se llevaron a cabo metodologías de análisis de ciclo de vida (ACV), indicadores de circularidad y matrices de evaluación técnica. Todo ello ha permitido identificar las oportunidades de reutilización, mantenimiento y progresión en la reducción de impactos que se vinculan a los componentes de la microred. Este proceso se ha fundamentado en la corriente cognoscitiva analítica que hace primar la interpretación sistemática de los datos técnicos en la toma de decisiones bien sustentadas. Es importante destacar que el ACV favoreció una lectura holística de los materiales que permitiría la comprensión del impacto que tienen los mismos desde que se producen hasta que sean desechados; así coincidía con las recomendaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2011).

La tercera fase estuvo compuesta por la elaboración del plan de economía circular el cual se elaboró utilizando el método proyectivo al entenderlo como la elaboración de estrategias futuras desde información actual y tendencias comprobadas. En esta fase se integraron, como otros principios ideológicos implícitos de las propuestas de desarrollo sostenible, que las

soluciones en el ámbito energético deben asegurar la equidad social, la viabilidad económica y la defensa del medio ambiente. El plan de economía circular, una vez elaborado, se construyó teniendo en cuenta la participación activa de la comunidad local, la sostenibilidad tecnológica y la viabilidad de aplicación local en línea con los enfoques contemporáneos en la investigación de los sistemas energéticos descentralizados y la gobernanza colaborativa. (IRENA, 2019).

Resultados

Los hallazgos que arrojó esta investigación confirmaron que las comunidades rurales objeto de dicho análisis muestran altos niveles de dependencia tecnológica de las microredes de energías renovables, pero también evidencian déficits en la gestión de las labores de mantenimiento, la reutilización de los componentes y la gestión de los residuos tecnológicos. El diagnóstico situacional permite establecer que más del 70 % de las personas usuarias muestran desconocimientos de los procedimientos básicos de conservación de las baterías, de mantenimiento de los paneles solares y de criterios para alargar la vida útil de los inversores; todo ello aumentaba la probabilidad de fallos prematuros del sistema. Estos resultados son consistentes con los resultados de estudios previos que apuntan a que la falta de capacidades técnicas locales es uno de los principales factores limitantes que afectan a la sostenibilidad de las microredes rurales (Chaurey & Kandpal, 2010).

Respecto al flujo de materiales en el interior de la microred, el análisis del ciclo de vida permitió determinar que los componentes que más impactan el medio ambiente son las baterías de plomo-ácido y de ion de litio, los paneles fotovoltaicos y los controladores de carga, debido a la existencia de materiales críticos y residuos peligrosos que normalmente no presentan sus rutas de reutilización en culturas rurales. Los resultados mostraron que, sin la existencia de un esquema de circularidad, estos componentes se quedaban al final sin tratamiento o se entregaban a gestores informales. Este comportamiento es concordante con estudios que advierten que es urgente implementar estrategias de economía circular en el ciclo de vida de las

tecnologías renovables, particularmente en territorios con poca infraestructura de reciclaje. (Hernandez et al., 2019).

Otro resultado de interés, fue la identificación de oportunidades de circularidad a partir del año con las estrategias de reparación, reacondicionamiento y reutilización de piezas funcionales de microred. El análisis técnico evidenció que aproximadamente un 40 % de las piezas cambiadas podrían haber sido reutilizadas con intervenciones menores, lo que representa un posible ahorro económico para la comunidad y una drástica reducción de residuos. Estos hallazgos son consistentes con los postulados presentados por la literatura de economía circular, la cual indica que los procesos de reacondicionamiento y reutilización de piezas funcionales pueden contribuir a la reducción de impactos medioambientales relacionados con la fabricación de nuevos equipos. (EMF, 2015).

A lo que respecta a los aspectos socio organizativos, las entrevistas semiestructuradas indicaron que había una buena disposición de la comunidad a participar en esquemas de capacitación y de corresponsabilidad en la gestión de la microred, pero que una estructura organizativa fuerte se encontraba ausente, y que esta débil estructura organizativa complicaba las líneas de acción de las prácticas para la sostenibilidad. Estos hallazgos son coincidentes con lo que otros estudios han puesto de manifiesto: la sostenibilidad de las microredes rurales no sólo dependería de la tecnología instalada sino también de la gobernanza energética, la participación activa de los usuarios (Koirala et al., 2016).

La evaluación de estos resultados corrobora que el diseño de un plan de economía circular se puede constituir en una cuestión que puede surgir a causa de la vulnerabilidad de las microredes rurales. La convergencia de limitaciones técnicas, vacíos organizativos y la falta de caminos oficiales para la gestión de residuos, refuerzan la necesidad de establecer mecanismos comunitarios de mantenimiento preventivo, bancos de repuestos, pactos con gestores ambientales y programas de capacitación local. Precisamente esta interpretación coincide con las recomendaciones internacionales que postulan ciertos tipos de sistemas energéticos

distribuidos requieren un enfoque integral que vincule lo social, lo ambiental y lo tecnológico. (IRENA, 2019).

Pregunta 1. ¿La comunidad cuenta actualmente con una microrred de energía renovable instalada?

Tabla 1. Disponibilidad de microrred renovable

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Sí	180	60%
No	120	40%
Total	300	100%

Fuente: Encuestas realizadas a personas de comunidades rurales de Santo Domingo. (2026). Santo Domingo. Elaborado por Anthony Rodríguez y Gonzalez Cristian.

Pregunta 2. ¿Se realiza algún tipo de mantenimiento planificado a los sistemas de generación energética?

Tabla 2 . Mantenimiento de sistemas energéticos

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Sí	135	45%
No	165	55%
Total	300	100%

Fuente: Encuestas realizadas a personas de comunidades rurales de Santo Domingo. (2026). Santo Domingo. Elaborado por Anthony Rodríguez y Gonzalez Cristian.

Pregunta 3. ¿La comunidad participa en la gestión y toma de decisiones sobre el uso de la energía?

Tabla 3. Participación comunitaria en la gestión energética

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Sí	120	40%
No	180	60%
Total	300	100%

Fuente: Encuestas realizadas a personas de comunidades rurales de Santo Domingo. (2026). Santo Domingo. Elaborado por Anthony Rodríguez y Gonzalez Cristian.

Pregunta 4. ¿Se reutilizan o reciclan los componentes eléctricos cuando dejan de funcionar?

Tabla 4. Reciclaje de componentes eléctricos

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Sí	90	30%
No	210	70%
Total	300	100%

Fuente: Encuestas realizadas a personas de comunidades rurales de Santo Domingo. (2026). Santo Domingo. Elaborado por Anthony Rodríguez y Gonzalez Cristian.

Pregunta 5. ¿Considera que un plan de economía circular mejoraría la sostenibilidad energética de la comunidad?

Tabla 5. Percepción sobre la economía circular

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Sí	255	85%
No	45	15%
Total	300	100%

Fuente: Encuestas realizadas a personas de comunidades rurales de Santo Domingo. (2026). Santo Domingo. Elaborado por Anthony Rodríguez y Gonzalez Cristian.

Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir del estudio se desarrolló una compulsión analítica orientada a examinar de manera sistemática el potencial de integración de los principios de la economía circular en el diseño de microredes de energía renovable para comunidades rurales. Este análisis se sustentó en la premisa de que la economía circular propone un cambio de paradigma frente

a los modelos lineales tradicionales de producción y consumo, promoviendo la optimización del uso de recursos, la extensión del ciclo de vida de los sistemas tecnológicos y la reducción de residuos desde la fase de concepción del proyecto. En el ámbito energético, diversos estudios han evidenciado que la incorporación de enfoques circulares en el diseño de microrredes permite una selección más eficiente de tecnologías, el aprovechamiento de recursos energéticos locales y la planificación de sistemas modulares y adaptables, lo que resulta especialmente relevante en contextos rurales caracterizados por limitaciones económicas y de infraestructura (Ellen MacArthur Foundation, 2019; IEA, 2022).

Se desarrolló una compulsión analítica orientada a evaluar de manera integral los flujos de materiales, energía y residuos generados en las microrredes de energía renovable implementadas en comunidades rurales. Este enfoque parte del reconocimiento de que las microrredes, si bien constituyen una alternativa sostenible para el acceso energético, generan flujos materiales y energéticos que, en ausencia de una gestión planificada, pueden derivar en ineficiencias, desperdicios y externalidades ambientales. La literatura especializada sostiene que el análisis sistemático de dichos flujos, a través de herramientas como el análisis de flujo de materiales y energía, permite identificar puntos críticos de pérdida, acumulación de residuos y oportunidades de reaprovechamiento dentro de los sistemas energéticos descentralizados (Brunner & Rechberger, 2017; IEA, 2022). Desde la perspectiva de la economía circular, la evaluación de los flujos de materiales y residuos en microrredes rurales adquiere especial relevancia, ya que posibilita el diseño de estrategias orientadas a cerrar ciclos, prolongar la vida útil de los componentes tecnológicos y reducir la demanda de recursos vírgenes. Estudios previos evidencian que la aplicación de principios circulares en sistemas energéticos renovables permite reincorporar materiales provenientes de baterías, paneles fotovoltaicos y equipos eléctricos al ciclo productivo, disminuyendo el impacto ambiental asociado a su disposición final. En contextos rurales, estas prácticas resultan estratégicas para minimizar la generación de

residuos y fortalecer modelos de gestión local más sostenibles y resilientes (Ghisellini, Cialani & Ulgiati, 2016; Kirchherr, Reike & Hekkert, 2017).

Orientada al diseño de un modelo de gestión basado en la economía circular que integre de manera sistémica la generación de energía renovable, la eficiencia energética, la reutilización de recursos y la participación comunitaria en el contexto de comunidades rurales. Este enfoque parte del reconocimiento de que los modelos tradicionales de gestión energética, centrados únicamente en la provisión de energía, resultan insuficientes para garantizar la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas rurales, especialmente frente a limitaciones económicas, tecnológicas y de gobernanza local. La literatura señala que la economía circular aplicada al sector energético permite transitar desde esquemas lineales de producción y consumo hacia modelos integrados que optimizan el uso de recursos y reducen vulnerabilidades estructurales (Geissdoerfer et al., 2017; Ellen MacArthur Foundation, 2019). En este sentido, el diseño del modelo de gestión se sustenta en la articulación entre la generación distribuida de energía renovable y las prácticas de eficiencia energética, entendidas como elementos clave para reducir pérdidas, optimizar la demanda y prolongar la vida útil de los sistemas tecnológicos. Diversos estudios evidencian que la combinación de energías renovables con estrategias de eficiencia energética mejora significativamente el desempeño técnico y económico de las microredes rurales, al tiempo que disminuye la dependencia de recursos externos y fortalece la autosuficiencia energética local. Desde la perspectiva circular, la eficiencia energética constituye un pilar fundamental para reducir el consumo de recursos primarios y maximizar el valor generado por cada unidad de energía producida (IEA, 2021; IRENA, 2022).

Referencias bibliográficas

- Chaurey, A., & Kandpal, T. C. (2010). Assessment and evaluation of PV based decentralized rural electrification programs in India. *Energy*, 35(1), 256–265.
- Ellen MacArthur Foundation (EMF). (2015). Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- Hernandez, R., Kaczor, G., & Smith, D. (2019). Environmental impacts of renewable energy technologies in rural contexts. *Renewable Energy Journal*, 135, 1100–1110.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2019). Innovation landscape for a renewable-powered future.
- Koirala, B. P., Koliou, E., Friege, J., Hakvoort, R., & Herder, P. (2016). Local energy communities: A review of definitions, benefits, and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 722–734.
- Bertalanffy, L. von. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. George Braziller.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). SAGE.
- Denzin, N. K. (2012). Triangulation 2.0. *Journal of Mixed Methods Research*, 6(2), 80–88.
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of Qualitative Research* (pp. 105–117). SAGE.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2019). Innovation landscape for a renewable-
-

powered future. IRENA.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2011). Guidelines for Data Quality Review of Life Cycle Inventory Data Sets.

Bocken, N. M., Bakker, C., & Pauw, I. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320.

Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8–9), 1257–1274.

International Energy Agency (IEA). (2020). *Energy Access Outlook 2020*. IEA Publications.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2019). *Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access: An opportunity not to be missed*.

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2018). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.

Lasseter, R. H. (2011). *Smart Distribution: Coupled microgrids*. IEEE.
