



Logística de abastecimiento sostenible para comunidades energéticas en Territorios de Acceso Energético Limitado: Lecciones para el acceso eficiente y accesible a suministros críticos

Vanesa López Aristizábal
Maria Paulina Correa Castañeda

Trabajo de grado presentado para optar al título de Negociadora Internacional

Asesora
Claudia Velez-Zapata
Doctor (PhD) en Administración

Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Economía, Administración y Negocios
Negocios Internacionales
Medellín, Antioquia, Colombia
2026

27 de mayo de 2026

Vanesa López Aristizábal

Maria Paulina Correa Castañeda

“Declaramos que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en ésta o en cualquiera otra universidad”.

Firma:

Handwritten signature of Paulina Correa in cursive script.

Vanesa López A.

Tabla de contenido

Resumen	6
Introducción.....	7
Descripción del problema de investigación.....	8
Preguntas auxiliares.....	11
Objetivos de investigación	12
General.....	12
Específicos.....	12
Justificación.....	13
Revisión de la literatura.....	14
Comunidades energéticas y zonas no interconectadas ZNI.....	14
ZNI en Colombia.....	15
Dinámicas y Gestión de las Cadenas de Suministro en Territorios de Acceso Energético Limitado	17
Alcance de la investigación	19
Enfoque de la investigación.....	20
Categorías, dimensiones o variables de estudio	20
Fuentes de información, población y muestra	23
Técnica e instrumento para la recolección de datos primarios.....	25
Método y procedimiento para el análisis de datos.....	28
Método de análisis.....	28
Articulación entre categorías, técnicas y análisis	33
Resultados.....	34
Caracterización y contextualización de la logística de abastecimiento en comunidades energéticas en Zonas No Interconectadas.....	34
Retos y aciertos logísticos en proyectos energéticos en ZNI.	39
Recomendaciones para actores que proyecten llevar energía a ZNI.....	45
Conclusiones.....	50
Limitaciones de la investigación	53
Investigaciones futuras	55
Referencias	59

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Mapa ZNI Colombia.....	16
---------------------------------------	----

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de alineación entre objetivos específicos, categorías analíticas, subcategorías y fuentes de información.....	23
Tabla 2. Matriz de diseño del instrumento de recolección de información.....	26
Tabla 3. Matriz de sistematización y análisis de entrevistas semiestructuradas.....	28

Resumen

Propósito: Nuestro propósito fue analizar la logística de abastecimiento en comunidades energéticas ubicadas en Zonas No Interconectadas (ZNI) en Colombia, con énfasis en territorios como La Guajira, caracterizados por condiciones de acceso limitado, alta dispersión geográfica y restricciones en infraestructura.

Metodología: Adoptamos un enfoque cualitativo basado en entrevistas semiestructuradas a actores del sector energético, cuyo análisis se realizó mediante matrices cualitativas que permitieron la codificación, categorización y triangulación de la información con el marco teórico. Este proceso facilitó la identificación de patrones, relaciones y dinámicas propias de la logística en ZNI.

Hallazgos: Los resultados evidencian que la logística de abastecimiento se configura como un sistema sociotécnico complejo, en el que la criticidad de los insumos está determinada principalmente por su incidencia en la continuidad del servicio y su disponibilidad en el territorio, más que por su valor económico. Asimismo, se identificaron brechas estructurales asociadas a altos costos logísticos, tiempos de reposición prolongados, fragmentación de la cadena de suministro y baja capacidad de adaptación operativa. Las entrevistas evidencian que factores territoriales, como la dependencia de transporte multimodal y las limitaciones de acceso vial, incrementan significativamente la complejidad logística, mientras que la comunidad emerge como un actor estratégico en la operación y sostenibilidad del sistema, aunque condicionada por brechas en formación técnica y acceso al conocimiento.

Contribución: La principal contribución se orienta en una comprensión integral de la logística en ZNI, proponiendo un enfoque que integra dimensiones técnicas, territoriales

y sociales, y ofreciendo lineamientos para el diseño de cadenas de abastecimiento más resilientes, sostenibles y adaptadas al contexto.

Introducción

El acceso a la energía constituye un elemento fundamental para el desarrollo social, económico y territorial, particularmente en contextos donde las condiciones estructurales limitan la provisión continua y eficiente de servicios básicos. En Colombia, las Zonas No Interconectadas (ZNI) representan uno de los principales desafíos en materia de acceso energético, debido a su aislamiento geográfico, baja densidad poblacional y limitaciones en infraestructura.

En territorios como La Guajira, la implementación de comunidades energéticas basadas en fuentes renovables, particularmente sistemas fotovoltaicos, ha emergido como una alternativa para ampliar la cobertura energética y mejorar la calidad del servicio. Sin embargo, la sostenibilidad de estos proyectos no depende exclusivamente del diseño tecnológico, sino también de la capacidad de garantizar su operación continua mediante sistemas logísticos de abastecimiento adecuados.

En este contexto, la presente investigación aborda la logística de abastecimiento en comunidades energéticas ubicadas en Zonas No Interconectadas, partiendo de la identificación del problema asociado a la dependencia de suministros críticos, la fragmentación de la cadena logística y las limitaciones territoriales que afectan la continuidad operativa de los proyectos energéticos.

A partir de esta problemática, se formula la pregunta de investigación y se establecen los objetivos orientados a caracterizar los suministros y servicios críticos, examinar la estructura de la cadena logística de abastecimiento, evaluar las principales brechas

logísticas y analizar el papel de la comunidad energética dentro de la gobernanza logística y la sostenibilidad operativa.

El marco teórico profundiza en categorías analíticas como logística de abastecimiento, comunidades energéticas, cadenas de suministro, suministros críticos, gobernanza logística y sostenibilidad en territorios de Zonas No Interconectadas. Estas categorías permiten construir una base conceptual que orienta la comprensión integral del fenómeno estudiado.

En cuanto al desarrollo metodológico, la investigación se fundamenta en un enfoque cualitativo sustentado en entrevistas semiestructuradas a actores del sector energético y en el análisis de información mediante matrices de resultados. Este diseño metodológico permitió identificar patrones, relaciones y dinámicas asociadas a la logística de abastecimiento en el contexto analizado.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, organizados en tres capítulos: caracterización y contextualización de la logística de abastecimiento, retos y aciertos logísticos en proyectos energéticos en ZNI y recomendaciones para actores que proyecten llevar energía a estos territorios. En conjunto, estos apartados permiten comprender la logística de abastecimiento como un sistema sociotécnico complejo, condicionado por variables territoriales, operativas e institucionales.

Descripción del problema de investigación

En el marco de la transición energética, Colombia ha promovido la conformación de comunidades energéticas como una estrategia orientada a diversificar la matriz eléctrica, fomentar la participación ciudadana y ampliar el acceso a fuentes renovables en

territorios urbanos y rurales, especialmente en las Zonas No Interconectadas (ZNI). Estas iniciativas, que incorporan tecnologías como sistemas fotovoltaicos, almacenamiento y microrredes, buscan reducir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la calidad de vida de comunidades históricamente excluidas del Sistema Interconectado Nacional (SIN) (IPSE, s.f.; SICEL, s.f.).

No obstante, la implementación y sostenibilidad de estas comunidades energéticas no depende únicamente de la disponibilidad tecnológica o del marco regulatorio, sino de la capacidad de las cadenas logísticas de abastecimiento para garantizar un acceso eficiente y accesible a los insumos críticos requeridos para su operación y mantenimiento. En el contexto colombiano, y particularmente en las ZNI, se evidencian limitaciones estructurales en la logística de abastecimiento, asociadas a cadenas de suministro fragmentadas, infraestructura de transporte insuficiente, altos costos logísticos y una fuerte dependencia de proveedores externos (Urrego et al., 2018; Becerra-Fernandez et al., 2023).

Diversos estudios señalan que los proyectos de energías renovables en zonas apartadas enfrentan dificultades recurrentes relacionadas con la disponibilidad oportuna de equipos, repuestos y servicios técnicos, lo que incrementa los tiempos de reposición, eleva los costos operativos y compromete la continuidad del servicio energético (Contraloría General de Colombia, 2024). En este sentido, la logística de abastecimiento se configura como un componente crítico para la eficiencia y accesibilidad del sistema energético comunitario, particularmente en contextos donde las condiciones geográficas, climáticas y sociales aumentan la vulnerabilidad de las cadenas de suministro.

Asimismo, la evidencia empírica documentada en experiencias desarrolladas en territorios como Isla Fuerte, La Guajira, el Chocó y otras ZNI del país muestra que la ausencia de esquemas logísticos estructurados y sostenibles limita la replicabilidad y permanencia de las comunidades energéticas, aun cuando exista un alto potencial de fuentes renovables (SICEL, s.f.; Urrego et al., 2018). Estas experiencias ponen de manifiesto que la sostenibilidad de los proyectos no solo está asociada a la instalación inicial de los sistemas, sino a la capacidad de garantizar el abastecimiento continuo de insumos críticos y servicios de operación y mantenimiento (O&M).

Desde una perspectiva de gestión del riesgo, la logística de abastecimiento en comunidades energéticas se ve afectada por factores climáticos como los fenómenos de El Niño y La Niña, que impactan las condiciones de transporte y acceso territorial, así como por riesgos sociales asociados a la conflictividad, la gobernanza local y los procesos de consulta previa (Contraloría General de Colombia, 2024). Estos elementos refuerzan la necesidad de analizar la logística no solo como un proceso técnico, sino como un sistema sociotécnico que debe integrar variables ambientales, sociales e institucionales.

En este contexto, la literatura coincide en la necesidad de avanzar hacia esquemas de logística de abastecimiento sostenible, entendidos como aquellos que optimizan costos y tiempos, reducen impactos ambientales y fortalecen capacidades locales mediante la participación comunitaria y la diversificación de proveedores (Beamon, 1998; Fernandez Conga, 2024; Becerra-Fernandez et al., 2023). Sin embargo, en Colombia persiste una brecha analítica respecto a la identificación sistemática de los componentes logísticos clave y de las lecciones aprendidas que permitan garantizar un acceso

eficiente y accesible a los insumos críticos en la conformación de comunidades energéticas en zonas de difícil acceso.

Por lo tanto, el problema de investigación se centra en la necesidad de analizar la logística de abastecimiento sostenible en comunidades energéticas, identificando los insumos críticos, los riesgos que inciden en su suministro y las lecciones aprendidas derivadas de experiencias documentadas, con el fin de comprender qué factores logísticos resultan determinantes para asegurar la continuidad operativa, la accesibilidad del servicio y la resiliencia de estos sistemas en contextos urbanos y Zonas No Interconectadas ZNI.

Pregunta principal

¿Cómo se configura la logística de abastecimiento en comunidades energéticas en Zonas No Interconectadas como La Guajira y cuáles son las principales brechas, actores y dinámicas que inciden en su sostenibilidad y continuidad?

Preguntas auxiliares

1. ¿Cuáles son los suministros críticos que hace posible la eficiencia en la cadena logística?
2. ¿Qué insumos y servicios son “críticos” para la continuidad del servicio (p. ej., módulos, inversores, baterías, BMS, fusibles, medidores, software/telemetría, mano de obra) y cómo priorizarlos por criticidad y riesgo de desabastecimiento?
3. ¿Qué indicadores permiten evaluar el desempeño de estas cadenas logísticas?
4. ¿Cuáles son los riesgos climáticos y sociales que inciden en la logística de abastecimiento en la logística de insumos críticos?
5. ¿Cómo integrar gestión de riesgos climáticos (El Niño/La Niña) y sociales (conflictividad, consulta previa) para asegurar continuidad operativa?

6. ¿En qué consiste la logística de bastecimiento sostenible para comunidades energéticas?

Objetivos de investigación

General

Analizar la logística de abastecimiento en comunidades energéticas en Zonas No Interconectadas enfocado en La Guajira, considerando los suministros críticos, la estructura de la cadena, las brechas logísticas y el rol de la comunidad, con el fin de comprender su incidencia en la sostenibilidad y continuidad del servicio energético.

Específicos

1. Caracterizar los suministros y servicios críticos requeridos por las comunidades energéticas en ZNI de La Guajira, considerando su nivel de criticidad y riesgo de desabastecimiento y condiciones logísticas territoriales que inciden en su disponibilidad.
2. Comprender el contexto logístico de las comunidades energéticas de ZNI y evaluar las brechas existentes en términos de eficiencia, tiempos de reposición, huella ambiental y adaptación operativa, a partir de experiencias documentadas y percepciones de los actores involucrados.
3. Analizar el papel de la comunidad energética en la gobernanza logística, la operación básica y el mantenimiento, así como su incidencia en la sostenibilidad, adaptabilidad y continuidad de los proyectos energéticos.

Justificación

Relevancia social: El fortalecimiento de las comunidades energéticas se ha consolidado como un eje central de la transición energética en Colombia, particularmente en territorios rurales y ZNI donde el acceso a un servicio eléctrico continuo y de calidad continúa siendo limitado (IPSE, s.f.; SICEL, s.f.). En este contexto, analizar la logística de abastecimiento sostenible cobra especial relevancia social, ya que la disponibilidad oportuna de insumos críticos y servicios de O&M incide directamente en la continuidad del servicio y en la calidad de vida de las comunidades beneficiarias.

La evidencia documentada en experiencias nacionales muestra que las interrupciones en el suministro energético no suelen estar asociadas exclusivamente a fallas tecnológicas, sino a deficiencias en la logística de abastecimiento, como retrasos en la reposición de equipos, dificultades de transporte y limitada disponibilidad de personal técnico local (Urrego et al., 2018).

Impacto económico y territorial: Desde una perspectiva económica, la logística de abastecimiento representa uno de los principales determinantes de los costos operativos en proyectos de energías renovables, especialmente en territorios apartados donde el transporte y la dependencia de proveedores externos incrementan significativamente los gastos asociados al mantenimiento de los sistemas (Becerra-Fernandez et al., 2023). El análisis de las cadenas de suministro y de sus componentes críticos permite identificar ineficiencias, cuellos de botella y oportunidades de optimización, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos públicos y comunitarios destinados a la transición energética.

Sostenibilidad ambiental: La transición hacia sistemas energéticos basados en fuentes renovables implica no solo la reducción de emisiones en la etapa de generación, sino

también la optimización ambiental de las cadenas de suministro que soportan su operación. En este sentido, los enfoques de logística sostenible y logística verde proponen prácticas orientadas a la reducción de emisiones asociadas al transporte, la consolidación de carga y la gestión adecuada de residuos y equipos obsoletos (Beamon, 1998; Fernandez Conga, 2024).

Alineación con políticas públicas y transición energética: El análisis de la logística de abastecimiento sostenible se encuentra estrechamente alineado con los lineamientos de la política pública en materia de transición energética justa, seguridad y confiabilidad del suministro. La regulación reciente sobre comunidades energéticas y autoconsumo colectivo enfatiza la necesidad de garantizar un acceso asequible y continuo a la energía, especialmente en territorios históricamente excluidos del Sistema Interconectado Nacional (Contraloría General de Colombia, 2024).

Revisión de la literatura

Comunidades energéticas y zonas no interconectadas ZNI

Las comunidades energéticas se consolidan en Colombia como un eje central de la transición energética, al promover esquemas colectivos de generación, gestión y consumo de energía renovable. Estos modelos buscan democratizar el acceso energético y fortalecer la participación ciudadana, especialmente en territorios con limitaciones históricas de cobertura (SICEL, s.f.).

La literatura nacional destaca que la sostenibilidad de las comunidades energéticas depende del grado de apropiación local y de la existencia de mecanismos claros de gobernanza. Según Urrego et al. (2018), la participación de las comunidades en la

operación y mantenimiento de los sistemas incrementa la continuidad del servicio y reduce fallas operativas.

Desde el enfoque logístico, las comunidades energéticas cumplen un rol estratégico en la gestión del abastecimiento. La capacitación de mano de obra local, la administración comunitaria de inventarios básicos y la coordinación con proveedores permiten reducir tiempos de reposición y costos logísticos (Becerra-Fernandez et al., 2023).

La Contraloría General de Colombia (2024) señala que la confiabilidad del suministro energético está estrechamente vinculada a los arreglos institucionales y comunitarios que sostienen la operación del sistema. La ausencia de estos esquemas puede derivar en discontinuidad del servicio, incluso cuando existe disponibilidad tecnológica.

En el marco de la transición energética justa, las comunidades energéticas también funcionan como espacios para el desarrollo de capacidades locales y generación de empleo. El fortalecimiento de competencias técnicas y organizativas contribuye a la autonomía territorial y a la sostenibilidad social de los proyectos energéticos (Urrego et al., 2018).

ZNI en Colombia

Las ZNI abarcan aproximadamente el 52 % del territorio nacional y concentran cerca del 4 % de la población colombiana (IPSE, s.f.). Estas áreas, predominantemente rurales y de difícil acceso, no están conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y dependen de esquemas locales de generación energética. Históricamente, estos sistemas se han basado en combustibles fósiles, caracterizados por altos costos operativos, baja confiabilidad y una fuerte dependencia logística para el suministro continuo de insumos críticos.



Ilustración 1. Mapa ZNI Colombia

Fuente: IPSE, 2023 citado en BID, 2023, p. 5.

De acuerdo con Urrego, Mendoza, León y Ocampo (2018), la limitada infraestructura energética en las ZNI no solo restringe el acceso a un servicio eléctrico confiable, sino que también condiciona el desarrollo social y productivo de las comunidades. Estas limitaciones se ven acentuadas por debilidades estructurales en las cadenas de abastecimiento, reflejadas en la intermitencia del servicio, los elevados costos de operación y mantenimiento, y la escasa articulación entre actores logísticos y comunitarios.

La literatura reciente identifica a las energías renovables, particularmente los sistemas fotovoltaicos con almacenamiento, como alternativas viables para mejorar el acceso

energético en las ZNI (Becerra-Fernandez et al., 2023). No obstante, su sostenibilidad depende en gran medida de la capacidad logística para garantizar el suministro oportuno de equipos, repuestos y servicios de O&M, especialmente en territorios con restricciones de conectividad, transporte y disponibilidad de mano de obra calificada.

Según el IPSE (s.f.), la dispersión geográfica y el aislamiento de las ZNI incrementan la vulnerabilidad frente a riesgos climáticos, variaciones en precios de insumos y problemáticas de orden social. En este contexto, la planificación energética no puede limitarse al componente técnico, sino que debe incorporar estrategias de logística de abastecimiento sostenible, adaptadas a las condiciones territoriales y orientadas a garantizar continuidad operativa.

En esta misma línea, la Contraloría General de Colombia (2024) señala que, pese a los avances normativos en energías renovables y comunidades energéticas, persisten barreras relacionadas con la seguridad energética y la limitada infraestructura logística. Estas debilidades explican por qué numerosos proyectos enfrentan dificultades para escalar o mantener el servicio en el tiempo, evidenciando la necesidad de modelos logísticos más resilientes y territorializados.

Dinámicas y Gestión de las Cadenas de Suministro en Territorios de Acceso

Energético Limitado

La cadena de suministro se define como el conjunto de procesos interrelacionados que incluyen la planeación, adquisición, transporte, almacenamiento, distribución y disposición final de bienes y servicios (Beamon, 1998). Este enfoque no solo busca eficiencia en costos y tiempos, sino también capacidad de adaptación frente a cambios en la demanda, interrupciones logísticas y riesgos externos, elementos críticos en sectores estratégicos como el energético.

Beamon (1998) plantea que el diseño de las cadenas de suministro debe equilibrar tres objetivos fundamentales: eficiencia, flexibilidad y efectividad. En el contexto energético, estos principios se traducen en la capacidad de garantizar disponibilidad de insumos críticos, reducir tiempos de reposición y asegurar la continuidad del servicio, particularmente en territorios con restricciones de acceso y alta exposición a riesgos climáticos y sociales.

Con el avance de la transición energética, la cadena de suministro ha incorporado progresivamente dimensiones ambientales y sociales, dando lugar al concepto de logística sostenible (Fernandez Conga, 2024). Este enfoque promueve prácticas como la optimización de rutas, la consolidación de carga y la gestión circular de inventarios, orientadas a minimizar impactos ambientales y fortalecer la resiliencia del sistema logístico (Universoobservavel, 2025). En el sector energético renovable, la cadena de suministro no se limita al transporte de equipos como módulos fotovoltaicos, inversores o baterías, sino que incluye servicios de operación y mantenimiento, capacitación técnica local y esquemas de logística inversa (Urrego et al., 2018). Las fallas en cualquiera de estos eslabones afectan directamente la sostenibilidad y confiabilidad de los proyectos, especialmente en las ZNI.

Estudios recientes evidencian que las cadenas de suministro de tecnologías renovables en Colombia presentan una alta dependencia de proveedores externos, lo que incrementa costos y vulnerabilidad ante interrupciones (Becerra-Fernandez et al., 2023). Frente a ello, la literatura resalta la necesidad de diseñar cadenas más diversificadas y territorializadas, que fortalezcan capacidades locales y reduzcan tiempos logísticos.

Desde la perspectiva de política pública, la Contraloría General de Colombia (2024) enfatiza que la seguridad energética depende tanto de la infraestructura instalada como

de la solidez de las cadenas de abastecimiento. La falta de articulación entre actores públicos, privados y comunitarios genera fragmentación logística, comprometiendo la continuidad del servicio eléctrico en comunidades vulnerables.

Alcance de la investigación

La investigación adoptó un alcance exploratorio-descriptivo, coherente con la naturaleza del fenómeno estudiado y el estado actual del conocimiento sobre la logística de abastecimiento en comunidades energéticas en Zonas No Interconectadas (ZNI). En su dimensión exploratoria, el estudio se orientó a comprender los principales componentes, actores y dinámicas que configuran la cadena logística en contextos de acceso energético limitado. Esto permitió aproximarse a un campo aún poco desarrollado, identificando vacíos de información y elementos clave para el análisis.

Por otra parte, desde una perspectiva descriptiva, la investigación se enfocó en caracterizar las condiciones actuales de la logística de abastecimiento, identificando patrones, problemáticas recurrentes y estrategias implementadas en distintos contextos. Este enfoque permitió detallar aspectos como los insumos críticos, los riesgos de desabastecimiento y las principales limitaciones logísticas.

La articulación de ambos alcances permitió avanzar hacia una comprensión integral del fenómeno, incorporando no solo variables técnicas, sino también dimensiones sociales, organizativas e institucionales. De esta manera, el estudio trasciende el análisis operativo de la cadena de suministro y se orienta hacia una perspectiva sistémica que integra factores logísticos, territoriales y comunitarios.

Enfoque de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, dado que el fenómeno analizado involucra dinámicas técnicas, sociales e institucionales que requieren ser comprendidas desde el contexto y la experiencia de los actores involucrados. Este enfoque permitió interpretar las prácticas, percepciones y experiencias relacionadas con la logística de abastecimiento en comunidades energéticas, especialmente en lo referente a la gestión de insumos, el transporte, la toma de decisiones y la organización comunitaria.

A partir de la evidencia empírica, se abordó la logística como un sistema sociotécnico, en el que la eficiencia no depende únicamente de factores operativos, sino también de elementos como la gobernanza, las capacidades locales y la articulación entre actores. Asimismo, el enfoque cualitativo facilitó una comprensión situada del fenómeno, reconociendo que cada territorio presenta condiciones particulares que inciden directamente en la planificación y ejecución de la logística. En este sentido, el análisis se orientó a identificar patrones y aprendizajes, más que a proponer modelos estandarizados.

Categorías, dimensiones o variables de estudio

La organización del estudio se estructuró a partir de categorías analíticas derivadas del marco teórico y articuladas con los objetivos de la investigación. Estas categorías permitieron analizar la logística de abastecimiento como un sistema sociotécnico, integrando dimensiones operativas, económicas, territoriales y organizativas.

Cada categoría fue desagregada en dimensiones específicas, con el fin de facilitar su operacionalización y análisis en las matrices cualitativas.

1. Insumos y suministros críticos: Se definieron como el conjunto de bienes, componentes y servicios indispensables para la operación y mantenimiento (O&M) de los sistemas energéticos en comunidades. Esta categoría se sustenta en la literatura de gestión de cadenas de suministro (Beamon, 1998), que resalta la importancia de la disponibilidad y criticidad de los recursos.

- Dimensiones:
 - Tipo de insumo o servicio (equipos, repuestos, mantenimiento)
 - Nivel de criticidad
 - Riesgo de desabastecimiento
 - Disponibilidad de proveedores

2. Cadena logística de abastecimiento: Se comprendió como el conjunto de procesos que articulan la planeación, adquisición, transporte, almacenamiento y distribución de insumos, en línea con los modelos de cadena de suministro (Urrego et al., 2018).

- Dimensiones:
 - Actores involucrados
 - Flujos logísticos
 - Medios de transporte
 - Tiempos de reposición (lead time)
 - Costos logísticos
 - Cuellos de botella

3. Brechas y riesgos logísticos: Se definió como el conjunto de factores que afectan la eficiencia, continuidad y sostenibilidad de la cadena de abastecimiento, incluyendo fallas operativas, incertidumbre y vulnerabilidad del sistema.

- Dimensiones:
 - Sobrecostos logísticos
 - Retrasos y variabilidad en tiempos
 - Riesgos climáticos y geográficos
 - Impactos ambientales
 - Resiliencia operativa

4. Gobernanza logística en comunidades energéticas: Se definió como el conjunto de mecanismos de toma de decisiones, coordinación de actores y gestión de recursos que inciden en la operación logística de los sistemas energéticos, en línea con enfoques de gobernanza participativa (PNUD, etc.).

- Dimensiones:
 - Toma de decisiones
 - Roles y responsabilidades
 - Coordinación entre actores
 - Gestión de recursos
 - Mecanismos de control y seguimiento

4. Capacidades locales para la operación y mantenimiento: Se definieron como el nivel de conocimiento, habilidades técnicas y autonomía operativa de las comunidades para gestionar los sistemas energéticos.

- Dimensiones:
 - Formación técnica
 - Autonomía operativa
 - Capacidad de mantenimiento

- Apropiación del sistema

Fuentes de información, población y muestra

Dado el enfoque cualitativo y el carácter exploratorio-descriptivo de la investigación, la noción de población fue entendida no en términos estadísticos sino como el conjunto de actores, documentos y experiencias relevantes para comprender el fenómeno de la logística de abastecimiento sostenible en comunidades energéticas.

En consecuencia, la investigación consideró como fuente primaria actores clave del sector energético con experiencia directa en la estructuración, implementación y análisis de proyectos energéticos en contextos de difícil acceso. La siguiente tabla resume los participantes y sus perfiles (véase tabla 1).

Tabla 1. Matriz de alineación entre objetivos específicos, categorías analíticas, subcategorías y fuentes de información

Objetivos Específicos	Categorías	Subcategorías	Tipo de actor
Caracterizar suministros y servicios críticos	Insumos y suministros críticos	Repuestos más críticos para operación continua	Consultor del sector energético con experiencia en implementación de proyectos energéticos en ZNI
		Servicios indispensables de O&M	Directivo o consultor especializado en operación y sostenibilidad energética

		Frecuencia de fallas o reemplazos	Actor experto en gestión operativa y mantenimiento de sistemas energéticos
Examinar estructura de la cadena	Cadena logística de abastecimiento	Actores que participan en la cadena	Representante de organización del sector o transición energéticos
		Flujo del suministro (origen–destino)	Consultor o líder sectorial con conocimiento en abastecimiento energético
		Distancias y tiempos de transporte	Actor estratégico con experiencia en implementación territorial
Evaluar brechas logísticas	Limitaciones estructurales y operativas de la cadena logística	Diferencias entre tiempos esperados y reales	Consultor o líder de proyectos energéticos
		Impactos ambientales del transporte y logística	Actor sectorial con visión estratégica en sostenibilidad energética
		Capacidad de respuesta ante fallas o eventos climáticos	Experto en operación de proyectos energéticos en territorios no interconectados
Analizar rol de la comunidad energética	Gobernanza logística en comunidades energéticas y capacidades locales	Formas de organización comunitaria	Consultor o líder sectorial con experiencia en modelos comunitarios
		Rol comunitario en O&M	Actor con experiencia en implementación de comunidades energéticas

	para la operación y mantenimiento	Capacidades locales existentes	Experto en apropiación tecnológica y fortalecimiento comunitario
--	-----------------------------------	--------------------------------	--

Nota. *Elaboración propia*

Para la selección de los expertos se establecieron los siguientes criterios de inclusión: contar con formación técnica o profesional en el sector energético, ambiental o logístico; tener experiencia mínima de dos años en la gestión o estructuración de proyectos de energías renovables, con énfasis en contextos rurales o de difícil acceso; tener conocimiento directo de las condiciones operativas y logísticas en Zonas No Interconectadas (ZNI) o en territorios con restricciones de conectividad; y estar vinculados a organizaciones o empresas con trayectoria reconocida en el sector energético colombiano.

Los criterios de exclusión incluyeron: actores sin experiencia directa en la implementación o gestión de proyectos en contextos de ZNI; y personas cuyo conocimiento del tema se limitará a aspectos regulatorios o financieros sin vinculación operativa con la cadena logística.

Técnica e instrumento para la recolección de datos primarios

La entrevista semiestructurada fue utilizada como técnica central para la recolección de información primaria. Según Folgueiras Bertomeu (2016), la entrevista es una técnica orientada a obtener información de forma oral y personalizada sobre experiencias, opiniones y conocimientos de personas relacionadas con el fenómeno de estudio. El carácter semiestructurado implica que, si bien se parte de una guía temática preestablecida, el entrevistador tiene la flexibilidad para introducir preguntas adicionales en función de las respuestas del entrevistado y los temas emergentes.

El diseño del instrumento se realizó a partir de una matriz cualitativa (véase tabla 2), organizada en bloques que abordaban las siguientes categorías: insumos y suministros críticos, cadena logística de abastecimiento, brechas y riesgos logísticos, y gobernanza logística en comunidades energéticas y capacidades locales para la operación y mantenimiento. Estos bloques integraron subcategorías como repuestos más críticos para operación continua, servicios indispensables de O&M, frecuencia de fallas o reemplazos, actores que participan en la cadena, flujo del suministro, distancias y tiempos de transporte, diferencias entre tiempos esperados y reales, impactos ambientales del transporte y logística, capacidad de respuesta ante fallas o eventos climáticos, formas de organización comunitaria, rol comunitario en O&M y capacidades locales existentes.

La tabla 2 presenta la matriz del instrumento de recolección de información, en la cual se articulan los objetivos específicos, las categorías, subcategorías y preguntas orientadoras de la entrevista, garantizando la coherencia entre el diseño metodológico y la obtención de datos empíricos.

Tabla 2. Matriz de diseño del instrumento de recolección de información

Objetivos Específicos	Categorías	Subcategorías	Preguntas Instrumento
Caracterizar suministros y servicios críticos	Insumos y suministros críticos	Repuestos más críticos para operación continua	P2 ¿Cuáles considera que son los insumos y servicios más crítico y por qué?
		Servicios indispensables de O&M	P3 ¿Qué factores logísticos representan barreras?

		Frecuencia de fallas o reemplazos	-
Examinar estructura de la cadena	Cadena logística de abastecimiento	Actores que participan en la cadena	P1 ¿Cómo describiría la estructura actual de la cadena?
		Flujo del suministro (origen–destino)	P3 ¿Qué factores logísticos representan barreras?
		Distancias y tiempos de transporte	-
Evaluar brechas logísticas	Brechas y riesgos logísticos	Diferencias entre tiempos esperados y reales	P3. Factores logísticos como tiempos, costos, acceso
		Impactos ambientales del transporte y logística	P4 ¿Cómo inciden riesgos climáticos y sociales?
		Capacidad de respuesta ante fallas o eventos climáticos	P5 ¿Qué prácticas han sido efectivas?
Analizar rol de la comunidad energética	Gobernanza logística en comunidades energéticas y capacidades locales para la operación y mantenimiento	Formas de organización comunitaria	P1. Estructura de la cadena (incluye actores comunitarios)
		Rol comunitario en O&M	P5. Prácticas de resiliencia logística
		Capacidades locales existentes	P4. Impacto de riesgos en operación comunitaria

Nota. *Elaboración propia.*

La guía fue validada previamente por el equipo investigador y ajustada a partir de una lectura crítica de la literatura revisada. Folgueiras Bertomeu (2016) destaca que la entrevista semiestructurada es especialmente adecuada para estudios cualitativos orientados a la comprensión de fenómenos complejos, dado que permite profundizar en aspectos no previstos inicialmente y capturar la riqueza de las experiencias y percepciones de los participantes.

Las entrevistas se realizaron de manera individual, con una duración aproximada de 60 a 90 minutos, en modalidad virtual según las condiciones de cada participante. Con el consentimiento de los entrevistados, las sesiones fueron grabadas y posteriormente transcritas para facilitar el proceso de análisis.

Método y procedimiento para el análisis de datos

Método de análisis

El análisis de datos se realizó mediante el método de análisis cualitativo de contenido, combinado con el uso sistemático de matrices cualitativas (véase Tabla 2) como herramienta central de organización y procesamiento de la información. De acuerdo con Martínez Corona et al. (2023), el análisis de contenido cualitativo es un método interpretativo que permite identificar, codificar y categorizar los patrones y temas presentes en los datos textuales, posibilitando la construcción de inferencias replicables y válidas a partir del corpus documental y empírico.

En la siguiente tabla E1: Se refiere a la entrevista con la compañía Blumergy, y E2: se refiere a la entrevista con la compañía Colombia Inteligente.

Tabla 3. Matriz de sistematización y análisis de entrevistas semiestructuradas

Categoría	Subcategorías	Pregunta	Aspecto a observar	Código	Transcripción/Unidad de análisis
Cadena de suministro	Estructura	P1	Organización del sistema	E1	“Los aspectos energéticos y financieros están estructurados; las brechas están en la logística y operación en territorio.”
	Enfoque territorial	P1	Adaptación al contexto	E1	“La logística no puede planificarse bajo un modelo estándar, requiere entender el contexto geográfico y social.”
Abastecimiento sostenible	Criticidad	P2	Elementos clave	E1	“La continuidad depende más de la operación logística que del diseño energético.”
Eficiencia Logística	Barreras	P3	Infraestructura	E1	“La logística en Colombia enfrenta desafíos estructurales como infraestructura limitada y dispersión geográfica.”
	Costos	P3	Costos logísticos	E1	“La logística representa un porcentaje considerable del presupuesto total.”

	Tiempos	P3	Lead times	E1	“Las distancias no corresponden a los tiempos reales por condiciones del territorio.”
Gestión de Riesgos	Climáticos	P4	Impacto Clima	E1	“Las condiciones climáticas adversas incrementan riesgos operativos y retrasos.”
	Operativos	P4	Costos ocultos	E1	“Existen costos no facturables asociados a retrasos y dificultades logísticas.”
Resiliencia Logística	Estrategias	P5	Capacitación	E1	“La capacitación local reduce dependencia externa y tiempos de reposición.”
	Planeación	P5	Mapeo	E1	“El mapeo permite anticipar cuellos de botella y optimizar recursos.”
Comunidad Energética	Gobernanza	P1/P5	Toma de decisiones	E1	“Es clave definir quién toma decisiones, administra inventarios y responde ante fallas.”
	Participación	P5	Rol comunitario	E1	“La contratación de personas locales mejora

					la logística y sostenibilidad.”
Cadena de suministro	Actores	P1	Organización comunitaria	E2	“Una comunidad es un conjunto de personas que acuerdan cómo usar los recursos.”
Comunidad Energética	Gobernanza	P1	Roles	E2	“Se requiere gobernanza, definición de roles y acuerdos entre actores.”
	Capacidad Organizativa	P5	Gestión	E2	“La comunidad debe tener capacidad de administración, registro y planeación.”
Resiliencia Logística	Capacidades Locales	P5	Formación	E2	“La formación en sitio permite resolver problemas sin depender de externos.”
Abastecimiento sostenible	Acceso	P2	Brecha de conocimiento	E2	“Existe una brecha de aprendizaje en ZNI frente a grandes ciudades.”
Eficiencia Logística	Transporte	P3	Multimodal	E2	“El transporte requiere múltiples medios como canoas o animales de carga.”

	Costos	P3	Sobrecostos	E2	“La logística presenta altos sobrecostos y falta de estandarización.”
Gestión de Riesgos	Acceso territorial	P4	Limitaciones Físicas	E2	“Hay territorios sin acceso vial o portuario que dificultan el suministro.”

Nota. *Elaboración propia*

Se realizó la transcripción completa de las entrevistas con el fin de garantizar la fidelidad de la información recolectada. A partir de estas transcripciones, se identificaron unidades de análisis relevantes, entendidas como fragmentos de discurso que contienen información significativa para los objetivos del estudio.

Dichas unidades fueron codificadas y organizadas en función de las categorías y subcategorías previamente definidas, lo que permitió estructurar el análisis de manera sistemática. Asimismo, se seleccionaron citas textuales representativas que evidencian las percepciones y experiencias de los actores entrevistados, las cuales fueron utilizadas para sustentar los hallazgos presentados en los resultados.

Este proceso se sistematizó mediante la matriz cualitativa de análisis (Véase Tabla 3), en la cual se articulan las categorías, subcategorías, preguntas del instrumento, aspectos a observar, códigos y unidades de análisis, facilitando la identificación de patrones, convergencias y relaciones en los datos empíricos.

La construcción y uso de matrices cualitativas siguió los lineamientos propuestos por Calderón Chelius (2025), quien define las matrices como instrumentos de organización y análisis que permiten sistematizar la información de manera visual y estructurada,

facilitando la comparación entre fuentes, la identificación de convergencias y divergencias, y la construcción de interpretaciones fundamentadas. Las matrices empleadas articularon las categorías de análisis, los códigos asignados, las subcategorías de información y los hallazgos relevantes, constituyendo un puente entre la recolección de datos y la interpretación teórica.

Articulación entre categorías, técnicas y análisis

La coherencia interna del diseño metodológico se evidencia en la articulación explícita entre las categorías de análisis, las técnicas e instrumentos de recolección y el procedimiento analítico empleado. Cada categoría definida en la sección 4 fue operacionalizada mediante las técnicas descritas en la sección 6, y analizada a través del procedimiento detallado en la presente sección.

Esta articulación garantiza que los datos recolectados respondan directamente a los objetivos específicos y que el análisis genere conocimiento pertinente y fundamentado sobre el fenómeno de estudio.

La integración de este esquema analítico articulado garantizó que todas las decisiones metodológicas estuvieran justificadas y vinculadas al problema y objetivos de la investigación, asegurando la coherencia interna impecable requerida para un diseño metodológico riguroso y sólido.

Resultados

Caracterización y contextualización de la logística de abastecimiento en comunidades energéticas en Zonas No Interconectadas

Los resultados obtenidos evidencian que los suministros críticos en comunidades energéticas ubicadas en Zonas No Interconectadas (ZNI) no se limitan exclusivamente a componentes tecnológicos, sino que configuran un sistema integrado de bienes, servicios y capacidades que, en conjunto, permiten garantizar la continuidad operativa del sistema energético. Este hallazgo adquiere mayor relevancia cuando se contextualiza en territorios como La Guajira y otras ZNI en Colombia, caracterizados por condiciones de acceso limitado, dispersión geográfica, baja infraestructura vial y dinámicas socioculturales particulares, que inciden directamente en la forma en que se estructura y gestiona la logística de abastecimiento.

A partir del análisis de las matrices cualitativas, construidas con base en entrevistas semiestructuradas y su triangulación con el marco teórico, se identificaron cinco grandes categorías que estructuran este sistema: (i) equipos principales, como módulos fotovoltaicos, inversores y baterías; (ii) componentes de control y protección, entre los que se incluyen sistemas de gestión de baterías (BMS), fusibles, reguladores y medidores; (iii) infraestructura de soporte, como estructuras, cableado y sistemas de anclaje; (iv) servicios de operación y mantenimiento (O&M); y (v) capacidades humanas locales, asociadas a la formación técnica y la apropiación del sistema por parte de la comunidad.

Sin embargo, más allá de esta clasificación, los hallazgos de las entrevistas permiten comprender que estos elementos no operan de manera independiente, sino como parte de un sistema interdependiente condicionado por el territorio. En este sentido, tal como

se evidenció en la entrevista con actores del sector, “la optimización no se encuentra en el modelo energético en sí, sino en los componentes operativos y logísticos asociados a la implementación en territorio” (Entrevista Blumergy, 2026). Esto refuerza la idea de que la logística de abastecimiento constituye un eje central en la sostenibilidad de los proyectos, más allá del diseño técnico o financiero.

En esta línea, los resultados permiten ampliar la comprensión tradicional de la criticidad de los suministros, evidenciando que esta no está determinada únicamente por el valor económico del insumo, sino por su incidencia directa en la continuidad del servicio y su disponibilidad en el territorio. Si bien los módulos fotovoltaicos representan uno de los componentes de mayor costo dentro del sistema, los hallazgos muestran que elementos como fusibles, controladores o dispositivos de protección presentan una mayor criticidad operativa, debido a su alta probabilidad de falla y su limitada disponibilidad en contextos de difícil acceso. Esta situación se agrava en territorios donde no existen proveedores cercanos ni inventarios locales, lo que implica que la reposición de estos componentes puede tardar días o incluso semanas.

De acuerdo con lo señalado en las entrevistas, esta problemática se relaciona directamente con las brechas en tiempo y transporte existentes en el contexto colombiano, donde “las distancias no corresponden a los tiempos reales de desplazamiento debido a condiciones de infraestructura, clima y acceso” (Entrevista Blumergy, 2026). En consecuencia, la ausencia o retraso en la reposición de componentes críticos puede generar interrupciones completas del sistema energético, lo que pone en evidencia la necesidad de redefinir los criterios de priorización logística. Este resultado es consistente con lo planteado por Urrego et al. (2018), quienes señalan que los principales cuellos de botella en sistemas fotovoltaicos no necesariamente se

encuentran en los componentes de mayor valor, sino en aquellos elementos menores que resultan indispensables para el funcionamiento integral del sistema.

En relación con la estructura de la cadena logística de abastecimiento, la caracterización derivada de las matrices de flujos y actores permitió identificar una configuración fragmentada y altamente dependiente de agentes externos. Esta cadena está compuesta, en términos generales, por proveedores internacionales, importadores y distribuidores nacionales, empresas operadoras o implementadoras de proyectos energéticos, intermediarios logísticos encargados del transporte y la distribución y, finalmente, las comunidades locales como receptoras y, en algunos casos, gestoras parciales del sistema. Esta estructura evidencia una débil articulación entre los actores y una limitada integración vertical, lo que se traduce en ineficiencias operativas y mayores niveles de vulnerabilidad.

Los hallazgos de las entrevistas refuerzan esta lectura, al señalar que la logística en Colombia, particularmente en ZNI, enfrenta desafíos estructurales asociados a la combinación de múltiples modos de transporte y a la ausencia de infraestructura adecuada. En algunos casos, el traslado de insumos puede requerir el uso de transporte terrestre, fluvial e incluso medios no convencionales como canoas o animales de carga, lo que incrementa significativamente la complejidad operativa y los costos asociados (Entrevista Colombia Inteligente, 2026). Esta realidad limita la estandarización de procesos logísticos y genera una alta variabilidad en tiempos y costos.

En este contexto, los resultados muestran que la dependencia de proveedores externos incrementa significativamente la exposición a interrupciones en la cadena de suministro, afectando tanto la eficiencia como la continuidad del servicio energético. En particular, se identificaron tres efectos principales: tiempos de reposición prolongados, asociados a

procesos de importación, transporte y distribución en territorios de difícil acceso; altos costos logísticos, derivados del uso de esquemas de transporte multimodal; y baja capacidad de respuesta ante fallas, debido a la ausencia de inventarios locales y a la limitada disponibilidad de proveedores cercanos.

Adicionalmente, las entrevistas evidencian que los costos logísticos no solo son elevados, sino que representan un componente significativo del presupuesto total de los proyectos, incluyendo gastos asociados a transporte, almacenamiento, seguros, manipulación de equipos y desplazamiento de personal (Entrevista Blumergy, 2026). A esto se suman los denominados costos no facturables, como retrasos por condiciones climáticas o trámites administrativos, que afectan la rentabilidad real del proyecto y dificultan su planificación financiera.

Por otra parte, el análisis permitió evidenciar que las condiciones territoriales desempeñan un papel determinante en la configuración y desempeño de la logística de abastecimiento. En este sentido, la logística en Zonas No Interconectadas no puede ser entendida únicamente desde una perspectiva técnica, sino como un sistema sociotécnico en el que convergen factores geográficos, climáticos, sociales e institucionales. Tal como se señaló en las entrevistas, “la logística no puede planificarse bajo un modelo estándar, sino que requiere una lectura detallada del entorno y de los actores involucrados” (Entrevista Blumergy, 2026).

En primer lugar, la accesibilidad física se constituye como un factor crítico, ya que muchos de estos territorios carecen de infraestructura vial adecuada o conexiones portuarias eficientes, lo que limita la movilidad de insumos y equipos. En segundo lugar, las condiciones climáticas, como lluvias intensas o variaciones estacionales, afectan la transitividad de las rutas y la confiabilidad del transporte, generando

incertidumbre en los tiempos de abastecimiento. Finalmente, el contexto social, particularmente en lo relacionado con procesos de consulta previa, dinámicas comunitarias y estructuras de gobernanza local, incide de manera significativa en la implementación y operación de los proyectos energéticos. Estos factores confirman lo señalado por la Contraloría General de Colombia (2024), en el sentido de que la logística en estos territorios está condicionada por variables estructurales que trascienden lo puramente operativo.

En este contexto, uno de los hallazgos más relevantes del estudio es el reconocimiento de la comunidad como un actor logístico fundamental dentro del sistema. A partir del análisis de las matrices y entrevistas, se evidenció que las comunidades no solo cumplen un rol pasivo como beneficiarias del servicio energético, sino que participan activamente en diferentes eslabones de la cadena de abastecimiento. Entre sus principales funciones se encuentran el apoyo en el almacenamiento básico de insumos, la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo y la facilitación de la coordinación territorial.

Asimismo, las entrevistas destacan que la contratación de personal local y el conocimiento del territorio permiten anticipar riesgos, optimizar rutas y reducir errores logísticos, lo que contribuye a mejorar la eficiencia operativa (Entrevista Blumergy, 2026). De igual manera, se resalta que una comunidad organizada, con capacidad de toma de decisiones y gestión de recursos, fortalece la gobernanza del sistema y su sostenibilidad en el tiempo (Entrevista Colombia Inteligente, 2026).

No obstante, los resultados también evidencian que el potencial de la comunidad como actor logístico se encuentra limitado por brechas significativas en términos de formación técnica y acceso al conocimiento. En territorios de ZNI, el acceso a procesos

de formación es reducido, lo que genera una dependencia continua de actores externos para la operación y mantenimiento de los sistemas. Como se señala en las entrevistas, “existe una brecha importante en el acceso al conocimiento en comparación con las grandes ciudades”, lo que limita el desarrollo de capacidades locales (Entrevista Colombia Inteligente, 2026).

Esta situación no solo incrementa los costos logísticos, sino que también compromete la continuidad del servicio en escenarios donde el acceso a soporte técnico es limitado o tardío. En consecuencia, la sostenibilidad de las comunidades energéticas depende en gran medida del fortalecimiento de las capacidades locales, así como de la integración efectiva de la comunidad dentro de los esquemas de gobernanza logística.

No obstante, los resultados evidencian que la logística de abastecimiento en comunidades energéticas en ZNI se configura como un sistema complejo, en el que la disponibilidad de suministros críticos, la estructura de la cadena de suministro, las condiciones territoriales y la participación comunitaria interactúan de manera interdependiente. Esta comprensión integral permite no solo caracterizar el sistema logístico, sino también identificar los factores que inciden en su desempeño y sostenibilidad, sentando las bases para el análisis de las brechas y retos que se desarrollan en el siguiente capítulo.

Retos y aciertos logísticos en proyectos energéticos en ZNI.

En coherencia con la caracterización desarrollada en el capítulo anterior, el análisis de las entrevistas semiestructuradas y de las matrices cualitativas permitió identificar un conjunto de brechas estructurales que afectan de manera directa la eficiencia, continuidad y sostenibilidad de la logística de abastecimiento en comunidades energéticas ubicadas en Zonas No Interconectadas (ZNI), particularmente en territorios

como La Guajira. Estas brechas no operan de forma aislada, sino que se interrelacionan y refuerzan entre sí, configurando un sistema logístico altamente vulnerable, condicionado tanto por factores operativos como territoriales.

En este contexto, se identificaron cuatro grandes categorías de limitaciones: los altos costos logísticos, los tiempos de reposición elevados, la fragmentación de la cadena de suministro y la baja adaptabilidad operativa. Estas dimensiones, analizadas de manera conjunta, permiten comprender que las dificultades logísticas en ZNI responden a una estructura sistémica más que a fallas puntuales en la ejecución de los proyectos.

En primer lugar, los resultados evidencian que los costos logísticos representan una de las principales barreras para la sostenibilidad de los proyectos energéticos en territorios de difícil acceso. A partir del análisis de las matrices, se identificó que el transporte de equipos e insumos puede constituir una proporción significativa del costo total del proyecto, especialmente en contextos donde se requiere el uso de esquemas de transporte multimodal. Este tipo de transporte implica la combinación de medios terrestres, fluviales e incluso aéreos, lo que incrementa no solo los costos directos, sino también los tiempos de ejecución y la complejidad operativa.

Los hallazgos de las entrevistas permiten profundizar en esta problemática, al evidenciar que los costos logísticos en estos territorios no se limitan al traslado físico de los equipos, sino que incluyen una serie de gastos asociados como almacenamiento, seguros, manipulación, contratación de personal local y desplazamientos técnicos. Tal como se señaló en las entrevistas, estos costos pueden representar una carga significativa dentro del presupuesto total del proyecto, afectando su viabilidad financiera (Entrevista Blumergy, 2026). A ello se suman los denominados costos ocultos, tales como tiempos muertos derivados de retrasos en transporte, reprocesos por

fallas en la coordinación logística o sobrecostos asociados a condiciones imprevistas del territorio. Estos elementos suelen no ser considerados en la planeación inicial, lo que conduce a una subestimación de los costos reales y a desviaciones presupuestales durante la ejecución.

En segundo lugar, los tiempos de reposición elevados emergen como una de las brechas más críticas dentro del sistema logístico. Los datos muestran que los tiempos de respuesta ante fallas pueden extenderse considerablemente debido a múltiples factores estructurales. Entre ellos, destaca la alta dependencia de importaciones para el suministro de equipos tecnológicos, lo que implica procesos aduaneros, tiempos de fabricación y transporte internacional. A esto se suman las limitaciones en la infraestructura de transporte interno, particularmente en territorios con baja conectividad, donde el acceso depende de condiciones climáticas, geográficas y de seguridad.

Las entrevistas refuerzan esta lectura al señalar que, en el contexto colombiano, las distancias no reflejan los tiempos reales de desplazamiento, debido a la precariedad de las vías y a las condiciones del territorio. En este sentido, un trayecto que en condiciones óptimas podría realizarse en pocas horas puede extenderse significativamente, afectando la capacidad de respuesta ante fallas (Entrevista Blumergy, 2026). Asimismo, la ausencia de inventarios locales o centros de acopio cercanos obliga a realizar pedidos bajo demanda, lo que incrementa aún más los tiempos de reposición. Esta combinación de factores genera interrupciones prolongadas en la operación de los sistemas energéticos, comprometiendo la continuidad del servicio y la confianza de las comunidades beneficiarias.

En tercer lugar, la fragmentación de la cadena de suministro se configura como un factor estructural que limita la eficiencia logística. El análisis de las matrices de actores y flujos evidenció una débil articulación entre los diferentes eslabones de la cadena, lo que se traduce en ineficiencias operativas, duplicidad de esfuerzos y pérdida de información clave para la toma de decisiones. Esta fragmentación es particularmente crítica en ZNI, donde la coordinación entre actores resulta indispensable para garantizar el flujo continuo de insumos y servicios.

De acuerdo con las entrevistas, la logística en estos contextos requiere una articulación constante entre múltiples actores: proveedores, operadores, intermediarios y comunidades, la cual no siempre se logra debido a la ausencia de mecanismos de coordinación claros. Esta falta de integración dificulta la planificación conjunta del abastecimiento y genera desalineaciones en los tiempos, los volúmenes y las prioridades de entrega. En consecuencia, la cadena de suministro pierde eficiencia y capacidad de respuesta frente a eventos imprevistos, incrementando la vulnerabilidad del sistema.

En cuarto lugar, la baja adaptabilidad operativa de las cadenas logísticas constituye una de las principales limitaciones identificadas. Los resultados muestran que los sistemas analizados presentan una capacidad limitada de adaptación ante perturbaciones externas, tales como eventos climáticos extremos, bloqueos territoriales o conflictos sociales. La falta de planes de contingencia, la escasa diversificación de proveedores y la ausencia de estrategias estructuradas de gestión de riesgos contribuyen a esta vulnerabilidad.

Tal como se evidenció en las entrevistas, la logística en ZNI no puede abordarse bajo esquemas rígidos o estandarizados, sino que requiere una capacidad constante de ajuste frente a condiciones cambiantes del territorio. Sin embargo, muchos proyectos carecen de esta flexibilidad, lo que limita su capacidad de reacción ante eventos imprevistos. En

este sentido, las cadenas logísticas no logran absorber ni recuperarse de manera eficiente ante interrupciones, lo que compromete la estabilidad del servicio energético. Estos hallazgos se alinean con lo planteado por Beamon (1998), quien sostiene que la eficiencia de una cadena de suministro depende del equilibrio entre costo, flexibilidad y nivel de servicio, elementos que en este caso se encuentran desbalanceados.

De manera complementaria, el análisis permitió identificar que los riesgos asociados a la logística de abastecimiento no son únicamente de carácter operativo, sino que responden a condiciones estructurales propias del territorio. En particular, las matrices evidencian la incidencia significativa de riesgos climáticos y sociales en el desempeño logístico. En el ámbito climático, fenómenos como lluvias intensas, inundaciones o variaciones estacionales afectan directamente la transitividad de las rutas y la disponibilidad de medios de transporte, generando retrasos e incertidumbre en los tiempos de entrega.

Por su parte, los riesgos sociales como conflictos comunitarios, dinámicas territoriales complejas o procesos de consulta previa, pueden generar retrasos en la implementación de proyectos y en la ejecución de actividades logísticas. Asimismo, los procesos institucionales y regulatorios, en algunos casos caracterizados por tiempos prolongados y falta de coordinación interinstitucional, contribuyen a la generación de incertidumbre en la planificación logística. Como se señaló en las entrevistas, la interacción con múltiples actores y niveles de decisión puede ralentizar la ejecución de proyectos, especialmente en territorios con dinámicas sociales complejas (Entrevista Colombia Inteligente, 2026).

En conjunto, estos factores afectan de manera directa la continuidad del servicio energético, confirmando que la logística de abastecimiento constituye un componente

crítico de la seguridad energética, tal como lo señala la Contraloría General de Colombia (2024).

No obstante, a pesar de las brechas identificadas, el análisis también permitió reconocer un conjunto de buenas prácticas que contribuyen a mejorar el desempeño logístico y la sostenibilidad de los proyectos energéticos en ZNI. En primer lugar, la integración comunitaria se destaca como una estrategia clave para fortalecer la operación logística. La participación de la comunidad en actividades como el mantenimiento básico, la gestión de inventarios y la coordinación territorial permite reducir tiempos de respuesta y mejorar la apropiación del sistema. Este involucramiento no solo tiene efectos operativos, sino también sociales, al fortalecer el sentido de pertenencia y la sostenibilidad del proyecto.

En segundo lugar, la capacitación local emerge como un factor determinante para reducir la dependencia de actores externos. Tal como se evidenció en las entrevistas, el desarrollo de capacidades técnicas en las comunidades permite mejorar la capacidad de respuesta ante fallas y optimizar la operación del sistema sin necesidad de recurrir constantemente a soporte externo (Entrevista Blumergy, 2026). Esta estrategia contribuye directamente a la adaptabilidad del sistema, al permitir una gestión más autónoma y eficiente.

Asimismo, la planeación logística anticipada se identifica como una práctica diferenciadora entre proyectos exitosos y aquellos que presentan mayores dificultades. Los resultados muestran que los proyectos que integran la logística desde la fase de diseño, considerando rutas de acceso, tiempos de transporte, condiciones territoriales y riesgos asociados, presentan un mejor desempeño en términos de eficiencia y

continuidad operativa. Por el contrario, aquellos que abordan la logística de manera reactiva tienden a enfrentar mayores sobrecostos, retrasos y fallas en la implementación.

Finalmente, la diversificación de proveedores se posiciona como una estrategia efectiva para reducir el riesgo de desabastecimiento. Al evitar la dependencia de un único proveedor, los proyectos aumentan su capacidad de respuesta ante interrupciones en la cadena de suministro, mejorando su flexibilidad y resiliencia. Estas prácticas son coherentes con los principios de la logística sostenible, que promueven la eficiencia, la resiliencia y la adaptación a contextos específicos (Fernández Conga, 2024).

En síntesis, los resultados de este capítulo evidencian que los retos logísticos en ZNI responden a una combinación de factores estructurales, operativos y territoriales que requieren ser abordados de manera integral. Al mismo tiempo, los aciertos identificados ofrecen una base sólida para el diseño de estrategias que permitan fortalecer la logística de abastecimiento, mejorar la continuidad del servicio energético y avanzar hacia modelos más sostenibles y resilientes en contextos de alta complejidad.

Recomendaciones para actores que proyecten llevar energía a ZNI

A partir de los hallazgos obtenidos, se formulan un conjunto de recomendaciones orientadas a mejorar la eficiencia, adaptación y sostenibilidad de la logística de abastecimiento en comunidades energéticas ubicadas en Zonas No Interconectadas. Estas recomendaciones no deben entenderse como acciones aisladas, sino como lineamientos estratégicos interdependientes que responden directamente a las brechas estructurales identificadas y que buscan transformar la forma en que se concibe, diseña y gestiona la logística en contextos de alta complejidad territorial, como La Guajira.

En primer lugar, se plantea la necesidad de adoptar un enfoque estratégico de la logística, en el cual esta deje de ser concebida como un componente operativo secundario y pase a integrarse desde la fase de diseño y estructuración del proyecto. Los resultados evidenciaron que una parte significativa de los problemas logísticos como sobrecostos, retrasos y fallas en la reposición de insumos, se originan en una planificación insuficiente o tardía. Tal como se señaló en las entrevistas, la eficiencia de los proyectos no depende únicamente del modelo energético, sino de la forma en que se anticipan las condiciones logísticas del territorio (Entrevista Blumergy, 2026). En este sentido, se recomienda incorporar de manera explícita el análisis de la cadena de suministro dentro de la formulación del proyecto, considerando variables como disponibilidad de proveedores, tiempos reales de transporte, condiciones de acceso territorial y requerimientos de almacenamiento.

De igual manera, resulta fundamental realizar una evaluación temprana de riesgos logísticos que permita anticipar posibles interrupciones y diseñar estrategias de mitigación antes de la implementación. Este enfoque preventivo contribuye a reducir la incertidumbre, mejorar la asignación de recursos y evitar decisiones reactivas que incrementan los costos y afectan la continuidad del servicio.

En segundo lugar, se recomienda fortalecer la gestión de suministros críticos, mediante la implementación de sistemas estructurados de priorización de insumos. Como se mencionaba en el primer apartado de resultados, se evidenció que la criticidad de un componente no depende únicamente de su valor económico, sino de su impacto en la continuidad del sistema y su disponibilidad en el territorio. Componentes de bajo costo, como fusibles o dispositivos de protección, pueden generar fallas críticas si no están disponibles oportunamente. Por ello, se propone desarrollar mecanismos de

clasificación que integren variables como el nivel de criticidad operativa, la probabilidad de falla y el riesgo de desabastecimiento.

Asimismo, se sugiere la creación de inventarios estratégicos locales, especialmente en territorios donde los tiempos de reposición son elevados. Esta recomendación responde directamente a lo evidenciado en las entrevistas, donde se señala que la ausencia de stock en territorio incrementa significativamente los tiempos de respuesta ante fallas (Entrevista Colombia Inteligente, 2026). La descentralización de inventarios permite reducir la dependencia de cadenas externas y mejora la capacidad de reacción del sistema ante interrupciones.

En tercer lugar, los resultados destacan la importancia del fortalecimiento de capacidades locales como un elemento clave para la sostenibilidad de las comunidades energéticas. El análisis evidenció que la comunidad cumple un rol activo en la operación logística, pero su participación se encuentra limitada por brechas en formación técnica. En este sentido, se recomienda implementar programas de capacitación orientados a desarrollar habilidades en operación, mantenimiento y gestión básica de los sistemas energéticos, adaptados a las condiciones socioculturales del territorio.

De igual forma, se propone fomentar procesos estructurados de transferencia de conocimiento entre actores externos y las comunidades locales. Tal como se evidenció en las entrevistas, la contratación de personal local y el conocimiento del territorio permiten optimizar la logística y anticipar riesgos (Entrevista Blumergy, 2026).

Complementariamente, se recomienda promover modelos de cogestión, en los cuales la comunidad participe activamente en la toma de decisiones y en la administración de los

recursos logísticos. Este enfoque no solo fortalece la autonomía operativa, sino que también contribuye a la apropiación del sistema y a su sostenibilidad en el largo plazo.

En cuarto lugar, se plantea la necesidad de avanzar hacia el diseño de cadenas logísticas resilientes, capaces de adaptarse a condiciones de incertidumbre y responder de manera efectiva ante interrupciones. Los resultados del capítulo 2 evidenciaron una baja capacidad de adaptación frente a eventos climáticos y sociales, lo que compromete la continuidad del servicio energético. En este contexto, se recomienda diversificar la base de proveedores, evitando la dependencia de un único actor y ampliando las opciones de abastecimiento.

Asimismo, se propone diseñar rutas logísticas alternativas que permitan garantizar el acceso a los territorios en escenarios de bloqueo o condiciones adversas. La incorporación de planes de contingencia climática resulta fundamental en territorios donde las condiciones meteorológicas afectan la transitividad de manera recurrente. Estas estrategias responden a lo señalado en las entrevistas, donde se enfatiza que la logística en ZNI requiere flexibilidad y capacidad de adaptación constante (Entrevista Colombia Inteligente, 2026).

En quinto lugar, se identifica como prioridad el fortalecimiento de la articulación institucional y la coordinación entre actores. Los resultados evidenciaron que la fragmentación de la cadena de suministro y la falta de coordinación entre el sector público, las empresas privadas y las comunidades constituyen uno de los principales factores de ineficiencia logística. En este sentido, se recomienda promover espacios de diálogo y coordinación interinstitucional que permitan alinear objetivos, compartir información y optimizar el uso de recursos.

La definición clara de roles y responsabilidades entre los actores resulta fundamental para evitar duplicidades y mejorar la eficiencia operativa. Asimismo, se sugiere fortalecer los mecanismos de gobernanza que faciliten la toma de decisiones conjunta y la resolución de conflictos, especialmente en territorios donde confluyen múltiples intereses y dinámicas sociales complejas. Tal como se evidenció en las entrevistas, la falta de coordinación puede retrasar significativamente la ejecución de proyectos y aumentar la incertidumbre operativa (Entrevista Colombia Inteligente, 2026).

En sexto lugar, se propone la incorporación de criterios de sostenibilidad en la logística de abastecimiento, en línea con los principios de la transición energética. Esto implica adoptar prácticas orientadas a reducir el impacto ambiental de las operaciones logísticas, sin comprometer la eficiencia del sistema. Entre estas prácticas se incluyen la optimización y consolidación de carga para reducir el número de desplazamientos, así como la implementación de estrategias de gestión de residuos, especialmente en el manejo de baterías y componentes electrónicos.

De igual manera, se recomienda desarrollar esquemas de logística inversa que permitan recuperar, reutilizar o disponer adecuadamente los equipos al final de su vida útil. Estas acciones no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también pueden generar eficiencias económicas en el mediano y largo plazo, especialmente en contextos donde los costos logísticos son elevados.

Finalmente, se destaca la importancia de implementar un sistema de monitoreo y evaluación del desempeño logístico, que permita realizar un seguimiento continuo de las operaciones y facilitar la toma de decisiones basada en evidencia. A partir de los hallazgos, se evidenció la ausencia de mecanismos sistemáticos de medición, lo que limita la capacidad de mejora continua. En este sentido, se recomienda definir un

conjunto de indicadores clave que reflejen el comportamiento de la cadena de abastecimiento, tales como los tiempos de reposición, los costos logísticos, el nivel de servicio y la frecuencia de fallas.

Estos indicadores deben ser medidos de manera periódica y analizados de forma integrada, con el fin de identificar tendencias, detectar desviaciones y proponer acciones correctivas. La implementación de sistemas de monitoreo no solo mejora la transparencia y la rendición de cuentas, sino que también fortalece la gestión estratégica de la logística y su capacidad de adaptación.

En conjunto, estas recomendaciones configuran un marco integral para el diseño y gestión de la logística de abastecimiento en comunidades energéticas en ZNI. Su implementación requiere un enfoque sistémico que articule dimensiones técnicas, sociales e institucionales, reconociendo la complejidad del contexto y la necesidad de soluciones adaptadas a las particularidades territoriales. De esta manera, se contribuye no solo a mejorar la eficiencia operativa, sino también a garantizar la continuidad del servicio energético y a fortalecer la sostenibilidad de los proyectos en el largo plazo.

Conclusiones

La presente investigación permitió evidenciar que la logística de abastecimiento en comunidades energéticas ubicadas en Zonas No Interconectadas (ZNI) trasciende su concepción tradicional como un proceso operativo, configurándose como un sistema sociotécnico complejo en el que convergen dimensiones técnicas, territoriales, sociales e institucionales. En este sentido, se confirma que la sostenibilidad de los proyectos energéticos no depende exclusivamente de la tecnología implementada, sino de la

capacidad de garantizar la disponibilidad oportuna de insumos, la gestión eficiente de la cadena logística y la articulación efectiva entre los actores involucrados.

En relación con la caracterización de los suministros y servicios críticos, los resultados evidencian que la criticidad de los insumos no está determinada únicamente por su valor económico, sino por su incidencia en la continuidad del servicio energético.

Componentes de menor costo, pero con alta probabilidad de falla y limitada disponibilidad en territorio, pueden generar interrupciones significativas en el sistema, lo que pone en evidencia la necesidad de redefinir los criterios de priorización logística. Este hallazgo refuerza la importancia de adoptar enfoques más integrales en la gestión de abastecimiento, incorporando variables como el riesgo de desabastecimiento, los tiempos de reposición y las condiciones logísticas del territorio.

El análisis de la estructura de la cadena logística permitió identificar una configuración fragmentada y altamente dependiente de proveedores externos, lo que incrementa la vulnerabilidad del sistema frente a interrupciones. Factores como los altos costos logísticos, los tiempos de reposición elevados y la limitada capacidad de respuesta ante fallas reflejan una baja resiliencia operativa, especialmente en territorios con condiciones de acceso restringido. En este contexto, la eficiencia logística no puede ser evaluada únicamente en términos de costos, sino en función de su capacidad para garantizar la continuidad del servicio en escenarios de incertidumbre.

De manera complementaria, se evidenció que las condiciones territoriales inciden de forma determinante en la configuración de la logística de abastecimiento. La dependencia de transporte multimodal, las limitaciones en infraestructura y la influencia de factores climáticos y sociales configuran un entorno operativo complejo que exige estrategias logísticas adaptadas y flexibles. Esta interacción entre territorio y logística

refuerza la necesidad de comprender el abastecimiento energético como un proceso contextualizado, en el que las soluciones deben responder a las particularidades del entorno.

Uno de los aportes más relevantes del estudio radica en el reconocimiento de la comunidad como un actor estratégico dentro de la logística de abastecimiento. Su participación en actividades de operación, mantenimiento y coordinación territorial contribuye a mejorar la capacidad de respuesta del sistema y a fortalecer su sostenibilidad. Sin embargo, esta participación se encuentra limitada por brechas en capacidades técnicas, lo que genera dependencia de actores externos y afecta la autonomía operativa. En consecuencia, el fortalecimiento de capacidades locales se posiciona como un elemento clave para consolidar la sostenibilidad de las comunidades energéticas.

En este marco, la gobernanza logística emerge como un factor transversal que condiciona el desempeño del sistema. El análisis evidenció que los proyectos con mejores resultados presentan estructuras de gobernanza claras, en las que se definen de manera precisa los roles y responsabilidades de los actores, se establecen mecanismos de coordinación que facilitan la articulación y se implementan sistemas de seguimiento que permiten monitorear el desempeño logístico y realizar ajustes oportunos. En contraste, la ausencia de esquemas de gobernanza definidos genera desarticulación, conflictos entre actores y dificultades en la gestión de recursos, afectando directamente la continuidad operativa.

En este sentido, la gobernanza no solo cumple una función organizativa, sino que se configura como un componente estratégico de la logística de abastecimiento, en la medida en que permite integrar dimensiones técnicas, sociales e institucionales dentro

de un mismo sistema. Su adecuada estructuración resulta fundamental para garantizar la eficiencia, la resiliencia y la sostenibilidad de los proyectos energéticos en ZNI.

En síntesis, los resultados permiten concluir que la logística de abastecimiento en comunidades energéticas en ZNI se configura como un sistema complejo, en el que la disponibilidad de insumos críticos, la estructura de la cadena de suministro, las condiciones territoriales y la participación comunitaria interactúan de manera interdependiente. Esta visión integral resulta clave para comprender los factores que inciden en la continuidad operativa y para orientar el diseño de estrategias logísticas más eficientes, resilientes y adaptadas a las particularidades del contexto.

Finalmente, la investigación aporta una comprensión más amplia del papel de la logística en el desarrollo energético de territorios no interconectados, evidenciando que, más allá de la infraestructura tecnológica instalada, la sostenibilidad de los proyectos depende en gran medida de la capacidad de establecer modelos de gobernanza sólidos, inclusivos y adaptados a las condiciones del territorio. De esta manera, se contribuye tanto al desarrollo académico del campo como a la formulación de estrategias prácticas que permitan garantizar el acceso continuo y sostenible a la energía en contextos históricamente excluidos.

Limitaciones de la investigación

La investigación permitió avanzar en la comprensión de la logística de abastecimiento en comunidades energéticas ubicadas en Zonas No Interconectadas (ZNI), particularmente en el contexto de La Guajira. No obstante, como en todo proceso investigativo de carácter cualitativo y aplicado, se identifican una serie de limitaciones

que es necesario reconocer con el fin de contextualizar adecuadamente el alcance de los resultados y su interpretación.

En este sentido, la investigación se apoya en un enfoque cualitativo basado en matrices de análisis y procesos de interpretación, lo cual implica un grado de subjetividad en la categorización y análisis de la información. Si bien se aplicaron criterios de triangulación entre fuentes teóricas, entrevistas y matrices de resultados para fortalecer la validez del análisis, la interpretación de los datos puede estar influenciada por el marco analítico adoptado y por las decisiones metodológicas tomadas durante el proceso. En este sentido, los resultados deben entenderse como una aproximación interpretativa a la realidad estudiada, más que como una representación exhaustiva o definitiva de la misma.

Otra limitación relevante está asociada al alcance territorial del estudio. Si bien la investigación se centra en el contexto de La Guajira como un caso representativo de las ZNI en Colombia, las condiciones geográficas, sociales y logísticas de este territorio presentan particularidades que pueden no ser completamente extrapolables a otras regiones del país. Factores como la dispersión poblacional, las dinámicas socioculturales y las condiciones de acceso varían significativamente entre territorios, lo que implica que los hallazgos deben ser contextualizados y adaptados en caso de ser aplicados a otros entornos con características diferentes.

Adicionalmente, se identifican limitaciones relacionadas con la disponibilidad de información secundaria actualizada y específica sobre logística de abastecimiento en ZNI. La literatura existente tiende a centrarse en aspectos técnicos de generación energética o en enfoques macro del sector, lo que dificulta encontrar estudios detallados sobre las dinámicas logísticas en territorios no interconectados. Esta situación implicó la

necesidad de complementar la revisión teórica con evidencia empírica proveniente de entrevistas, lo que, si bien enriqueció el análisis, también evidencia la necesidad de mayor producción académica en este campo.

Asimismo, es importante señalar que el análisis de la cadena logística se realizó a partir de información reportada por los actores entrevistados y no mediante observación directa de las operaciones en territorio. Esta limitación implica que algunos procesos logísticos fueron reconstruidos a partir de percepciones y experiencias, lo que puede generar sesgos en la descripción de las dinámicas reales. Sin embargo, este enfoque permitió acceder a conocimiento experto y a experiencias acumuladas que difícilmente podrían ser capturadas únicamente a través de métodos observacionales.

Finalmente, se reconoce que la investigación se desarrolló en un momento específico en el tiempo, lo que implica que los resultados reflejan las condiciones actuales del contexto analizado, pero pueden verse afectados por cambios futuros en variables como políticas públicas, infraestructura logística, desarrollo tecnológico o condiciones territoriales. En este sentido, la dinámica del sector energético y de las ZNI requiere procesos de análisis continuo que permitan actualizar y complementar los hallazgos aquí presentados.

Investigaciones futuras

A partir de los hallazgos obtenidos y de las limitaciones identificadas, se abren múltiples líneas de investigación que permiten profundizar en la comprensión de la logística de abastecimiento en comunidades energéticas ubicadas en Zonas No Interconectadas, así como fortalecer el diseño, implementación y sostenibilidad de estos sistemas en territorios con condiciones estructurales complejas. Estas líneas no solo responden a vacíos identificados en el presente estudio, sino que también evidencian la

necesidad de consolidar un campo de conocimiento aún emergente, en el cual convergen dimensiones técnicas, logísticas, sociales e institucionales.

En este contexto, resulta fundamental avanzar hacia investigaciones con un enfoque cuantitativo y mixto, que permitan complementar el análisis cualitativo desarrollado en este estudio. Si bien la investigación posibilitó comprender en profundidad las dinámicas de la cadena logística, las percepciones de los actores y las estructuras de abastecimiento, persiste la necesidad de medir de manera sistemática variables clave que inciden en el desempeño logístico. Futuras investigaciones podrían orientarse al desarrollo de modelos que permitan cuantificar costos logísticos reales, tiempos efectivos de reposición, niveles de servicio, tasas de fallas y eficiencia en la distribución de recursos. La incorporación de herramientas como análisis estadístico, simulaciones logísticas y modelos de optimización permitiría no solo validar los hallazgos aquí presentados, sino también generar escenarios prospectivos que apoyen la toma de decisiones en la planificación de proyectos energéticos. Este tipo de aproximaciones contribuiría, además, a reducir la incertidumbre asociada a la gestión logística en territorios de difícil acceso y a fortalecer el componente técnico en la formulación de políticas públicas en ZNI.

De forma articulada, se hace necesario ampliar el alcance territorial de las investigaciones, considerando la diversidad de contextos que conforman las ZNI en Colombia. Aunque La Guajira constituye un caso altamente representativo debido a sus condiciones geográficas, sociales y energéticas, otros territorios como la región amazónica, el litoral pacífico o las zonas insulares presentan dinámicas logísticas diferenciadas que requieren ser analizadas de manera específica. Factores como el tipo de acceso, la dispersión poblacional, las condiciones climáticas y las particularidades socioculturales influyen directamente en la configuración de las cadenas de

abastecimiento. El desarrollo de estudios comparativos entre diferentes territorios permitiría identificar patrones comunes y, al mismo tiempo, reconocer las particularidades que exigen soluciones logísticas adaptadas, evitando la replicación de modelos homogéneos en contextos heterogéneos.

En coherencia con los resultados obtenidos, se abre una línea de investigación orientada al análisis de los modelos de gobernanza logística en comunidades energéticas, en la medida en que la sostenibilidad de los sistemas no depende exclusivamente de factores técnicos, sino de la forma en que se articulan los actores y se distribuyen las responsabilidades dentro de la cadena de abastecimiento. Resulta pertinente profundizar en la estructuración de esquemas de cogestión entre comunidades, empresas y entidades públicas, así como en los mecanismos que favorecen la coordinación efectiva y la apropiación del sistema por parte de la comunidad. De igual manera, es relevante analizar los procesos de toma de decisiones a nivel local, los niveles de autonomía comunitaria y las condiciones necesarias para fortalecer capacidades sin comprometer la eficiencia operativa. Este tipo de aproximaciones permitiría avanzar hacia modelos de gobernanza más inclusivos y sostenibles en el tiempo.

De manera complementaria, cobra relevancia el estudio del diseño de cadenas logísticas resilientes en contextos de alta incertidumbre, especialmente en territorios donde las condiciones climáticas, sociales e institucionales afectan de forma recurrente la operación. Los resultados de esta investigación evidenciaron una limitada capacidad de adaptación ante perturbaciones externas, lo que compromete la continuidad del servicio energético. En este sentido, futuras investigaciones podrían centrarse en el desarrollo de modelos de gestión de riesgos, la simulación de escenarios críticos y la formulación de estrategias de contingencia adaptadas a las condiciones territoriales. La incorporación de enfoques como la logística adaptativa y la resiliencia organizacional permitiría

diseñar sistemas capaces de anticipar, absorber y recuperarse de interrupciones, fortaleciendo así la estabilidad de los proyectos energéticos en ZNI.

A su vez, se identifica la necesidad de profundizar en el análisis de la sostenibilidad de la logística de abastecimiento, integrando de manera más rigurosa las dimensiones ambiental, social y económica. Aunque en esta investigación se abordaron algunos elementos asociados a la logística sostenible, se requiere avanzar en el estudio del impacto ambiental de las operaciones logísticas, particularmente en lo relacionado con el transporte, la gestión de residuos tecnológicos y el ciclo de vida de los componentes. En esta línea, futuras investigaciones podrían explorar estrategias orientadas a la optimización de rutas, la reducción de emisiones, la implementación de sistemas de logística inversa y el aprovechamiento de recursos locales. Este enfoque permitiría alinear la logística con los principios de la transición energética y el desarrollo sostenible, fortaleciendo su contribución al bienestar territorial.

En esta misma línea de fortalecimiento operativo, resulta pertinente avanzar en el desarrollo de sistemas de monitoreo y evaluación del desempeño logístico, orientados a la generación de información confiable y oportuna para la toma de decisiones. Los resultados evidenciaron la ausencia de mecanismos sistemáticos de medición, lo que limita la capacidad de identificar fallas y mejorar continuamente la operación. Futuras investigaciones podrían enfocarse en el diseño de indicadores específicos para contextos de ZNI, así como en la implementación de herramientas tecnológicas que permitan el seguimiento en tiempo real de la cadena de abastecimiento. La integración de sistemas de información contribuiría a mejorar la eficiencia, la transparencia y la capacidad de respuesta del sistema logístico.

Finalmente, se reconoce la importancia de profundizar en el análisis de la articulación entre política pública y logística de abastecimiento, considerando que las decisiones institucionales inciden directamente en la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos energéticos. En este sentido, resulta relevante examinar cómo los marcos regulatorios, los esquemas de financiación y los modelos de implementación condicionan la configuración de la cadena logística, así como identificar oportunidades de mejora en la coordinación entre actores públicos y privados. Este enfoque permitiría fortalecer la coherencia entre la formulación de políticas y su ejecución en territorio, contribuyendo a una gestión más efectiva del acceso a la energía en ZNI.

Referencias

Becerra-Fernández, M., Sarmiento, A. T., & Cárdenas, L. M. (2023). Sustainability assessment of the solar energy supply chain in Colombia. *Energy*, 282, 128735.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128735>

Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281–294.

[https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00079-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00079-6)

Calderón Chelius, L. (2025). *Matrices cualitativas como herramienta de análisis en investigación social*.

Contraloría General de Colombia. (2024). *Seguridad y confiabilidad energética en Colombia (2010–2016)*. Cámara de Representantes.

<https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2025-02/Doc-Seguridad-y-Confiabilidad-Energ%C3%A9tica-en-Colombia.pdf>

Fernández Conga, L. M. (2024). *Estrategias de desarrollo sostenible en la cadena de suministros*. Universidad de Alcalá. <https://core.ac.uk/download/pdf/617194417.pdf>

Folgueiras Bertomeu, P. (2016, mayo 30). *La entrevista en investigación cualitativa*.

Folgueiras Bertomeu, P. (2016, mayo 30). *El muestreo en investigación cualitativa*.

Hernández Sampieri, R. (2023). *Metodología de la investigación Plus*. McGraw-Hill. <https://ebooks7-24-com.consultaremota.upb.edu.co/?il=34866>

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

BID (2023). Programa de apoyo a la transición energética. Recuperado de: [IADB-CO-L1287_9Td4rJZ.pdf](https://iaadb-co-l1287_9Td4rJZ.pdf)

Izquierdo-Socola, I. A., & Escobar-García, M. C. (2024). La integración de las estrategias empresariales en la administración de energías renovables en Latinoamérica. *MQRInvestigar*, 8(3), 4964–4992. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.8.3.2024.4964-4992>

Martínez Corona, C., et al. (2023). *Análisis documental y procedimientos de análisis de datos cualitativos*.

Methodology for the optimal implementation of solar generation systems for the integral and sustainable development of rural areas in Colombia. (s.f.). *IEEE Conference Publication*. IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8984993>

Rico de Alfonso, C., et al. (2006). *Construcción de categorías, dimensiones o variables en la investigación social*.

Universoobservavel. (2025, julio 5). Logística sostenible: Estrategias para reducir el impacto ambiental sin perder rentabilidad en las operaciones de la cadena de suministro.

O Universo Observavel. <https://ouniversoobservavel.com.br/logistica-sostenible-estrategias-para-reducir-el-impacto-ambiental-sin-perder-rentabilidad-en-las-operaciones-de-la-cadena-de-suministro-doi-10-69720-29660599-2025-000120-panama/>

Urrego, L. R., Mendoza, M. V., León, H. G., & Ocampo, P. C. (2018). La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia y su situación actual. *Avances en Investigación en Ingeniería*, 15(1), 112–130.

<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.1368>

Vista de comunidades energéticas, estrategia para la transición energética en Colombia. (s.f.). *Revista Teinnova*.

<https://revistas.sena.edu.co/index.php/CDITI/article/view/6166/5977>

Vista de electrificación rural sostenible a partir de potenciales energéticos locales: Una mirada a las zonas no interconectadas colombianas. (s.f.). *Simposio Internacional sobre la Calidad de la Energía Eléctrica – SICEL*.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/SICEL/article/view/110044/92866>

Vista de impactos de la transición energética en pequeñas comunidades fuera de red. (s.f.). *Revista de Ingeniería – Universidad de Montevideo*.

<https://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/1286/1683>

Vista de sostenibilidad de comunidades energéticas: Propuestas de gestión y evaluación de proyectos comunitarios de energías renovables para Isla Fuerte, Bolívar. (s.f.).

Simposio Internacional sobre la Calidad de la Energía Eléctrica – SICEL.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/SICEL/article/view/110027/90200>