UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE LAS COMUNIDADES ENERGÉTICAS COMO PARTE DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DE COLOMBIA

Gloria Alejandra Graciano Saldarriaga

Trabajo Final presentado como requisito para obtener el título de:
Magíster en Ingeniería - Sistemas Energéticos

Director:

Carlos Jaime Franco, Ph.D.

Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín
Facultad de Minas
Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión
Medellín, Colombia
2025

Resumen

La transición hacia sistemas energéticos más sostenibles y descentralizados es una prioridad global. En Colombia, este proceso enfrenta desafíos significativos, como la necesidad de diversificar la matriz energética, superar la pobreza energética, ampliar la cobertura en Zonas No Interconectadas (ZNI) y garantizar una transición justa que no reproduzca las desigualdades históricas. Este trabajo de grado analiza el potencial de las comunidades energéticas como estrategia integral para abordar dichos retos, promoviendo la participación ciudadana y el empoderamiento comunitario en la gestión de los recursos energéticos. Mediante una metodología que incluye revisión bibliográfica, análisis comparativo internacional, evaluación normativa y estudio de casos, se identifican barreras y oportunidades para su implementación. El estudio propone estrategias agrupadas en siete dimensiones clave para su desarrollo y promoción. Se concluye que las comunidades energéticas pueden convertirse en actores centrales de la transición energética justa en Colombia, impulsando un modelo más democrático, resiliente y sostenible.

Palabras Clave

Comunidades energéticas, Transición energética, Energías renovables, Descentralización energética, Participación ciudadana, Marco regulatorio.

STRATEGIES FOR THE DEVELOPMENT OF ENERGY COMMUNITIES AS PART OF COLOMBIA'S ENERGY TRANSITION

Abstract

The transition toward more sustainable and decentralized energy systems is a global priority. In Colombia, this process faces significant challenges, including the need to diversify the energy matrix, address energy poverty, expand coverage in on-interconnected zones (ZNI), and ensure a just transition that avoids reproducing historical inequalities. This thesis examines the potential of energy communities as a comprehensive strategy to tackle these issues, promoting citizen participation and community empowerment in energy resource management. Through a methodology that includes literature review, international case comparison, regulatory assessment, and case studies, the research identifies barriers and opportunities for implementation. The study proposes strategies grouped into seven key dimensions for their development and promotion. It concludes that energy communities can become central actors in Colombia's just energy transition, fostering a more democratic, resilient, and sustainable energy model.

Keywords

Energy communities, Energy transition, Renewable energy, Energy decentralization, Citizen participation, Community empowerment, Regulatory framework

Tabla de contenido

Resumen 2
Abstract 3
Tabla de contenido 4
Introducción 9
1. Antecedentes 11
2. Marco teórico 16
3. Revisión de literatura 20
4. Objetivos y Metodología 26
4.1. Objetivo general 26
4.2. Objetivos específicos 26
4.3. Metodología 26
5. Identificar el estado actual y los desafíos de la transición energética en Colombia 28
5.1. Transición energética en Latinoamérica 28
5.2. Transición energética en Colombia 30
5.2.1. Diversificación de la matriz 30
5.2.2. Transición justa y cobertura eléctrica 32
5.2.3. Participación del usuario 32
5.2.4. Reducción de brechas 33
5.2.5. Panorama de la transición energética en Colombia más allá del sector eléctrico . 34
6. Caracterizar experiencias internacionales para el desarrollo de comunidades energéticas 36
6.1. Italia 36
6.2. España 39
6.3. Latinoamérica 43
6.4. Caracterización de experiencias Italia, España y Latinoamérica 46
7. Identificación de barreras y oportunidades en la implementación de comunidades energéticas 48
7.1. Marco conceptual: barreras y oportunidades 48
7.2. Barreras regulatorias-políticas 48
7.3. Barreras técnicas 49
7.4. Barreras sociales y culturales 50
7.5. Barreras financieras y de mercado 51
7.6. Oportunidades estratégicas 51
7.6.1. Oportunidades regulatorias 51

7.6.2. Oportunidades financieras 52
7.6.3. Oportunidades técnicas 52
7.6.4. Oportunidades Sociales 53
8. Formulación de estrategias para el desarrollo de las comunidades energéticas como parte de la transición energética de Colombia 55
8.1. Estrategias institucionales y regulatorias 55
8.2. Estrategias financieras 55
8.3. Estrategias tecnológicas 56
8.4. Estrategias sociales y participativas 56
8.5. Estrategias territoriales y diferenciales 56
8.6. Estrategias ambientales y sostenibles 57
8.7. Estrategias de seguimiento y evaluación 57
8.8. Conclusión 57
9. Conclusiones 59
9.1. Conclusiones generales del Trabajo Final o Tesis 59
9.2. Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos 59
9.2.1. Objetivo específico 1 59
9.2.2. Objetivo específico 2 59
9.2.3. Objetivo específico 3 60
9.3. Objetivo general 60
9.4. Trabajos Futuros 61
10. Referencias 62

Lista de Tablas

Tabla 1-1. Distribución de los usuarios de energía eléctrica en el sector residencial..... 11
Tabla 1-2. Capacidad efectiva neta por tipo de fuente..... 13
Tabla 3-1. Investigaciones Internacionales..... 20
Tabla 3-2. Investigaciones Colombia..... 23
Tabla 6-1. Caracterización de comunidades energéticas Italia..... 37
Tabla 6-2. Caracterización de comunidades energéticas España..... 40
Tabla 6-3. Caracterización de comunidades energéticas Latinoamérica..... 43
Tabla 6-4. Caracterización de comunidades energéticas..... 46

Lista de Figuras

Figura 1-1 Porcentaje de cobertura de energía eléctrica por departamento. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2024)..... 12
Figura 1-2. Mapa de Zonas No Interconectadas (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, 2025)..... 13
Figura 5-1. Nuevas plantas de generación ingresadas en 2024. Fuente (XM, 2025)..... 31

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
AC	Autogenerador Colectivo
AGRC	Autogeneración Colectiva
AMI	Infraestructura de Medición Avanzada (Advanced Metering Infrastructure)
AOM	Administración, Operación y Mantenimiento
CAPEX	Gasto de Capital (Capital Expenditure)
CCUS	Captura, Uso y Almacenamiento de Carbono
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
DER	Recursos Energéticos Distribuidos
ESP	Empresa de Servicios Públicos
FAZNI	Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas
FENOGE	Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable
FOES	Fondo de Solidaridad para Subsidios de Energía
GDC	Generación Distribuida Colectiva
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IPSE	Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas
IRENA	International Renewable Energy Agency
MEPI	Índice Multidimensional de Pobreza Energética
MME	Ministerio de Minas y Energía
OxI	Obras por Impuestos
PND	Plan Nacional de Desarrollo
RCE	Registro de Comunidades Energéticas

REC	Comunidades Energéticas Renovables (Renewable Energy Communities)
RED II	Directiva de Energía Renovable de la Unión Europea
REM	Renewable Energy Map
RUCE	Registro Único de Comunidades Energéticas
SDL	Sistema de Distribución Local
SGR	Sistema General de Regalías
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
TEJ	Transición Energética Justa
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
VPN	Valor Presente Neto
XM	Compañía de Expertos en Mercados
ZNI	Zonas No Interconectadas

Introducción

En el panorama actual de la política energética global, la transición hacia sistemas más sostenibles y descentralizados se ha convertido en un objetivo prioritario. Colombia, en su hoja de ruta hacia esta transición ha identificado varios focos estratégicos. Estos incluyen la descentralización, la digitalización y la gestión eficiente de la demanda, el cierre de brechas, la mejora de la calidad del servicio y el diseño y la formulación eficiente de subsidios. Además, se ha planteado la revisión del marco institucional y regulatorio para su modernización (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

En este contexto, Colombia se enfrenta a múltiples desafíos, desde la necesidad de incorporar nuevas fuentes de energía renovable en su matriz energética hasta garantizar la seguridad energética en todas las regiones del país. En este escenario, las comunidades energéticas han surgido como una estrategia innovadora para abordar los desafíos energéticos, promover la participación de los usuarios en la gestión de los recursos energéticos y democratizar el acceso a la energía (Ramírez et al., 2023).

El presente trabajo de grado analizó el potencial de las CE como pilar de una transición energética justa en Colombia. Para ello se investigaron tres frentes complementarios: (i) el estado actual de la transición energética nacional y sus desafíos; (ii) las lecciones derivadas de experiencias internacionales en Italia, España y América Latina; y (iii) las barreras y oportunidades que condicionan la adopción de modelos comunitarios en el entorno normativo y socio-técnico colombiano. Esta triangulación permitió diseñar un portafolio de estrategias agrupadas en siete dimensiones —institucional-regulatoria, financiera, tecnológica, social-participativa, territorial, ambiental y de seguimiento— que integra criterios de sostenibilidad, equidad y resiliencia.

El documento se organiza de la siguiente manera: el capítulo 1 introduce los antecedentes, expone las disparidades en la cobertura eléctrica en Colombia—con especial atención a las zonas no interconectadas—y justifica la necesidad de diversificar la matriz y modernizar la infraestructura. El capítulo 2 desarrolla el marco teórico, definiendo conceptos clave sobre comunidades energéticas y fuentes no convencionales de energía renovable, y revisa la regulación colombiana vigente que enmarca su implementación. A continuación, el capítulo 3 ofrece una revisión de literatura nacional e internacional que identifica barreras, oportunidades y lecciones aprendidas relevantes para el país. El capítulo 4 presenta los objetivos de la investigación y describe en detalle la metodología aplicada, que combina revisión sistemática, análisis comparativo de casos internacionales, evaluación regulatoria y estudios de caso locales. Los capítulos 5, 6 y 7 exponen los resultados correspondientes a cada objetivo específico: el diagnóstico de barreras y oportunidades, el análisis de experiencias internacionales y la transformación de dichas barreras en acciones habilitantes adaptadas al contexto colombiano. Posteriormente, el capítulo 8 integra estos hallazgos en un portafolio estratégico de siete dimensiones—institucional-regulatoria, financiera, tecnológica, social-participativa, territorial, ambiental y de seguimiento—orientado a fomentar comunidades energéticas como eje de la transición energética justa.

Finalmente, el capítulo 9 sintetiza las conclusiones generales del estudio y plantea líneas de investigación futura.

1. Antecedentes

Colombia se enfrenta al desafío de realizar una transición efectiva hacia sistemas energéticos descentralizados y basados en fuentes renovables. Esta transición no solo implica un cambio en las tecnologías utilizadas, sino también un cambio en el paradigma de gestión y acceso al servicio de energía, que debe ser más inclusivo y equitativo.

En este contexto, la democratización del acceso a la energía emerge como un objetivo fundamental. Sin embargo, el camino hacia una mayor inclusión energética enfrenta obstáculos importantes, como la falta de infraestructura adecuada en áreas rurales y remotas, así como barreras regulatorias y financieras que dificultan la participación de las comunidades locales y de los ciudadanos en la incorporación de energías renovables.

1.1. Cobertura de Energía Eléctrica para el sector residencial por región y Zonas No Interconectadas

De acuerdo con los resultados de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) para el año 2023, de los 18.011 millones de hogares del país, el acceso al servicio de energía eléctrica se distribuye de la siguiente manera: la región Andina cuenta con el 77.66% (13,804 mil hogares) y la región Caribe con el 17.1% (3,039 mil hogares), lo cual contrasta con los resultados de la región de Amazonía con el 2.57% (457 mil hogares), Orinoquía con el 1.61% (286 mil hogares) y Pacífica con el 0.97% (173 mil hogares), ver Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Distribución de los usuarios de energía eléctrica en el sector residencial

Región	% Cobertura
Región Andina	77.66%
Región de la Amazonía	2.57%
Región de la Orinoquía	1.61%
Región Caribe	17.10%
Región Insular	0.09%
Región Pacífica	0.97%
Total general	**100%**

Fuente: Elaboración propia, a partir de: (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2024).

Si bien la cobertura en el acceso al servicio de energía eléctrica en los hogares es bastante alta en la mayoría de las regiones, se presentan bajos porcentajes en los departamentos de Vichada, La Guajira, Guainía, Vaupés y Amazonas, ver Figura 1-1.

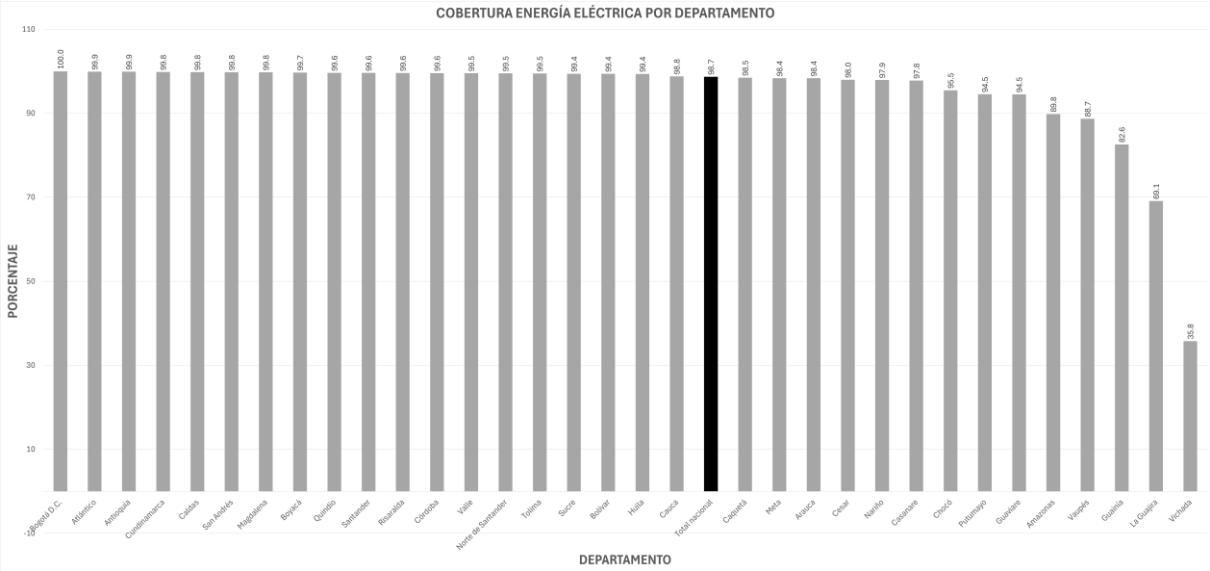

Figura 1-1 Porcentaje de cobertura de energía eléctrica por departamento. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2024).

De acuerdo con el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para ZNI (IPSE), aproximadamente el 53% del territorio nacional por municipios es considerado como ZNI para el año 2022, ver Figura 1-2, incluyendo las capitales de los departamentos de Amazonas, Vichada, Vaupés, Guainía y el territorio insular de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Collazos et al., 2023).

Ciento diez empresas se encuentran registradas ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) como prestadoras del servicio de energía eléctrica en estas zonas y cuentan con más de un millón de usuarios, los cuales son atendidos mediante generación con tecnología diésel y fuentes no convencionales de energía (solar, biomasa e hidráulica).

Estas empresas operan en 1766 localidades de 116 municipios en los departamentos de Atlántico, Amazonas, Antioquia, Bolívar, Cauca, Caquetá, Casanare, Cesar, Córdoba, Chocó, Guainía, Guaviare, La Guajira, Magdalena, Meta, Nariño, Putumayo, Valle del Cauca, Vaupés, Vichada, y el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Superintendencia Servicios Públicos Domiciliarios, 2023).

Esto evidencia que los departamentos con menor porcentaje de acceso a la energía forman parte de las ZNI. La amplitud del territorio colombiano, la diversidad de climas y altitudes, y la dificultad de acceso a muchas áreas de la geografía colombiana dificultan el suministro de energía eléctrica. Los costos de la interconexión eléctrica y los impactos ambientales de la infraestructura necesaria también son factores que limitan el acceso al servicio (Bustos et al., 2015). La limitada cobertura energética en estos departamentos no solo representa un desafío, sino que también abre una oportunidad significativa para implementar comunidades energéticas y desarrollar proyectos de energías renovables que contribuyan a una transición energética justa en Colombia.

Figura 1-2. Mapa de Zonas No Interconectadas (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, 2025).

1.2. Transición energética y su hoja de ruta

La transición energética se ha convertido en una prioridad global para abordar los desafíos del cambio climático y la seguridad energética. En Colombia, esta transición se ve impulsada por la necesidad de diversificar la matriz energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la inclusión energética en todas las regiones del país.

Según los datos publicados por XM, operador del sistema eléctrico, Colombia cuenta con 23,48 GW de capacidad efectiva neta. La matriz energética actual está compuesta principalmente por plantas de generación hidráulica, con una capacidad instalada de 14,46 GW, seguidas por plantas a base de combustibles fósiles con 6,47 GW, lo que corresponde al 61,6% y 27,6% del total de la capacidad instalada, respectivamente. En cuanto a fuentes de energía no convencionales, como la solar, la biomasa y la eólica, se cuenta con una capacidad de 2,55 GW (Sinergox XM, 2025).

Tabla 1-2. Capacidad efectiva neta por tipo de fuente

Tipo de fuente	Capacidad Efectiva Neta [MW]
Cogenerador	229,20
Eólica	59,42
Hidráulica	14.456,73
Solar	2.259,19
Térmica	6.472,32
Total	**23.476,86**

Fuente: Elaboración propia, a partir de: (Sinergox XM, 2025).

Estas cifras reflejan la diversificación de la matriz energética de generación eléctrica en Colombia. El país está trabajando para disminuir su dependencia de recursos tradicionales, como las grandes hidroeléctricas y las plantas térmicas a carbón y gas, y avanzar hacia el uso de recursos con bajas emisiones en la producción de energía.

El Ministerio de Minas y Energía de Colombia (MME), en su hoja de ruta hacia la transición energética, presenta cinco focos principales: la descentralización y digitalización de la red eléctrica, el cierre de brechas de acceso a la energía, la mejora de la calidad del servicio, la promoción de la participación activa de los consumidores en el mercado energético, y la sostenibilidad y uso de energías renovables. Además, la Misión incluye la revisión y modernización del marco institucional y regulatorio para facilitar la integración de nuevas tecnologías y modelos de negocio (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

Estos focos son fundamentales para avanzar en la transición energética de Colombia, promoviendo un sistema energético más sostenible, equitativo y eficiente.

1.3. Comunidades energéticas y transición energética justa

Las comunidades energéticas podrían influir positivamente en la transición energética de Colombia de varias maneras. Además de diversificar la matriz de generación de energía, Colombia se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 51% para 2030. La generación de electricidad representa el 8,5% de las emisiones totales, y el Ministerio de Minas y Energía cuenta con una estrategia de mitigación que promueve las fuentes de energía renovables, las medidas de respuesta a la demanda y la eficiencia energética. Las comunidades energéticas pueden ser una herramienta para alcanzar simultáneamente esos tres objetivos (Ramírez et al., 2023).

Las comunidades energéticas en Colombia, si bien son un tema nuevo, ya están contempladas en el Plan de Desarrollo Nacional del Gobierno, con su apuesta a la Transición Energética Justa, y se proponen para que estén presentes en toda la cadena, desde la generación hasta la comercialización de energía proveniente de fuentes renovables no convencionales. Desde el año 2023, el IPSE priorizó las primeras comunidades energéticas en los departamentos de La Guajira, Nariño y Valle del Cauca para desarrollar proyectos que aporten al Sistema Interconectado Nacional, y en los que las comunidades participen de toda la cadena de generación energética con energías limpias (Mucktafi, 2023).

En este contexto, las comunidades energéticas emergen como una solución prometedora. Estas iniciativas, impulsadas por la participación ciudadana y el empoderamiento comunitario, tienen el potencial de democratizar el acceso a la energía y promover un desarrollo energético más inclusivo y equitativo. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos significativos, como la falta de

marcos regulatorios claros, la limitada capacidad técnica y financiera de las comunidades, y las barreras de acceso al mercado energético.

En el siguiente capítulo se proporcionarán las bases conceptuales y las definiciones clave relacionadas con las comunidades energéticas y las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), así como la regulación aplicable en Colombia.

2. Marco teórico

2.1. Comunidades Energéticas:

Los usuarios o potenciales usuarios de servicios energéticos pueden constituir Comunidades Energéticas para generar, comercializar y/o usar eficientemente la energía a través del uso de fuentes no convencionales de energía renovables (FNCER), combustibles renovables y recursos energéticos distribuidos (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

- *Autogeneración colectiva (AGRC*): Actividad realizada por la comunidad energética que produce energía, principalmente, para atender su propia demanda de energía. En el evento en que se generen excedentes de energía a partir de tal actividad, estos podrán entregarse a la red, en los términos que establezca la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para tal fin (Ministerio de Minas y Energía, 2023).
- *Autogenerador colectivo (AC):* Usuarios o potenciales usuarios de servicios energéticos que constituyen una comunidad energética para desarrollar la actividad de autogeneración colectiva (Ministerio de Minas y Energía, 2023).
- *Energía exportada:* Cantidad de energía entregada a la red por un autogenerador colectivo o un generador distribuido colectivo (Ministerio de Minas y Energía, 2023).
- *Excedente:* Cantidad de energía exportada por el autogenerador colectivo (Ministerio de Minas y Energía, 2023).
- *Generación Distribuida Colectiva (GDC):* Es la producción de energía eléctrica realizada por la comunidad energética, cerca de los centros de consumo, conectada a un sistema de distribución local (SDL) o a una microrred (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

2.2. Fuentes No Convencionales de Energía Renovable - FNCER

La Ley 1715 de 2014 definió las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) como aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente.

Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (PCH), la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Además, la Ley de Transición Energética estableció como FNCER a otras fuentes como el hidrógeno verde y el hidrógeno azul (Unidad de Planeación Minero Energética, 2025).

- Energía de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos: Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que se basa en los cuerpos de agua a pequeña escala.(Unidad de Planeación Minero Energética, 2014).
- Energía eólica: Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste en el movimiento de las masas de aire (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014).

- Energía geotérmica: Energía obtenida a partir de una fuente no convencional de energía renovable que consiste en el calor que yace en el subsuelo terrestre (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014).
- Energía solar: Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste en la radiación electromagnética proveniente del sol (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014).
- Hidrógeno azul: La Ley 2099 de 2021 define como hidrógeno azul al que se produce a partir de combustibles fósiles, especialmente por la descomposición del metano y que cuenta con un sistema de captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS), como parte de su proceso de producción (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014).
- Hidrógeno verde o hidrógeno renovable. De acuerdo con la Ley 2099 de 2021, se define como hidrógeno verde al hidrógeno producido a partir de FNCER (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014).

2.3. Recursos Energéticos Distribuidos

Recursos energéticos que pueden ser gestionados de forma automática o manual, instalados cerca de los centros de consumo, conectados a la red de distribución, con posibilidad de inyectar energía, consumir energía o proveer servicios complementarios a la red de forma dinámica. Dentro de los DERs se incluyen la respuesta de la demanda, los vehículos eléctricos, la Generación Distribuida, los Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica y la Autogeneración a Pequeña y Gran Escala conectados a la red de distribución, entre otros (Unidad de Planeación Minero Energética, 2025).

2.4. Regulación aplicable

- Ley 2294 de 2023 – Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 de Colombia, titulado "Colombia Potencia Mundial de la Vida", establece varias disposiciones importantes sobre las comunidades energéticas. Según el artículo 235 de la mencionada ley, el plan permite que las comunidades puedan constituir Comunidades Energéticas con el fin de generar, comercializar y/o utilizar eficientemente la energía a través del uso de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), combustibles renovables y recursos energéticos distribuidos (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

- El Decreto 2236 del 22 de diciembre de 2023 reglamenta parcialmente el artículo 235 de la Ley 2294 de 2023 del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, específicamente en lo relacionado con las Comunidades Energéticas en el marco de la Transición Energética Justa en Colombia (Ministerio de Minas y Energía, 2023)

  Este decreto establece las bases para el funcionamiento de las Comunidades Energéticas, promoviendo la participación activa de las comunidades en la generación y uso eficiente de energía a través de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) y otros

recursos energéticos distribuidos. Además, busca garantizar que estas comunidades puedan acceder a financiamiento y apoyo técnico para desarrollar sus proyectos energéticos.

- Resolución 40509 del 21 de noviembre de 2024, emitida por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, reglamenta el Registro de Comunidades Energéticas (RCE) y define los criterios de focalización y priorización para la orientación de recursos públicos destinados a estas comunidades

  Esta resolución establece las bases para que las comunidades energéticas puedan acceder a financiamiento y apoyo técnico, promoviendo el uso de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) y otros recursos energéticos distribuidos. Además, se enfoca en garantizar que los recursos públicos se dirijan de manera eficiente a las comunidades que más lo necesitan, considerando variables como la pobreza energética, la pobreza multidimensional y la equidad de género (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

- Resolución 501 del 28 de junio de 2024, emitida por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), establece los límites máximos de potencia y dispersión para los Autogeneradores Colectivos y Generadores Distribuidos Colectivos, conforme al Decreto 2236 de 2023.

  Esta resolución busca regular la capacidad de generación y distribución de energía en comunidades energéticas, asegurando que se cumplan criterios de calidad, confiabilidad, oportunidad y costo en la prestación del servicio de energía eléctrica. Además, promueve el uso de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) y la eficiencia energética, contribuyendo al desarrollo sostenible y la seguridad energética del país (Unidad de Planeación Minero Energética, 2024).

- Resolución CREG 101 072 de 2025, aprobada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) el 6 de abril de 2025, por la cual se armoniza la regulación para la integración de las comunidades energéticas al Sistema Energético Nacional (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2025b).

  El objetivo principal de esta resolución es facilitar la participación de las comunidades energéticas en la generación y uso eficiente de energía, promoviendo el uso de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) y otros recursos energéticos distribuidos

  Además, establece un marco regulatorio que permite la remuneración adecuada de estas comunidades, asegurando que todos los actores de la red de distribución se beneficien.

En el siguiente capítulo, se llevará a cabo una revisión de la literatura académica, informes de gobierno y otros recursos relacionados con la transición energética y las comunidades energéticas a nivel internacional y en Colombia. Esta revisión de literatura permitirá obtener una comprensión detallada del tema y establecer una base sólida para la investigación.

3. Revisión de literatura

La revisión de literatura se realizó con el objetivo de identificar el estado actual y los desafíos de la transición energética en Colombia, caracterizar experiencias internacionales en el desarrollo de comunidades energéticas, e identificar barreras y oportunidades en la implementación de estas comunidades. Para obtener información relevante y actualizada, se utilizaron las bases de datos bibliográficas Scopus y Google Scholar.

En Scopus, la búsqueda se realizó mediante la ecuación (TITLE ("energy communities" OR "community energy" AND energy AND transition) OR TITLE-ABS-KEY ("community energy" AND "RECs") AND ALL ("energy transition") OR KEY (colombia)) AND PUBYEAR > 2022 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENER")), lo que arrojó un resultado de 43 artículos para el período comprendido entre enero de 2022 y agosto de 2025.

La Tabla 3-1 presenta un resumen de los detalles más relevantes de 10 artículos de investigaciones internacionales de interés, seleccionados con un criterio de enfoque conceptual, excluyendo estudios de carácter técnico o centrados en cálculos específicos de proyectos energéticos. El objetivo fue priorizar investigaciones que abordaran las comunidades energéticas desde perspectivas sociales, regulatorias y de gobernanza, con el fin de comprender su papel en la transición energética, su impacto en la participación ciudadana y las condiciones necesarias para su implementación, especialmente en contextos comparables al colombiano.

Tabla 3-1. Investigaciones Internacionales

Artículo	Objetivo	Características	Cobertura Geográfica
(Palm, 2023)	Investigar cómo las comunidades energéticas pueden acelerar la transición energética en las ciudades, contribuyendo a la reducción de emisiones de GEI y promoviendo sistemas energéticos descentralizados.	Analiza cómo las comunidades energéticas pueden actuar como aceleradores de la transición energética en las ciudades. Se examina el papel de las comunidades energéticas en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y en la promoción de sistemas energéticos descentralizados y sostenibles.	Unión europea
(Standal, 2023)	Explorar los desafíos de justicia energética para las Comunidades Energéticas desde la perspectiva de los accionistas potenciales y existentes, y cómo estos desafíos se reflejan en las políticas de la UE, específicamente en la Directiva de Energía Renovable (RED II).	Investiga cómo las comunidades de energía renovable (REC) pueden facilitar una transición energética justa, explorando la alineación entre las motivaciones y necesidades de los actores involucrados y las políticas de la UE.	Letonia, Noruega, Portugal y España

Artículo	Objetivo	Características	Cobertura Geográfica
(Sarcina & Canesi, 2023)	Presentar la importancia de las comunidades de energía renovable en la transición verde, destacando las oportunidades y amenazas que enfrentan en el contexto europeo, y la necesidad de políticas y condiciones de mercado adecuadas para su desarrollo.	Analiza las oportunidades y amenazas que enfrentan las comunidades de energía renovable (REC) en el contexto de la transición verde en Europa, con un enfoque particular en Italia. Se examinan las condiciones socioeconómicas y políticas necesarias para la creación y desarrollo de las REC, así como los conflictos y ventajas asociados con su establecimiento.	Europa, Italia
(Cavallaro et al., 2023)	Evaluar el impacto de las comunidades de energía renovable en la transición energética y analizar las políticas y marcos regulatorios que facilitan o dificultan su desarrollo.	Examina el papel de las comunidades de energía renovable (REC) en el contexto de la transición energética, destacando las oportunidades y desafíos que enfrentan estas comunidades en Europa. Se enfoca en cómo las REC pueden contribuir a la sostenibilidad energética y la participación ciudadana en la gestión de recursos energéticos.	Europa
(Krug et al., 2023)	Presentar la importancia de las comunidades de energía renovable en la transición energética, destacando las nuevas disposiciones de la RED II que empoderan a las REC para participar en el mercado energético.	Analiza el progreso en la transposición e implementación de las disposiciones clave de la Directiva de Energía Renovable (RED II) que se aplican a las comunidades de energía renovable (REC) en nueve países europeos. Se enfoca en la puntualidad y la integridad de la transposición, así como en los elementos clave de los marcos habilitadores y las especificidades de las REC en los esquemas de apoyo.	Europa
(Aruta et al., 2023)	Mostrar el potencial de las comunidades energéticas para la evolución sostenible de las ciudades, destacando la importancia de la participación ciudadana en la producción y gestión de energía.	Proporciona una visión general de las comunidades energéticas, analizando el contexto energético, los problemas ambientales y climáticos que han llevado a la necesidad de desarrollar soluciones inteligentes y sostenibles para un nuevo modelo social de autoproducción de energía.	Europa

Artículo	Objetivo	Características	Cobertura Geográfica
(Jochemsen et al., 2024)	Investigar la legitimidad democrática de las comunidades energéticas renovables en la gobernanza de proyectos de generación de energía renovable y su contribución a la transición energética.	Analiza cómo y en qué medida las comunidades energéticas renovables (RECs) persiguen y logran la legitimidad democrática en la gobernanza de proyectos de generación de energía renovable. Se examinan cuatro RECs diferentes en Utrecht, Países Bajos, para evaluar sus prácticas democráticas y su papel en la transición energética.	Países Bajos
(Bellini et al., 2024)	Presentar la importancia de las comunidades energéticas en la transición hacia fuentes de energía renovable, destacando su capacidad para descentralizar la producción de energía y aumentar la seguridad energética local.	Presenta la evolución y el papel de las comunidades energéticas en el contexto de la transición hacia fuentes de energía renovable. Se destacan como una respuesta innovadora y resiliente a los desafíos del cambio climático, enfatizando su capacidad para descentralizar la producción de energía, aumentar la seguridad local y reducir la dependencia de fuentes no renovables y proveedores externos.	Global
(Ahmed et al., 2024)	Presentar la importancia de las REC en la transición hacia fuentes de energía renovable, destacando su capacidad para descentralizar la producción de energía y aumentar la participación ciudadana en la generación y gestión de energía.	Proporciona una revisión detallada de las comunidades de energía renovable, cubriendo todos los aspectos importantes, incluyendo conceptos, alcance, beneficios, actividades, progreso, desafíos y recomendaciones para fomentar sistemas energéticos sostenibles impulsados por la comunidad.	Europa
(Teng et al., 2025)	Presentar cómo las comunidades energéticas pueden optimizarse para maximizar la generación y el intercambio de energía renovable, promoviendo la autosuficiencia energética y la sostenibilidad ambiental.	Destaca la importancia de las comunidades energéticas renovables (RECs) en la transición hacia un futuro energético sostenible. El estudio propone un marco integrado que combina un modelo de optimización con los principios de la Directiva de Energía Renovable de la UE (RED II), con el objetivo de maximizar la generación y el intercambio de energía renovable.	Unión Europea (UE).

Los artículos revisados sobre comunidades energéticas en el mundo destacan la importancia de estas comunidades en la descentralización de la producción de energía, la promoción de la participación ciudadana y la mejora de la seguridad energética local.

Investigaciones en diversos países europeos, como los Países Bajos, Italia, Letonia, Noruega, Portugal y España, subrayan cómo las comunidades energéticas pueden fomentar sistemas energéticos más sostenibles y resilientes, así como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además, se abordan desafíos como la aceptación y el reconocimiento de estas comunidades como actores legítimos, y la justicia energética, buscando garantizar que los beneficios y costos de la transición energética se distribuyan de manera equitativa entre todas las personas y comunidades. Así como la implementación de políticas y marcos regulatorios adecuados, especialmente en el marco de la Directiva de Energía Renovable de la Unión Europea (RED II).

En conjunto, estos estudios proporcionan una visión integral de las oportunidades y desafíos que enfrentan las RECs en su contribución a la transición energética global.

Dado que la búsqueda en Scopus no arrojó resultados relevantes sobre comunidades energéticas en Colombia o América Latina, se recurrió a Google Scholar utilizando las palabras clave “Comunidades Energéticas” + “Colombia”, lo que permitió identificar investigaciones más contextualizadas. De los 190 resultados obtenidos entre 2023 y 2025, se seleccionaron ocho artículos que abordan el tema desde perspectivas regulatorias, sociales y económicas, excluyendo estudios puramente técnicos. Esta selección se centró en investigaciones que aportan al análisis del potencial, los desafíos y las oportunidades para la implementación de comunidades energéticas en el país.

La Tabla 3-2 ofrece un resumen de las investigaciones de interés derivadas de la búsqueda en Google Scholar.

Tabla 3-2. Investigaciones Colombia

Investigación	Objetivo	Características
(Ramírez et al., 2023)	Proponer lineamientos regulatorios para facilitar la inclusión de comunidades energéticas en Colombia.	Analiza el marco normativo vigente y plantea recomendaciones para ajustar procedimientos de asignación de capacidad en el SIN, identificando barreras regulatorias y oportunidades para la integración comunitaria.
(Ulloa, 2024)	Aportar reflexiones integrales para abordar los desafíos y oportunidades en la construcción de un futuro energético más justo,	Examina la adopción de mecanismos especiales, como las comunidades energéticas, que buscan la descarbonización de la matriz energética y la democratización del acceso a la energía en Colombia. Se fundamenta en el

Investigación	Objetivo	Características
	sostenible y equitativo en Colombia.	cumplimiento de estándares nacionales e internacionales relativos a la cadena de suministro del sector energético fósil, en su transición hacia tecnologías limpias, conocidas como Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER).
(Toro, 2024)	Proponer un procedimiento regulatorio para la asignación de capacidad de transporte que facilite la inclusión efectiva de las comunidades energéticas en Colombia.	Analiza el marco regulatorio y los procedimientos necesarios para la asignación de capacidad de transporte en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Colombia, con un enfoque especial en las comunidades energéticas. Se destacan las normativas vigentes, los proyectos piloto y las estrategias del gobierno para integrar estas comunidades en el sistema energético nacional.
(Echeverry & Ortiz, 2024)	Diseñar un modelo de promoción adaptativo, eficiente y sostenible de comunidades energéticas en Colombia mediante el autoconsumo y la venta de excedentes de energía renovable.	Propone un modelo económico para la implementación de comunidades energéticas en Colombia, incentivado por el Estado, con facilidades de financiación y tarifas diferenciales. El modelo se basa en experiencias exitosas de países como España y Alemania y busca equilibrar los costos de la energía, suministrar energía confiable y continua a comunidades aisladas, y promover el desarrollo comunitario y la mitigación del cambio climático.
(Caicedo, 2024)	Identificar si la regulación aplicada a las comunidades energéticas en Colombia es adecuada para su masificación y detectar posibles barreras regulatorias que podrían impedir el logro de estos objetivos.	Analiza los desafíos regulatorios que enfrenta la implementación de comunidades energéticas en Colombia. Se enfoca en identificar si la regulación actual es óptima para permitir la masificación de estas comunidades o si existen barreras que podrían obstaculizar su desarrollo.
(Medina-Reyes et al., 2025)	Analizar el potencial de las comunidades energéticas en Colombia para una transición energética descentralizada.	Analiza el potencial de las comunidades energéticas como catalizadores de la transición energética en Colombia, especialmente en regiones como el Caribe. A través de una revisión sistemática en Scopus y análisis de co-ocurrencia de palabras clave, se identifican tendencias globales y se contextualizan en el marco normativo colombiano.
(Prado, 2025)	Determinar el impacto de las comunidades energéticas en la equidad de género en zonas no interconectadas.	Estudio de caso, enfoque mixto, análisis de género, resultados cuantitativos y cualitativos. Esta investigación analiza el impacto de las comunidades energéticas en la reducción

Investigación	Objetivo	Características
		de la brecha de género en zonas no interconectadas (ZNI) de La Guajira, Magdalena y Atlántico. Se utilizó un enfoque mixto con un estudio de caso en la comunidad indígena Wayuu de Yotojorotshi (Maicao).
(Osorio, 2025)	Evaluar la viabilidad de comunidades energéticas en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia.	Presenta un análisis institucional, revisión normativa, estudio técnico-financiero, comparación internacional. Se parte de la necesidad de promover una transición energética justa y sostenible, y se propone un enfoque institucional para evaluar los marcos normativos que respaldan estas iniciativas.

Los artículos revisados presentan enfoques complementarios, (Ramírez et al., 2023) aporta una visión estratégica sobre la necesidad de ajustar la regulación para integrar comunidades energéticas, identificando barreras normativas y proponiendo lineamientos generales. En contraste, (Toro, 2024) avanza hacia la operativización de estas recomendaciones mediante un procedimiento detallado que incluye criterios de priorización, ventanilla única y estándares técnicos, lo que representa un aporte práctico para la implementación. Por su parte, (Echeverry & Ortiz, 2024) enriquecen la discusión con un modelo económico adaptativo que incorpora incentivos estatales y experiencias internacionales, aunque su aplicabilidad depende de ajustes al contexto colombiano. Finalmente, (Medina-Reyes et al., 2025) complementa con una revisión sistemática y análisis de tendencias globales, contextualizando el potencial colombiano y aportando una visión estratégica sin ofrecer soluciones concretas.

Otros estudios, como (Caicedo, 2024) y (Osorio, 2025), se enfocan en evaluar la adecuación del marco regulatorio y la viabilidad técnica-financiera, lo que es esencial para diagnosticar barreras, aunque carecen de propuestas operativas para superarlas. (Ulloa, 2024) introduce una reflexión ética y social sobre la transición energética justa, pero sin un análisis técnico profundo. Por su parte, (Prado, 2025) incorpora la dimensión de equidad de género en zonas no interconectadas, ampliando el alcance social de las comunidades energéticas, aunque con aplicabilidad limitada a contextos rurales específicos. Esta heterogeneidad evidencia que, aunque los artículos comparten el objetivo común de impulsar la transición energética, sus contribuciones varían en profundidad y alcance, lo que exige una integración metodológica para lograr soluciones completas y adaptadas al contexto colombiano.

En el siguiente capítulo, se presentarán los objetivos del estudio, tanto el objetivo general como los objetivos específicos. Estos objetivos guiarán la investigación y definirán las metas que se buscan alcanzar a lo largo del desarrollo del trabajo.

4. Objetivos y Metodología

4.1. Objetivo general

- Formular estrategias para el desarrollo de las comunidades energéticas como parte de la transición energética de Colombia

4.2. Objetivos específicos

- Identificar el estado actual y los desafíos de la transición energética en Colombia.
- Caracterizar experiencias internacionales para el desarrollo de comunidades energéticas.
- Identificar barreras y oportunidades en la implementación de comunidades energéticas.

4.3. Metodología

Para abordar los objetivos propuestos, se implementó una metodología integral compuesta por diversas etapas interrelacionadas. Estas permitieron recopilar la evidencia necesaria para diagnosticar el estado de la transición energética en Colombia, extraer lecciones internacionales y formular estrategias adaptadas al contexto nacional. A continuación, se detallan los objetivos y las actividades realizadas para su cumplimiento:

Objetivo abordado: *Identificar el estado actual y los desafíos de la transición energética en Colombia.*

Para cumplir este objetivo, se realizó un análisis detallado del contexto energético nacional. Se revisaron estadísticas oficiales sobre cobertura eléctrica, pobreza energética y composición de la matriz energética, complementadas con el estudio de políticas públicas como el Plan Nacional de Desarrollo y la Hoja de Ruta de Transición Energética Justa. Este proceso permitió identificar brechas territoriales, sociales y técnicas que limitan el acceso equitativo a la energía, así como los retos asociados a la diversificación de la matriz y la modernización del sistema eléctrico.

Objetivo abordado: *Caracterizar experiencias internacionales para el desarrollo de comunidades energéticas.*

En esta etapa se seleccionaron casos representativos en Italia, España y América Latina, considerando su relevancia en la implementación de comunidades energéticas. Se sistematizaron modelos de gobernanza, tecnologías empleadas, beneficios obtenidos y marcos regulatorios, con el fin de extraer lecciones aplicables al contexto colombiano. El análisis comparativo permitió identificar patrones comunes y diferencias significativas, aportando insumos para diseñar estrategias adaptadas a las condiciones nacionales.

Objetivo abordado: *Identificar barreras y oportunidades en la implementación de comunidades energéticas.*

Para este objetivo se evaluó el marco normativo colombiano, incluyendo la Ley 2294, el Decreto 2236 y las resoluciones emitidas por MME, UPME y CREG. Se clasificaron las barreras en cuatro categorías: regulatorias, técnicas, sociales y financieras, y se analizaron experiencias piloto en comunidades vulnerables. Paralelamente, se identificaron oportunidades estratégicas en dimensiones regulatorias, financieras, técnicas, sociales y territoriales, lo que permitió comprender las condiciones habilitantes y los obstáculos que deben superarse para consolidar las comunidades energéticas en el país.

Objetivo abordado: *Formular estrategias para el desarrollo de las comunidades energéticas como parte de la transición energética de Colombia.*

Finalmente, se integraron los hallazgos anteriores en un portafolio estratégico compuesto por siete dimensiones: institucional-regulatoria, financiera, tecnológica, social-participativa, territorial-diferencial, ambiental-sostenible y seguimiento-evaluación. Cada dimensión articula criterios de sostenibilidad, equidad y resiliencia, proponiendo acciones concretas para consolidar a las comunidades energéticas como actores clave en la transición energética justa del país.

Esta metodología permitió construir una base sólida para el análisis de los capítulos siguientes. No solo facilitó el diagnóstico del estado actual y el potencial de las comunidades energéticas en Colombia, sino que también ofreció una hoja de ruta para su desarrollo futuro. A través de un enfoque multidisciplinario y participativo, se espera contribuir al avance de la transición energética en el país, promoviendo un modelo más sostenible, equitativo y resiliente.

5. Identificar el estado actual y los desafíos de la transición energética en Colombia

La transición energética impulsa a los países a descarbonizar sus economías, garantizar la seguridad del suministro y mantener tarifas asequibles. En 2024, las energías renovables representaron el 92,5 % de la nueva capacidad instalada a nivel mundial, elevando su participación en la potencia global del 43 % al 46,4 % (International Renewable Energy Agency, 2025).

No obstante, la Agencia Internacional de la Energía (IEA) advierte que, aunque la electrificación y las energías limpias crecen con rapidez, el proceso es desigual: alrededor de 750 millones de personas aún carecen de acceso a electricidad , la mayoría en África subsahariana (International Energy Agency, 2024a), igualmente informa que persisten obstáculos financieros, de infraestructura y de cadenas de suministro que ralentizan la reducción efectiva de emisiones y la universalización del acceso.

De ahí surge la noción de transición justa, que exige distribuir equitativamente los costos y beneficios, proteger a las economías dependientes de los combustibles fósiles y generar empleos dignos (International Energy Agency, 2024b).

Otro pilar fundamental es la participación ciudadana. El auge de los prosumidores, las comunidades energéticas y los programas de respuesta a la demanda está redefiniendo la relación entre los usuarios y la red eléctrica, facilitando la integración de recursos distribuidos y empoderando a la sociedad en la toma de decisiones energéticas.

En Colombia, la transición energética ya trasciende el sector eléctrico. El Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 y la Hoja de Ruta de Transición Energética Justa amplían la acción climática hacia sectores como el transporte, la industria y las edificaciones. Ambos documentos destacan que la movilidad eléctrica, el hidrógeno y la eficiencia constructiva serán elementos clave para reducir la dependencia de los combustibles fósiles sin sacrificar la equidad territorial ni el empleo (Ministerio de Minas y Energía et al., 2023).

En este contexto, el país proyecta flotas de transporte de cero emisiones, biocombustibles sostenibles para la aviación, sustitución del calor industrial fósil por electricidad, biomasa e hidrógeno, así como edificaciones con estrictas normas de eficiencia energética y cocción eléctrica. Para habilitar estos cambios, se contemplan incentivos fiscales, financiamiento verde y programas de reconversión laboral. Las comunidades energéticas, por su parte, canalizan inversión local y profundizan la participación social (Ministerio de Minas y Energía et al., 2023).

5.1. Transición energética en Latinoamérica

En América Latina, la transición energética se perfila como pilar del desarrollo sostenible. Aunque los avances son heterogéneos, la matriz primaria continúa dominada por combustibles fósiles, petróleo 46 %, gas 23 % y carbón 5 %, mientras que las renovables apenas aportan 26 %. Un análisis de CEPAL, IRENA y la Agenda 2030 estima que la participación renovable podría superar el 70 %

en 2030 y alcanzar el 90 % en 2050 si prospera una cartera de 190 GW; fundamentalmente solar y eólica, concentrada en Brasil, Chile, México y Colombia (Chavarry & Revinova, 2025).

Sin embargo, la región enfrenta desafíos importantes: una brecha de inversión cercana a 170.000 millones de dólares, mayor exposición a riesgos climáticos y marcos regulatorios fragmentados, factores que limitan la expansión de nuevos proyectos. Para superar estos obstáculos, se propone armonizar normativas, robustecer la banca de desarrollo, ampliar la emisión de bonos verdes, instalar almacenamiento a gran escala y reforzar la cooperación en bloques como MERCOSUR y la Alianza del Pacífico (Chavarry & Revinova, 2025).

Además, se destaca la urgencia de reducir las desigualdades sociales y anticipar las tensiones geopolíticas derivadas del reordenamiento energético global. Si se gestiona adecuadamente, la transición energética puede convertirse en un motor de crecimiento inclusivo y una fuente de resiliencia climática, siempre que los gobiernos articulen políticas coherentes, movilicen capital privado y garanticen una participación ciudadana efectiva (Chavarry & Revinova, 2025).

La experiencia internacional demuestra que una transición energética eficaz combina tres elementos clave: cobertura eléctrica universal, diversificación profunda de la matriz energética y mecanismos de transición justa que involucren activamente a la ciudadanía. El caso de Brasil, con un desempeño avanzado, evidencia el potencial competitivo regional que países como Colombia pueden replicar. No obstante, las disparidades persisten en contextos con infraestructura frágil y gobernanza débil. Por ello, la región necesita planes nacionales que integren solidez técnica, financiamiento verde y participación social, alineados con las directrices del Renewable Energy Map (REM), para transformar su abundancia de recursos renovables en desarrollo sostenible y resiliencia climática (Hassan et al., 2024).

En el caso colombiano, donde las Zonas No Interconectadas concentran el déficit de acceso y el Plan Nacional de Desarrollo reconoce a las comunidades energéticas como vehículos de inclusión, el REM señala que invertir en microrredes y redes inteligentes puede simultáneamente cerrar brechas territoriales, reducir emisiones y generar empleo local (Hassan et al., 2024).

Las comunidades energéticas pueden ser el eslabón que conecte la expansión de las renovables con la justicia social en América Latina. Al permitir la propiedad colectiva de la generación y compartir los beneficios económicos, estas comunidades reducen la pobreza energética, fortalecen la aceptación local y aceleran la descarbonización distribuida. No obstante, su despliegue requiere marcos regulatorios estables, alfabetización técnica y acceso a financiamiento blando. De lo contrario, las brechas en infraestructura, educación y gobernanza seguirán limitando su alcance (Galindo et al., 2025).

En síntesis, el futuro de la transición energética latinoamericana depende de movilizar inversiones, modernizar infraestructuras y asegurar que los beneficios de las energías limpias lleguen a toda la población.

Integrar las comunidades energéticas en los planes nacionales, especialmente en zonas rurales y no interconectadas, como las colombianas, no solo impulsará la penetración de la cartera solar-eólica proyectada, sino que materializará una transición climáticamente ambiciosa y socialmente justa.

Con marcos regulatorios convergentes, instrumentos financieros innovadores y una gobernanza participativa centrada en la equidad, la región podrá convertir su vasto potencial solar, eólico e hidroeléctrico en un motor de prosperidad compartida y resiliencia frente al cambio climático, consolidando así la energía como un verdadero motor del desarrollo sostenible.

5.2. Transición energética en Colombia

La transición energética en Colombia, tradicionalmente sustentada en la generación hidroeléctrica, ha comenzado a diversificarse con un aumento significativo en la incorporación de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER). Sin embargo, una parte considerable del territorio nacional aún permanece fuera del Sistema Interconectado Nacional (SIN), dependiendo de soluciones diésel que resultan costosas, contaminantes y poco confiables.

Frente a esta realidad dual, el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 establece una estrategia de Transición Energética Justa, que promueve el desarrollo de comunidades energéticas, la implementación de microrredes renovables y la sustitución progresiva de la leña como fuente de energía, especialmente en zonas rurales y vulnerables.

El principal desafío consiste en acelerar la integración de las energías renovables, incorporando tecnologías de almacenamiento, digitalización de redes y fortaleciendo la gobernanza comunitaria. El objetivo es transformar la expansión de las FNCER en bienestar territorial y resiliencia climática.

5.2.1. Diversificación de la matriz

Según un informe publicado por el operador del Sistema Interconectado Nacional (XM), durante el año 2024 ingresaron 1.446,6 MW de nuevas plantas para complementar la matriz de generación de energía eléctrica. De esta cifra, 1.379,9 MW correspondieron a plantas solares fotovoltaicas y 66,7 MW a plantas térmicas. Con estos proyectos, la capacidad total del SIN alcanzó los 21.368,9 MW al 31 de diciembre de 2024, lo que representa un incremento del 7,39 % respecto al año anterior (XM, 2025). Por su parte, de los 67 proyectos de generación que se conectaron en el Sistema, 63 son de generación solar y 4 de generación térmica (XM, 2025).

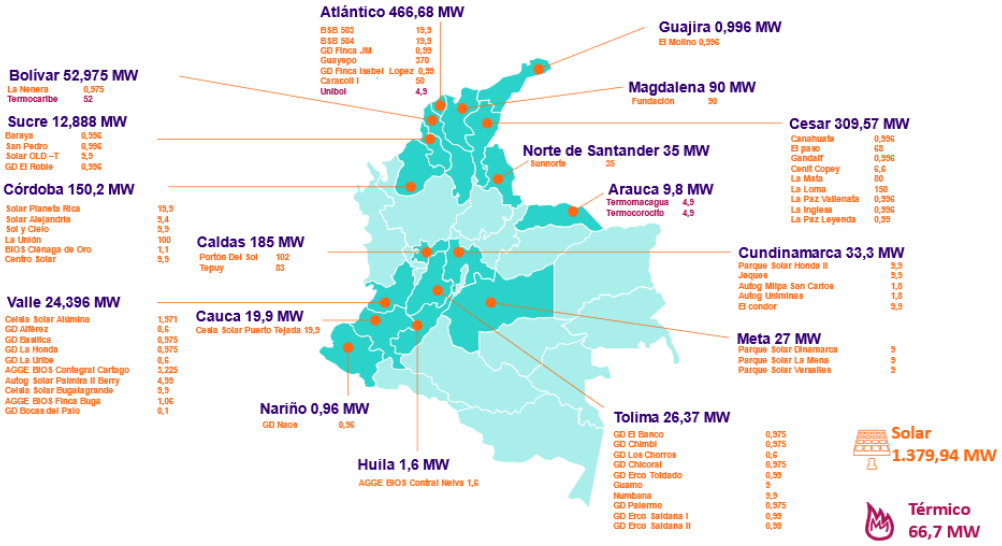

Figura 5-1. Nuevas plantas de generación ingresadas en 2024. Fuente (XM, 2025).

Este balance confirma que la matriz energética colombiana ha entrado en una fase de inflexión: la incorporación de 1,38 GW solares, equivalentes al 95 % de la nueva capacidad instalada, posiciona a la energía solar como el principal vector de expansión y diversificación del SIN.

Este avance no solo incrementa la potencia neta del sistema, sino que también reduce la proporción de generación térmica incremental a apenas un 5 %, consolidando a las FNCER como eje estratégico para:

- Disminuir la vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos extremos.
- Contener las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Fortalecer la resiliencia energética del país.

En este contexto, la diversificación de la matriz energética promovida por las comunidades energéticas se alinea directamente con el objetivo del artículo 2.2.9.1.2 del Decreto 2236 de 2023: **"g): *Aumentar la confiabilidad del sistema mediante la inclusión de Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCER), combustibles renovables y recursos energéticos distribuidos, bajo gestión comunitaria"*** (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

Al incorporar tecnologías como solar fotovoltaica, eólica, pequeñas centrales hidroeléctricas, biomasa y biogás de residuos agroforestales, geotermia, recursos marinos-costeros en fase piloto y, potencialmente, hidrógeno renovable, las comunidades energéticas ampliarían el portafolio de fuentes, reducirían la dependencia hídrica-térmica y contribuirían a una matriz más robusta, diversificada y sostenible.

5.2.2. Transición justa y cobertura eléctrica

La transición energética se concibe como un cambio estructural hacia una economía baja en carbono que no reproduzca las desigualdades históricas; esta visión ha sido asumida por el Estado colombiano mediante el *Climate and Just Energy Transition Partnership* con Alemania y el compromiso de alcanzar la neutralidad de carbono en 2050. El principio de transición justa exige articular la descarbonización con políticas redistributivas y la creación de empleo digno, reconociendo que la paz territorial y la reducción de brechas socioeconómicas dependen de una distribución equitativa de los beneficios y costos del cambio tecnológico (Godinho, et al., 2024).

A pesar de los avances normativos, las estadísticas de acceso eléctrico revelan profundas desigualdades. En 2022, más de 1,26 millones de hogares seguían sin servicio eléctrico. La pobreza energética multidimensional afectaba al 8,7 % de la población urbana y al 27,3 % de la rural. Departamentos como Vaupés y Vichada presentaban coberturas inferiores al 45 %. Las Zonas No Interconectadas (ZNI) que abarcan el 51 % del territorio, carecen de redes de transmisión y presentan una dispersión demográfica que perpetúa la exclusión energética y limita la productividad local (Heinemann et al., 2024).

Para cerrar esta brecha, Colombia ha incorporado la figura de las comunidades energéticas, definidas como actores habilitados para generar, gestionar y consumir energía renovable, con prioridad para poblaciones vulnerables y minorías étnicas. Estudios recientes demuestran que estos esquemas, combinados con financiamiento blando y cohesión social, permiten expandir la cobertura, reducir la pobreza energética y democratizar la toma de decisiones en el sector eléctrico colombiano (Heinemann et al., 2024).

Las estrategias orientadas a ampliar la cobertura en poblaciones históricamente excluidas, priorizar las ZNI y garantizar tarifas asequibles se alinean con los objetivos ***"a) aumentar la cobertura y garantizar el acceso de los grupos vulnerables, d) descentralizar la generación y el consumo hacia dichos grupos***, y ***h) ofrecer condiciones económicas asequibles"***, establecidos en el artículo 2.2.9.1.2 del Decreto 2236 de 2023 (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

Estos objetivos constituyen el sustento normativo que legitima a las comunidades energéticas como instrumentos clave de una transición energética justa y equitativa. Las estrategias descritas refuerzan las metas regulatorias de cobertura, descentralización y asequibilidad, y posicionan a las comunidades como protagonistas del nuevo modelo energético colombiano.

5.2.3. Participación del usuario

La participación activa de los usuarios es un requisito tanto normativo como ético dentro del marco de una transición energética justa. Desde la perspectiva de la justicia energética, la aceptación social de los proyectos depende de la calidad de los procesos deliberativos y de la percepción de beneficios tangibles y equitativos.

Estudios de casos de granjas fotovoltaicas revelan que los proyectos solo alcanzan legitimidad social cuando las comunidades influyen de manera sustantiva en las decisiones de localización, reparto de ingresos y mitigación de impactos (Caicedo, 2024; Jochemsen et al., 2024).

En Colombia, el marco jurídico reciente promueve el paso de consumidores pasivos a "prosumidores" y agentes colectivos. El Decreto 2236 exige que las comunidades energéticas definan mecanismos internos de gobernanza participativa, mientras que análisis institucionales subrayan que la cohesión social, la transparencia financiera y el acompañamiento técnico son determinantes para sostener la participación ciudadana a lo largo del ciclo de vida de los proyectos(Ministerio de Minas y Energía, 2023)

La transformación de usuarios pasivos en prosumidores y la creación de mecanismos deliberativos y de gobernanza cooperativa, se articula principalmente con los objetivos ***"c) democratizar la energía mediante la participación de los usuarios como generadores y gestores*** y ***f) desarrollar la economía local y territorial"*** (Ministerio de Minas y Energía, 2023), mediante el uso eficiente y comunitario de los recursos energéticos. Al promover la corresponsabilidad en la planificación, el control de excedentes y la reinversión de beneficios, empoderando a las comunidades como actores centrales de la transición energética (Shyu, 2025).

5.2.4. Reducción de brechas

El Índice Multidimensional de Pobreza Energética (MEPI), desarrollado para los 32 departamentos, evidencia una tendencia creciente de privaciones energéticas entre 2018 y 2022. Esta situación es especialmente crítica en capitales municipales y zonas de baja densidad poblacional; los mayores niveles de pobreza energética coinciden con territorios de difícil acceso y zonas con oferta intermitente donde entre el 20 % y el 40 % de los hogares no alcanzan los umbrales mínimos de consumo ni de calidad del suministro (Montalvo & Lasso, 2024).

A pesar de ello, la política pública continúa utilizando indicadores binarios de "acceso/no acceso" que invisibilizan la precariedad del servicio (calidad, asequibilidad, continuidad). La literatura latinoamericana advierte que esta métrica impide identificar a los "conectados pobres" y obstaculiza la formulación de programas focalizados. Por ello, se propone adoptar indicadores multidimensionales que diferencien entre contextos urbanos y rurales, e incluyan variables como la asequibilidad y la confiabilidad del suministro (Shyu, 2025).

Para reducir las brechas la literatura indica que se requiere una estrategia integral que combine: i) despliegue de microrredes híbridas renovables en Zonas No Interconectadas, con esquemas tarifarios modulados día antes para estimular la eficiencia de la demanda(Esquivel & Toro, 2024); ii) criterios de sostenibilidad socio ambiental en la selección tecnológica, priorizando recursos locales y participación comunitaria (Moncada et al., 2024) ; y iii) reformulación de subsidios y de incentivos fiscales, alineados con indicadores multidimensionales, que premien la reducción efectiva de pobreza energética y la creación de valor local (Montalvo & Lasso, 2024).

Las propuestas para identificar y cerrar la pobreza energética multidimensional, introducir microrredes híbridas renovables y reorientar subsidios conforme a indicadores de asequibilidad y confiabilidad se ajustan a los objetivos ***"a) mejorar la cobertura y el acceso en poblaciones vulnerables, h) garantizar condiciones económicas asequibles*** y **j*) aprovechar de forma eficiente y socio-ambientalmente responsable los potenciales energéticos regionales"***. Al integrar criterios de sostenibilidad social y ambiental, se refuerza la visión de las políticas gubernamentales de utilizar las comunidades energéticas como instrumentos prioritarios para reducir brechas territoriales y asegurar un uso responsable de los recursos renovables.

En conclusión, el panorama colombiano muestra avances tangibles en materia de transición energética: una mayor participación de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) y la formulación de planes orientados a una transición justa. No obstante, persisten tensiones estructurales que limitan su alcance, como la cobertura eléctrica incompleta, la dependencia de la generación hidráulica y térmica, y las brechas socio-territoriales.

En este contexto, las comunidades energéticas se consolidan como el punto de articulación entre la descarbonización y la equidad. Al facilitar la propiedad colectiva, el reparto transparente de beneficios y una mayor aceptación social, estas comunidades se posicionan como actores clave para una transición energética inclusiva.

Su consolidación en el territorio requiere la activación de tres palancas fundamentales:

- Marcos regulatorios estables que reconozcan a las comunidades energéticas como actores plenos del mercado.
- Instrumentos financieros blandos, como bonos verdes y subsidios, que mitiguen el alto costo de inversión inicial (CAPEX).
- Programas de capacitación que fortalezcan la gestión comunitaria y la sostenibilidad de los proyectos.

Solo mediante la articulación de estos elementos, la transición energética colombiana podrá pasar de las metas a los hechos, convirtiendo su abundante potencial renovable en prosperidad compartida y resiliencia climática.

5.2.5. Panorama de la transición energética en Colombia más allá del sector eléctrico

La política energética colombiana no solo se ocupa de producir electricidad limpia. Tanto el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 (PND) como la Hoja de Ruta de Transición Energética Justa (TEJ) amplían el enfoque hacia los sectores de transporte, industria y edificaciones, reconociendo que la descarbonización debe lograrse sin sacrificar el empleo ni dejar regiones rezagadas (Departamento Nacional de Planeación, 2023; Ministerio de Minas y Energía, 2025a).

Ambos documentos establecen metas ambiciosas: reducir en un 51 % las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 y alcanzar la neutralidad de carbono en 2050, integrando criterios de justicia social y desarrollo productivo.

- **Transporte:** El escenario proyectado por la TEJ indica que, para el año 2050, la electricidad y el hidrógeno cubrirán alrededor del 60 % de la energía usada por el sector, gracias a flotas masivas de buses y camiones eléctricos, corredores férreos de carga y biocombustibles sostenibles para la aviación. El PND refuerza esta visión al incluir metas de infraestructura de recarga y promover proyectos piloto de hidrógeno verde en logística pesada y puertos industriales, con el objetivo de reducir emisiones locales y costos operativos (Departamento Nacional de Planeación, 2023; Ministerio de Minas y Energía, 2025a).
- **Industria:** Según la TEJ, la demanda térmica de las fábricas migrará hacia electricidad, biomasa y mezclas de hidrógeno, de modo que los combustibles fósiles caigan a menos del 1 % al 2050. El PND respalda este cambio con incentivos a la eficiencia y a la producción local de equipos verdes, y con instrumentos para que las pequeñas y medianas empresas adopten calor eléctrico y cogeneración con residuos agrícolas, creando empleos en nuevas cadenas de valor (Departamento Nacional de Planeación, 2023; Ministerio de Minas y Energía, 2025a).
- **Edificaciones y cocción:** La TEJ proyecta hogares y comercios mucho más eficientes: envolventes térmicas mejoradas, refrigeración pasiva y cocción eléctrica sustituyen gradualmente la leña, mientras los distritos térmicos reducen la demanda de aire acondicionado en ciudades cálidas. El PND complementa con programas de sustitución de estufas de leña por inducción y con el nuevo Reglamento Técnico de Construcción Sostenible, que fija estándares para ahorrar energía y agua en nuevas obras y renovaciones. (Departamento Nacional de Planeación, 2023; Ministerio de Minas y Energía, 2025a).

El capítulo 5 revela una transición energética que ya es multisectorial y participativa. La movilidad eléctrica y el hidrógeno ganan protagonismo, la industria se reconfigura hacia la producción limpia, las edificaciones se vuelven más eficientes y las comunidades energéticas acercan la energía renovable a los territorios.

Cumplir las metas climáticas y sociales trazadas por la TEJ y el PND exigirá acelerar la financiación verde, modernizar la infraestructura y garantizar que ninguna región quede atrás. Si el país logra articular estos frentes, podrá convertir su abundante sol, agua y viento en la base de un desarrollo productivo, inclusivo y sostenible para toda la ciudadanía.

6. Caracterizar experiencias internacionales para el desarrollo de comunidades energéticas

En este capítulo se analizarán casos de estudio internacionales sobre el desarrollo de comunidades energéticas. La caracterización de los casos de estudio seleccionados permite comprender la diversidad de enfoques, contextos y resultados asociados a la implementación de comunidades energéticas. Cada caso representa una configuración única de actores, marcos regulatorios, objetivos sociales y tecnológicos, lo que permite identificar patrones comunes y diferencias significativas. Esta diversidad es clave para evaluar la replicabilidad de los modelos y su adaptabilidad a distintos entornos urbanos, rurales o marginales.

Se eligieron **Italia** y **España** porque son los países europeos con mayor producción académica y normativa específica sobre comunidades energéticas, lo que brinda insumos claros para ilustrar su aporte a la transición energética. Al mismo tiempo, se incluyeron experiencias de **América Latina** para ofrecer referentes cercanos a la realidad colombiana y evidenciar cómo la participación ciudadana y la generación distribuida ya están impulsando cambios sostenibles en la región

6.1. Italia

Italia se ha posicionado como un referente en Europa en la implementación de comunidades energéticas renovables. A través de diversos proyectos piloto y marcos normativos innovadores, este país ha demostrado cómo la colaboración ciudadana puede transformar el modelo energético. A continuación, se presentan algunos casos de estudio que ilustran los beneficios, los desafíos y los aprendizajes.

Tabla 6-1. Caracterización de comunidades energéticas Italia

Artículo	Comunidad	Liderazgo y Forma jurídica	Tecnología usada	Resultados / Beneficios	Regulación aplicada	Barreras identificadas	Lecciones para política pública
The first Italian Renewable Energy Community of Magliano Alpi (Olivero et al., 2021).	CER Magliano Alpi (2020)	Público-comunitario / Municipio + ciudadanos.	Paneles solares, autoconsumo compartido.	Reducción de emisiones, empoderamiento local, participación ciudadana activa.	RED II, Decreto Milleprorogh e, Ley 8/2020.	**Sociales:** falta de conocimiento técnico inicial, necesidad de campañas de sensibilización ciudadana. **Estructurales:** Restricciones de conexión a la red, limitaciones de infraestructura para expansión. **Regulatorias:** Incentivos limitados a instalaciones menores de 200 kW, trámites regulatorios complejos.	Crear ventanillas únicas para trámites energéticos, diseñar incentivos diferenciados para comunidades vulnerables, promover educación energética comunitaria.
Three case studies to explore relevant features of emerging renewable energy communities in Italy (Musolino et al., 2023).	Magliano Alpi (Piamonte), Ferla (Sicilia), Nápoles Este (Campania), Italia (2021–2023)	Magliano: público-técnico; Ferla: público-académico; Nápoles: ONG-comunitario.	Paneles solares, plataformas digitales, medidores inteligentes	Magliano: reducción de emisiones, ahorro energético, empoderamiento local. Ferla: participación ciudadana, educación ambiental, ahorro energético. Nápoles: integración de sectores vulnerables, ahorro energético, reducción de emisiones	Directiva RED II, Ley 8/2020, Decreto Milleprorogh e, ARERA 318/2020.	**Sociales:** confianza, participación, baja participación inicial. **Estructurales:** limitaciones técnicas, costos elevados de infraestructura. **Regulatorias**: restricciones normativas iniciales. Incentivos limitados para asociaciones, Conflictos entre normativas municipales y regionales	Crear ventanillas únicas para trámites, promover redes locales de técnicos, incentivar autoconsumo compartido, fomentar alianzas público-académicas, diseñar programas de educación energética y participación comunitaria, promover cooperativas en barrios vulnerables, integrar enfoque de justicia energética, empoderar liderazgos locales.
Challenges of renewable energy communities on small Mediterranean islands: A case study on Ponza Island (Corsini et al., 2023).	Isla de Ponza, Italia (2023)	Académico-técnico.	Paneles solares, planta desalinizadora, almacenamiento de agua.	Reducción de emisiones, mejora de rentabilidad, autosuficiencia hídrica.	Directiva RED II.	**Sociales:** Desconfianza inicial, baja diversidad de usuarios. **Estructurales:** restricciones geográficas. **Regulatorias:** incentivos insuficientes	Adaptar incentivos, integrar servicios esenciales, fomentar diversidad de usuarios, usar herramientas de simulación, replicar en islas o zonas rurales.
The Renewable Energy	Municipio de Assisi,	Liderazgo público.	Paneles solares,	VPN hasta 4,5 M€, retorno simple de 8–	RED II, Decreto	**Sociales:** participación, restricciones patrimoniales.	Liderazgo público, planificación participativa, normativa

Artículo	Comunidad	Liderazgo y Forma jurídica	Tecnología usada	Resultados / Beneficios	Regulación aplicada	Barreras identificadas	Lecciones para política pública
Communities in Italy and the Role of Public Administrations (Moretti & Stamponi, 2023).	Italia (2023)		autoconsumo virtual, sin baterías	14 años, reducción de emisiones, modelo replicable.	Legislativo 199/2021, ARERA 727/2022.	**Estructurales:** Limitaciones arquitectónicas. **Regulatorias:** trámites complejos, Permisos lentos (~12 meses)	flexible, optimización del consumo, modelo replicable.
Energetic and economic advantages of energy communities: a case study referred to a southern Italian town (Marino et al., 2024).	Comunidad en edificio residencial, Reggio Calabria, Italia (2024)	Comunitario, entre copropietarios.	Paneles solares, baterías, autoconsumo compartido.	Aumento del VPN (+16%), reducción del retorno de la inversión, ahorro energético, reducción de emisiones, mayor eficiencia con usuario intensivo y baterías.	Directiva RED II, incentivos italianos para energía compartida y autoconsumo.	**Sociales:** desconocimiento. **Estructurales:** inversión inicial, espacio. **Regulatorias:** trámites complejos.	Promover comunidades en edificios, incluir usuarios intensivos, incentivar almacenamiento, simplificar trámites, usar VPN como herramienta de evaluación.
Energy Communities and Requalification – Towards Energy Transition and Self-Sufficiency (Zagaria et al., 2024).	Comunidad energética de la Villa olímpica, Roma (2024)	Público-comunitario. Coordinado por la universidad y las autoridades locales.	Paneles solares, bombas de calor, aislamiento térmico, BMS, iluminación LED	Reducción de emisiones (40%), ahorro energético (69%), autosuficiencia del 25%, recuperación de la inversión (2.6 años)	Decreto MASE 414/2023, incentivos italianos para energía compartida.	**Sociales**: participación. **Estructurales:** espacio limitado, restricciones arquitectónicas. **Regulatorias**: normativas urbanas restrictivas	Integrar rehabilitación y RECs, incluir perfiles de carga complementarios, adaptar normativas, diseñar incentivos claros, replicar en conjuntos urbanos colombianos.
Renewable energy communities design: A decision support tool for integrated impact assessment (Blečić et al., 2025).	CER-CA, Cagliari, Italia (2024–2025)	Público-comunitario. Liderado por el municipio y la universidad.	Paneles solares, baterías, simulador de escenarios, autoconsumo compartido.	Reducción de emisiones, ahorro energético, inclusión social, empoderamiento comunitario, reducción de pobreza energética.	RED II, incentivos nacionales italianos, fondos europeos (PON Metro, NESOI).	**Sociales**: desconfianza, baja participación. **Estructurales**: altos costos, infraestructura deficiente. **Regulatorias**: incentivos mal focalizados, trámites complejos.	Focalizar subsidios en hogares vulnerables, simplificar trámites, promover educación energética, usar herramientas de evaluación integral.

Las comunidades energéticas en Italia han evolucionado rápidamente desde la transposición de la Directiva RED II, impulsadas por incentivos nacionales y fondos europeos como el PON Metro y NESOI. Los casos revisados muestran una diversidad de modelos de gobernanza, desde liderazgos públicos y académicos hasta asociaciones ciudadanas y una amplia gama de tecnologías: paneles solares, baterías, bombas de calor, sistemas de gestión energética (BMS), iluminación LED, plataformas digitales y soluciones integradas como plantas desalinizadoras (Blečić et al., 2025; Marino et al., 2024; Olivero et al., 2021).

Los beneficios incluyen reducción de emisiones (hasta 40 %), ahorro energético (hasta 69 %), empoderamiento comunitario, inclusión social y recuperación de la inversión en menos de tres años en algunos casos (Zagaria et al., 2024).

No obstante, las comunidades energéticas italianas enfrentan barreras significativas. En el plano social, se identifican desconfianza inicial, baja participación y escasa diversidad de usuarios (Corsini et al., 2023; Olivero et al., 2021).

A nivel estructural, los desafíos incluyen altos costos de inversión, restricciones arquitectónicas y limitaciones técnicas, especialmente en edificios patrimoniales o islas (Corsini et al., 2023; Zagaria et al., 2024).

En el ámbito regulatorio, los trámites complejos, la lentitud en la obtención de permisos (hasta 12 meses) y la falta de incentivos diferenciados para asociaciones o zonas vulnerables limitan la escalabilidad del modelo (Moretti & Stamponi, 2023; Musolino et al., 2023).

Para Colombia, estas experiencias ofrecen lecciones valiosas. Es fundamental simplificar los trámites mediante ventanillas únicas, diseñar incentivos focalizados para hogares vulnerables y zonas rurales, e integrar servicios esenciales como agua o refrigeración en las comunidades energéticas.

Además, se recomienda fomentar alianzas público-académicas, promover cooperativas en barrios vulnerables y utilizar herramientas de simulación y evaluación integral como el Valor Presente Neto (VPN) para priorizar proyectos con mayor impacto social (Blečić et al., 2025; Marino et al., 2024).

La experiencia italiana demuestra que el liderazgo público, la planificación participativa y la flexibilidad normativa son claves para replicar modelos sostenibles y equitativos en el contexto colombiano.

6.2. España

A continuación, se presenta un análisis comparativo de diversos casos de estudio de comunidades energéticas en España, abarcando tanto iniciativas consolidadas como proyectos piloto en desarrollo. A través de estos casos, se examinan diferentes formas de liderazgo, tecnologías empleadas, marcos regulatorios aplicados, barreras enfrentadas y lecciones aprendidas para la formulación de políticas públicas. El objetivo es ofrecer una visión integral de las experiencias más representativas en el país, destacando su potencial para contribuir a la equidad energética, la sostenibilidad ambiental y el empoderamiento ciudadano.

Tabla 6-2. Caracterización de comunidades energéticas España

Artículo	Comunidad	Liderazgo y Forma jurídica	Tecnología usada	Resultados / Beneficios	Regulación aplicada	Barreras identificadas	Lecciones para política pública
Comunidades Energéticas: Casos de Estudio (Sánchez & Gómez, 2022).	22 casos en Europa y España (2012–2022).	Variado: cooperativas, asociaciones, empresas, gobiernos locales.	Solar, eólica, biomasa, hidráulica, almacenamiento, movilidad eléctrica.	Empoderamiento ciudadano, innovación, reducción de emisiones, ahorro 10-40 %, empleo local.	Directivas UE 2018/2001 y 2019/944, RD 244/2019, RDL 23/2020.	**Sociales**: Bajo conocimiento técnico y poca inclusión de hogares vulnerables **Estructurales:** Escasa digitalización y herramientas de gestión, limitaciones técnicas. **Regulatorias:** Marco normativo incompleto o fragmentado, trámites administrativos complejos, falta de definición del rol de distribuidores y agregadores.	Marco normativo integral, apoyo financiero, formación ciudadana, digitalización, redes inteligentes, ventanilla única.
Community energy solutions for addressing energy poverty: A local case study in Spain (Parreño et al., 2023).	Comunidad Energética Las Margaritas – Getafe (2023).	Público-comunitario; asociación ciudadana con apoyo municipal.	Paneles solares.	162 MWh/año; ahorro 15-16 €/mes hogar; 60 % de la demanda del edificio; inclusión de 30 hogares vulnerables; reducción de la pobreza energética; ahorro económico; empoderamiento ciudadano.	RD 244/2019, Directiva 2018/2001, normativa PVPC.	**Sociales:** Falta de conocimientos técnicos iniciales y necesidad de confianza entre vecinos y técnicos. **Estructurales:** CAPEX, limitaciones físicas. **Regulatorias:** trámites complejos y figura legal de CE difusa, necesidad de incentivos y mecanismos de financiación.	Eximir de costos de inversión a hogares vulnerables, promover autoconsumo colectivo, simplificar trámites, involucrar a la ciudadanía.
Comunidades energéticas y patrimonio cultural. El caso del barrio del Realejo (Pérez et al., 2023).	Comunidad Energética Realejo (en proceso, 2022–2023).	Comunitario.	Paneles solares para autoconsumo compartido.	Fortalecimiento comunitario, sensibilización patrimonial, aprendizaje colectivo, potencial ahorro energético Reducción de emisiones, empoderamiento ciudadano, cohesión social, impulso a la economía circular.	Ley 14/2007 (Andalucía), RD 244/2019, RDL 15/2018, RDL 20/2022.	**Sociales**: Bajo conocimiento de la normativa patrimonial y energética, participación desigual. **Estructurales:** Dificultad para ubicar instalaciones, limitaciones físicas de los edificios. **Regulatorias:** licencias patrimoniales, burocracia, trámites lentos.	Normas de compatibilización, apoyo técnico-legal, flexibilización normativa, educación ciudadana.

Artículo	Comunidad	Liderazgo y Forma jurídica	Tecnología usada	Resultados / Beneficios	Regulación aplicada	Barreras identificadas	Lecciones para política pública
Energy co-operatives in Spain: The role of social enterprises in the energy transition (Huybrechts et al., 2024).	Muestra de 12 cooperativas españolas.	Comunitario; cooperativas de consumidores y mixtas.	Principalmente FV distribuida, autoconsumo colectivo; baterías virtuales y movilidad eléctrica.	10-30 % de ahorro, reinversión local, reducción de emisiones, empoderamiento ciudadano, atención al usuario, democratización energética.	Ley 24/2013, RD-ley 15/2018, RD 244/2019, RD-ley 23/2020.	**Sociales:** baja cohesión intercooperativa, baja inclusión de género, limitado número de cooperativas activas. **Estructurales:** capital y dependencia de redes de distribución dominadas por incumbentes. **Regulatorias:** trámites complejos, incentivos dispersos y asimetría frente al oligopolio de comercialización.	Fomentar marcos legales diferenciados, apoyo financiero, descentralización, participación ciudadana.
Spatial analysis of energy communities and energy vulnerabilities in Spain (Husiev et al., 2025).	Mapeo nacional de 251 CE (2021).	Cooperativas y asociaciones comunitarias; público-comunitarios.	Paneles solares distribuidos (<20kW), cogeneración, bioenergía.	Ahorro energético, resiliencia comunitaria, participación ciudadana Reducción de emisiones, empoderamiento ciudadano, integración parcial de sectores vulnerables.	RD 244/2019 (autoconsumo), RD-ley 23/2020, fondos NextGeneration EU.	**Sociales:** baja inclusión de vulnerables. **Estructurales**: limitaciones de la red rural. **Regulatorias:** trámites dispares, falta de registro unificado.	Mapeo de vulnerabilidad, incentivos selectivos, apoyo a FV de pequeña escala, registro nacional CE.

En España las comunidades energéticas se han apoyado en un abanico tecnológico dominado por la fotovoltaica distribuida, normalmente sistemas < 20 kW en cubiertas de edificios públicos o residenciales y, en menor medida, cogeneración, bioenergía, eólica de pequeña escala, almacenamiento y electromovilidad (Husiev et al., 2025; Huybrechts et al., 2024; Sánchez & Gómez, 2022).

Las comunidades energéticas en España han demostrado ser una herramienta eficaz para avanzar en la transición energética con enfoque territorial y social. Entre los beneficios más destacados se encuentran el ahorro energético (entre 10 % y 40 %), la reducción de emisiones, el empoderamiento ciudadano y la cohesión social (Huybrechts et al., 2024; Sánchez & Gómez, 2022).

Casos como el de Las Margaritas en Getafe (Parreño-Rodriguez et al., 2023) evidencian que las CE pueden contribuir a la reducción de la pobreza energética mediante esquemas de autoconsumo colectivo que eximen de inversión a hogares vulnerables. Además, iniciativas como la del Realejo en Granada (Pérez Pérez et al., 2023) muestran cómo las CE pueden integrarse en contextos patrimoniales, generando capital social y sensibilización ambiental.

Este despliegue ha sido posible gracias a un marco regulatorio progresivo. El Real Decreto 244/2019 estableció las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo, incluyendo el autoconsumo compartido, mientras que el Real Decreto-ley 23/2020 introdujo medidas para fomentar las comunidades energéticas locales.(Boletín Oficial del Estado, 2019, 2020)

A nivel europeo, las Directivas 2018/2001 y 2019/944 reconocen las comunidades de energía renovable y ciudadanas como actores clave en el mercado energético. Sin embargo, los casos analizados también revelan barreras persistentes. En el plano social, se identifican dificultades para incluir a hogares vulnerables y una baja participación de mujeres y jóvenes (Husiev et al., 2025; Huybrechts et al., 2024).

A nivel estructural, se destacan las limitaciones técnicas en zonas rurales, la escasa digitalización y la dependencia de redes dominadas por grandes empresas. En el ámbito regulatorio, los trámites administrativos complejos, la falta de un marco normativo unificado y la ausencia de una figura legal clara para las CE dificultan su escalabilidad (Sánchez & Gómez, 2022). Estas barreras se agravan en contextos patrimoniales, donde las licencias culturales añaden complejidad (Pérez et al., 2023).

Para Colombia, estas experiencias ofrecen lecciones clave. Es fundamental establecer un marco normativo integral que reconozca distintas formas de CE y facilite el autoconsumo colectivo. También se recomienda crear ventanillas únicas regionales que integren licencias energéticas, ambientales y patrimoniales, así como fondos semilla o líneas de crédito blandas para cubrir el CAPEX inicial, especialmente en zonas vulnerables. El uso de techos públicos como anclas de generación compartida, la formación ciudadana y la digitalización de procesos son estrategias replicables que pueden acelerar la transición energética justa en el país (Parreño et al., 2023; Sánchez & Gómez, 2022).

6.3. Latinoamérica

A continuación, se presenta un análisis comparativo de experiencias de comunidades energéticas en América Latina, con énfasis en iniciativas comunitarias de Brasil, Argentina y Chile. Estos casos muestran una diversidad de liderazgos —comunitario, público-privado y asociativo— y la utilización de tecnologías como paneles solares, biomasa y microrredes híbridas, orientadas tanto a la reducción de emisiones como al desarrollo económico local.

Tabla 6-3. Caracterización de comunidades energéticas Latinoamérica

Artículo	Comunidad	Liderazgo y Forma jurídica	Tecnología usada	Resultados / Beneficios	Regulación aplicada	Barreras identificadas	Lecciones para política pública
Barrios Solares Patrimoniales (*Barrios Solares Patrimoniales*, 2019).	Barrios Solares Patrimoniales, Chile. (2019).	Híbrido: Juntas de vecinos + empresa ESCO.	Paneles solares.	Ahorro en factura; Reducción de emisiones; monitoreo y capacitación vecinal.	Ley 20.571	**Sociales:** reticencia inicial a intervenir viviendas patrimoniales. **Estructurales:** Restricciones estructurales de inmuebles protegidos. **Regulatorias:** Permisos especiales en zona de conservación histórica.	ESCO sin CAPEX para residentes; combinación de financiamiento público-privado para barrios patrimoniales; energía solar como atractivo de turismo cultural.
Prosumidores Solares (*Prosumidores Solares*, 2019).	Temuco, Chile. (2019).	Privada; contratos leasing.	Paneles solares; medidores inteligentes.	Ahorro en factura (≈ 30%), creación de primera "red de prosumidores" local, capacitación, reducción de emisiones.	Ley 20.571.	**Sociales**: bajo conocimiento técnico; **Estructurales:** orientación de techos; **Regulatorios:** cupos FV y trámites de conexión.	Financiar FV residencial vía leasing respaldado por ahorros y simplificar permisos con ventanilla única.
Cooperativa Energética Educacional (*Cooperativa Energética Educacional*, 2019)	Recoleta, Chile. (2019).	Público-comunitario; Cooperativa escolar	Panales solares	Ahorro en facturación; reducción de emisiones; material pedagógico transición energética	Ley 20.571	**Sociales:** Brecha de conocimiento participación de docentes y familias. **Estructurales:** techos limitados. **Regulatorias:** falta de marco específico para cooperativas escolares.	Crear categoría RCE para cooperativas educativas.
Colegios Solares de Renca (*Colegios Solares de Renca*, 2020)	Renca, Chile. (2020).	Público-privado: municipio + ESCO Ciudad Luz	Paneles solares.	Cobertura del 100 % del consumo eléctrico escolar; programa de capacitación.	Ley 20.571.	**Sociales**: sensibilización de comunidad escolar. **Estructurales**: techos limitados. **Regulatorias**: certificación ambiental.	Contratos ESCO escolares.

Artículo	Comunidad	Liderazgo y Forma jurídica	Tecnología usada	Resultados / Beneficios	Regulación aplicada	Barreras identificadas	Lecciones para política pública
Energia Solar nas Favelas do Rio de Janeiro (Chaves, 2020; Rodríguez & Anuzis, 2021).	RevoluSolar Babilônia & Chapéu Mangueira, Brasil. (2016).	Comunitario; asociación + cooperativa de producción energética.	Paneles solares.	45 MWh/año; 19 vecinos capacitados; ahorro en hostales y escuela; R$ 130 k movilizados.	ANEEL 482/2012 y 687/2015.	**Sociales:** violencia, desconfianza. **Estructurales:** techos limitados. **Regulatorias:** favela fuera de planes oficiales.	Microcrédito social, techos públicos, capacitación barrial, inclusión de favelas en normativa.
|Energia Solar nas Favelas do Rio de Janeiro (Chaves, 2020; Rodríguez & Anuzis, 2021)	Insolar Santa Marta, Brasil (2014).	Híbrido; startup de impacto social + organizaciones comunitarias.	Paneles solares.	7 MWh/año; 19 instaladores formados; ahorro eléctrico en 13 instituciones; resiliencia ante apagones.	ANEEL 482/2012.	**Sociales:** curva de aprendizaje. **Estructurales:** inversión inicial. **Regulatorias:** tramitología eléctrica y ausencia de incentivos específicos.	Fondos semilla, ventanilla única, formación técnica exprés, uso de kits FV en ZNI urbanas.
Comunidades energéticas latinoamericanas. Sostenedoras de transiciones… (2023).	Diversas CE (2000-2023).	Comunitario; cooperativas, redes campesinas y barriales.	Paneles solares, biomasa, microrredes híbridas.	Soberanía energética, equidad de género, empleo local Reducción de emisiones CO_2; resiliencia territorial.	Marcos nacionales dispares; incentivos parciales.	**Sociales:** desconfianza. **Estructurales:** infraestructura débil. **Regulatorias:** vacío de figura CE.	Régimen multi-figura, ventanilla única, enfoque de género y reparación ecológica.
Potencialidad para la implementación de comunidades energéticas sustentables en la provincia de Córdoba, Argentina (2024).	Propuesta CE Córdoba Rural-Urbana, Argentina (2024)	Público-comunitario; cooperativas eléctricas y consorcios.	Paneles solares y biomasa.	Diversificación de la matriz, desarrollo rural, empleo agro-energético, reducción de emisiones, fortalecimiento cooperativo.	Ley 27.424 de GD.	**Sociales:** baja cultura energética. **Estructurales:** redes débiles y cargas dispersas. **Regulatorias:** ausencia de norma provincial CE.	Ley específica de CE, minirredes rurales, alianzas con cooperativas existentes.

Los casos analizados en América Latina muestran que las comunidades energéticas están emergiendo como una estrategia para abordar simultáneamente la pobreza energética, la fragmentación territorial y la transición energética justa.

Iniciativas como Revolusolar e Insolar en Brasil demuestran que es posible implementar soluciones sostenibles en zonas marginadas mediante esquemas cooperativos, microcréditos y formación de instaladores solares locales, fortaleciendo así la autonomía energética de comunidades como Babilônia y Chapéu Mangueira (Baigorrotegui & Chemes, 2023).

En Argentina, se destaca el rol de las cooperativas rurales en Córdoba como promotoras de comunidades energéticas sustentables, integrando fuentes solares y biomasa, y fortaleciendo la gestión local de la energía en zonas aisladas con déficit de infraestructura (Rodríguez & Anuzis, 2021).

En Chile, experiencias como la Comuna Energética con proyectos escolares o patrimoniales, han permitido avances en eficiencia energética, apropiación territorial y participación ciudadana.

Las principales barreras identificadas en la región incluyen dificultades técnicas como techos no aptos para fotovoltaica o redes inadecuadas; desafíos normativos como la ausencia de figuras legales específicas para comunidades energéticas y trámites complejos; y obstáculos sociales como la desconfianza comunitaria o el desconocimiento tecnológico.

Frente a esto, las estrategias exitosas han combinado financiamiento híbrido (leasing, fondos públicos y ESCOs), inclusión de criterios de género y reparación ecológica, y el uso de plataformas de participación desde los territorios.

Estas lecciones son especialmente valiosas para Colombia, donde el desarrollo de comunidades energéticas en zonas no interconectadas puede beneficiarse de la experiencia latinoamericana en planificación descentralizada, apropiación social de la energía y construcción de capacidades locales. Así, las CE no deben entenderse únicamente como soluciones tecnológicas, sino como instrumentos integradores de soberanía energética, justicia climática y fortalecimiento del tejido social en contextos históricamente excluidos.

6.4. Caracterización de experiencias Italia, España y Latinoamérica

Tabla 6-4. Caracterización de comunidades energéticas

Región / País	Liderazgo y formas jurídicas habituales	Tecnologías	Beneficios principales observados	Marco regulatorio de referencia	Barreras recurrentes	Lecciones relevantes para Colombia
Italia	Gobiernos locales y ciudadanía en esquemas público-comunitarios; cooperativas y asociaciones.	Paneles solares en techos, baterías, autoconsumo compartido, bombas de calor, sistemas de gestión energética.	Reducción de emisiones, ahorro energético, empoderamiento comunitario, mitigación de pobreza energética.	Directiva (UE) 2018/2001 - RED II; Decreto Legislativo 199/2021; Resoluciones ARERA 318/2020 y 727/2022.	Trámites y permisos lentos, costos iniciales altos, desconfianza social, restricciones patrimoniales.	Ventanilla única para licencias, incentivos diferenciados a hogares vulnerables, educación energética, alianzas público-académicas.
España	Cooperativas de consumidores, asociaciones vecinales y consorcios con apoyo municipal.	Fotovoltaica distribuida de pequeña escala, baterías virtuales; iniciativas puntuales de bioenergía y movilidad eléctrica.	Ahorro en las facturas, reducción de pobreza energética, cohesión y participación ciudadana.	Real Decreto 244/2019; Real Decreto-ley 15/2018; Real Decreto-ley 23/2020; Ley 24/2013 del Sector Eléctrico; Directivas (UE) 2018/2001 y 2019/944.	Complejidad administrativa, inclusión limitada de hogares vulnerables, figura legal de comunidad energética aún difusa.	Marco normativo integral y claro, fondos semilla/blandos para cubrir CAPEX, ventanilla única regional, uso de cubiertas públicas como anclas, digitalización de la gestión.
Latinoamérica (Brasil, Argentina, Chile, entre otros)	Liderazgo comunitario y modelos híbridos (cooperativas, juntas de vecinos, municipios, start-ups sociales).	Paneles solares en techos, microrredes híbridas (solar + almacenamiento/diésel), biomasa, pequeña hidro.	Acceso a energía en zonas marginadas, ahorro energético y creación de empleos locales, equidad de género, resiliencia territorial.	Brasil: Resolución Normativa ANEEL 482/201 y 687/2015 Argentina: Ley 27 424 de generación distribuida. Chile: Ley 20 571 de generación distribuida.	Desconfianza comunitaria, violencia o inseguridad, falta de incentivos financieros, limitaciones de infraestructura.	Microcrédito y financiamiento mixto, capacitación local de instaladores, inclusión de barrios vulnerables en la norma, alianzas con cooperativas existentes, enfoque de género y reparación ecológica.

La comparación entre Italia, España y Latinoamérica muestra que las comunidades energéticas han pasado de ser ejercicios aislados de autogestión a constituir piezas estratégicas de la transición energética.

En los tres contextos, el marco jurídico —RED II y su trasposición en la UE, los reales decretos españoles y las normas de generación distribuida en Brasil, Argentina y Chile, habilita al ciudadano para pasar de consumidor pasivo a prosumidor organizado, con derechos claros para generar, almacenar y compartir energía. Esta arquitectura regulatoria, aunque diversa, converge en un mismo objetivo: democratizar el acceso a las renovables y acelerar la descarbonización desde la base social.

En la práctica, las tecnologías elegidas, fotovoltaica en cubiertas, microrredes híbridas, almacenamiento y, cada vez más, soluciones de gestión digital, han demostrado su idoneidad para avanzar simultáneamente en seguridad energética, reducción de emisiones y justicia social.

Al combinar proyectos de pequeña y mediana escala con modelos cooperativos o público-comunitarios, los tres casos ofrecen un camino de transición inclusiva que integra a hogares vulnerables, fortalece la economía local y refuerza la resiliencia territorial frente al cambio climático.

Las barreras recurrentes (trámites complejos, costos iniciales, confianza ciudadana, limitaciones de red) subrayan la necesidad de políticas complementarias: ventanillas únicas, financiamiento blando, capacitación técnica y mecanismos de participación que legitimen los proyectos.

Para Colombia, la lección central es que la transición energética no se logrará solo con megavatios instalados, sino con gobernanza distribuida y participación ciudadana articuladas por normas claras. Adaptar herramientas regulatorias que reconozcan a las comunidades energéticas, habilitar esquemas de financiamiento mixto y priorizar la digitalización de microrredes permitirán convertir los retos locales (desigualdad territorial, informalidad energética) en oportunidades para avanzar hacia un sistema eléctrico más limpio, resiliente y equitativo.

En el siguiente capítulo se abordan elementos que, en la práctica, limitan o favorecen el despliegue de estas iniciativas en Colombia, con el fin de identificar los factores clave que podrían facilitar su escalamiento y consolidación en el territorio nacional.

7. Identificación de barreras y oportunidades en la implementación de comunidades energéticas

Luego de caracterizar la transición energética en Colombia y examinar experiencias internacionales (capítulos 5 y 6), este capítulo identifica los factores que, en la práctica, obstaculizan o facilitan la implementación de comunidades energéticas en el país. Partimos de un marco normativo en construcción, Ley 2294 de 2023, Decreto 2236 de 2023, Resoluciones MME 40509 y UPME 501 de 2024, y la Resolución CREG 101 072 de 2025, que reconoce a las CE como actores legítimos, pero aún adolece de vacíos reglamentarios y dificultades de implementación. Entender las barreras y oportunidades es indispensable para formular estrategias que viabilicen una transición energética justa y territorialmente inclusiva (Heinemann et al., 2024).

7.1. Marco conceptual: barreras y oportunidades

La literatura distingue cuatro grandes categorías de barreras:

- Regulatorias-políticas: normas fragmentadas, trámites complejos, falta de incentivos claros (Caicedo, 2024; Krug et al., 2023)
- Técnicas: limitaciones de red, ausencia de microrredes inteligentes y escasa interoperabilidad de datos (Moncada et al., 2024).
- Sociales-culturales: desconfianza, bajo alfabetismo energético y exclusión de minorías (Jochemsen et al., 2024).
- Financieras y de mercado: CAPEX elevado, débil oferta de instrumentos financieros flexibles y asimetrías frente a incumbentes (Echeverry & Ortiz, 2024; Huybrechts et al., 2024).

Las oportunidades se entienden como condiciones habilitantes, normativas, tecnológicas, sociales o económicas, que permiten transformar las barreras en catalizadores del cambio (Ahmed et al., 2024; Galindo et al., 2025)

7.2. Barreras regulatorias-políticas

Aunque la Resolución CREG 101-72 de 2025 representa un avance en la armonización normativa, el marco regulatorio colombiano aún no consolida una estructura integral que articule de forma coherente las actividades de generación, distribución, comercialización y agregación comunitaria de energía. Si bien el Decreto 2236 de 2023 asigna responsabilidades a la UPME y a los operadores de red (OR), persisten vacíos en cuanto a procedimientos expeditos y criterios uniformes para la aprobación de interconexiones. Esta situación otorga un margen amplio de discrecionalidad a los OR, lo que puede generar incertidumbre jurídica y desincentivar la inversión comunitaria (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2025b; Toro, 2024).

La Resolución MME 40509 de 2024 creó el Registro Único de Comunidades Energéticas (RUCE), y la Resolución UPME 501 fijó límites de potencia y dispersión (Ministerio de Minas y Energía, 2024). Sin embargo, ninguna de estas disposiciones contempla mecanismos simplificados de conexión ni esquemas de remuneración por servicios complementarios como flexibilidad, almacenamiento o

respuesta a la demanda (Caicedo, 2024). Esta omisión limita el potencial de las CE para participar activamente en la transición energética y prestar servicios al sistema.

La Resolución CREG 101-72 de 2025, que armoniza la regulación para la integración de las CE al Sistema Energético Nacional, incorporó algunos ajustes derivados del proceso de consulta pública. Entre ellos, se eliminó la figura de fronteras agrupadoras y se estableció que todos los usuarios deben contar con fronteras comerciales individuales, lo que fortalece la protección de derechos y responsabilidades. No obstante, persisten barreras estructurales, dado que se no aborda de manera integral aspectos críticos como la comercialización directa de excedentes, el tratamiento del cargo por respaldo o la gestión de energía reactiva, lo cual sigue representando una barrera para las CE (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2025a).

Otra de las barreras identificadas es que no se encuentra definida una figura jurídica autónoma para las CE, por lo que estas deben constituirse como cooperativas, asociaciones o empresas de servicios públicos (ESP), lo que incrementa la carga administrativa, los costos de constitución y los tiempos de trámite (Osorio, 2025).

Adicionalmente, los trámites ambientales, técnicos y de legalización siguen siendo extensos, fragmentados y poco coordinados entre entidades. La falta de una ventanilla única operativa y de lineamientos claros sobre la responsabilidad del representante legal de la CE frente a los usuarios y al sistema eléctrico agrava la complejidad institucional. Esta situación ha sido señalada por múltiples agentes del sector como una barrera crítica para el escalamiento de las CE en Colombia (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2025a).

En síntesis, aunque la Resolución CREG 101-72 de 2025 representa un avance en la armonización normativa, aún no se ha consolidado un marco regulatorio integral, claro y operativo que habilite plenamente a las comunidades energéticas como actores del sistema eléctrico. La ausencia de una visión sistémica y de mecanismos diferenciados para territorios con pobreza energética o alta dispersión geográfica limita el alcance transformador de estas iniciativas en el contexto de una transición energética justa.

7.3. Barreras técnicas

En muchas Zonas No Interconectadas (ZNI), la infraestructura eléctrica es precaria: redes débiles, alta variabilidad en frecuencia y tensión, y ausencia de supervisión SCADA (Moncada et al., 2024). La ausencia de sistemas de almacenamiento y de protocolos de interoperabilidad basados en estándares ISO/IEC limita la integración segura de generación distribuida y la operación de microrredes híbridas. En el SIN, persiste la falta de medidores inteligentes y de plataformas DERMS que permitan el reparto dinámico de excedentes (Echeverry & Ortiz, 2024).

Las CE urbanas y rurales se enfrentan a limitaciones de red derivadas de infraestructura eléctrica obsoleta en zonas rurales y aisladas, dificultando la integración efectiva de CE y una baja penetración y disponibilidad limitada de tecnologías inteligentes como medidores avanzados y plataformas digitales para la gestión energética local. Implementar medidores por usuario mejora la

transparencia, pero incrementa la inversión inicial y los gastos de gestión (DER Colombia, 2023; Osorio, 2025).

En el ámbito técnico, la Resolución CREG 101-72 de 2025 abordó parcialmente las inquietudes relacionadas con la medición avanzada. La resolución establece la obligación de instalar medidores bidireccionales o de medición avanzada (AMI) en todas las fronteras comerciales de las CE, lo cual permite la liquidación horaria de excedentes y créditos de energía (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2025b). Sin embargo, persisten dudas sobre la estandarización de estos dispositivos y los costos asociados, especialmente en zonas rurales o con usuarios de bajos ingresos.

Finalmente, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) aún no ha definido el régimen de inspección, vigilancia y control aplicable a las CE. Si se les exige cumplir con el mismo sistema de reporte que los grandes generadores y comercializadores, muchas comunidades no podrán sostener los costos operativos ni contratar personal técnico especializado, comprometiendo su viabilidad financiera (Caicedo, 2024).

7.4. Barreras sociales y culturales

La participación comunitaria se ve obstaculizada por la desconfianza en los proyectos colectivos y la baja alfabetización energética, sobre todo en poblaciones rurales y étnicas (Heinemann et al., 2024). Además, las brechas de género y la escasa inclusión de jóvenes reducen la diversidad de los liderazgos (Standal, 2023). Todo ello repercute en ciclos de consulta más largos y en el riesgo de captura por élites locales.

Las barreras existentes no solo afectan a las comunidades energéticas, sino que también limitan la participación ciudadana, especialmente entre las comunidades de bajos ingresos. Esto limita la capacidad de estas poblaciones para beneficiarse plenamente de la transición energética y participar activamente en la toma de decisiones sobre su futuro energético. Además, existe el riesgo de que actores externos puedan apropiarse del discurso comunitario sin un compromiso real con el empoderamiento local (Osorio, 2025).

Esta preocupación también se evidencia en los agentes y promotores del sector por la exclusión de usuarios vulnerables en la conformación de CE, debido a la falta de mecanismos que garanticen su participación efectiva y equitativa. La ausencia de programas de formación técnica y alfabetización energética para los representantes comunitarios y los miembros de las CE fue identificada como un obstáculo para una gobernanza democrática y transparente. Además, se resaltó la necesidad de establecer reglas claras para la toma de decisiones, la distribución de excedentes y la rendición de cuentas dentro de las comunidades (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2025a).

Los trámites ambientales, técnicos y de legalización también representan barreras significativas. Aunque los proyectos de pequeña escala no requieren licencia ambiental, sí deben gestionar permisos menores ante autoridades ambientales, lo que puede retrasar la puesta en operación. En zonas con presencia de grupos étnicos se exige consulta previa, proceso que históricamente ha generado demoras e incluso la cancelación de proyectos (Caicedo, 2024).

7.5. Barreras financieras y de mercado

El costo inicial de los sistemas fotovoltaicos, de almacenamiento y de adecuación eléctrica supera la capacidad de endeudamiento de muchas comunidades, lo que representa un obstáculo significativo para comunidades con recursos limitados (Echeverry & Ortiz, 2024; Osorio, 2025).

Existen líneas de financiamiento verde, pero con requisitos de garantías que excluyen a poblaciones vulnerables. La comercialización de excedentes sigue dominada por un oligopolio que impone márgenes bajos y plazos de pago extensos, o que afecta negativamente el flujo de caja y la sostenibilidad financiera de los proyectos comunitarios (Huybrechts et al., 2024).

Los procedimientos necesarios para conectar proyectos de generación distribuida al SIN son complejos y costosos, lo que desincentiva la participación comunitaria. Esta burocracia puede resultar abrumadora para grupos con recursos limitados. La carencia de incentivos económicos específicos para las CE limita su atractivo para los inversionistas, dificultando su sostenibilidad financiera. Sin un apoyo económico adecuado, muchas iniciativas comunitarias no logran despegar (Osorio, 2025).

En otras palabras, estas comunidades energéticas deberán incluir en su análisis financiero los costos de construcción de estas soluciones energéticas, los cuales superan ampliamente la capacidad de inversión de una familia promedio en Colombia, especialmente una en poblaciones objetivo dispuestas en el Decreto 2236 (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

Asimismo, deben considerarse los costos asociados a la administración, operación y mantenimiento (AOM) de estos proyectos durante toda su vida útil, estimada en promedio entre 25 y 30 años en el caso de soluciones solares. Estos costos podrían incrementarse significativamente si la comunidad no cuenta con personal capacitado para operar sistemas energéticos, lo que obligaría a contratar servicios especializados de terceros. Esta necesidad, generalmente no contemplada en los análisis financieros iniciales, puede afectar la sostenibilidad económica del proyecto (Caicedo, 2024).

7.6. Oportunidades estratégicas

La evolución del marco regulatorio, el creciente interés financiero y la rápida maduración de las tecnologías limpias abren un escenario propicio para que las CE pasen de proyectos piloto a iniciativas escalables que contribuyan a una transición energética justa y participativa en el país. Las oportunidades se agrupan en cuatro categorías: regulatorias, financieras, técnicas y sociales.

7.6.1. Oportunidades regulatorias

- Reconocimiento legal progresivo de las CE: La Ley 2294 de 2023, el Decreto 2236 de 2023 y la Resolución CREG 101 072 de 2025 configuran un marco jurídico que reconoce la existencia y operación de las CE, definen configuraciones técnicas (GDC, AGRC) y procedimientos simplificados de conexión y operación, evidenciando la existencia de bases legales que abren la puerta para la participación de comunidades organizadas en actividades como la

generación y uso eficiente de energía, con enfoque descentralizado y participativo (Osorio, 2025).

- Registro único y priorización territorial: la Resolución MME 40509 de 2024 crea el Registro de CE y prioriza proyectos en territorios con pobreza energética y enfoque de género, facilitando acceso a incentivos (Ministerio de Minas y Energía, 2024)
- Articulación con la Estrategia Nacional de CE y el PND 2023-2026: estos instrumentos alinean objetivos de equidad territorial, género y transición energética con la agenda regulatoria.
- Compatibilidad con programas nacionales y regionales: La Estrategia Nacional de Comunidades Energéticas y el Plan Nacional de Desarrollo promueven la integración de las CE como actores energéticos legítimos, articulándolos con metas de equidad territorial, género y transición energética (UPME, 2024).

7.6.2. Oportunidades financieras

- Cooperación internacional y sector privado: Creciente interés de entidades financieras nacionales e internacionales por financiar proyectos de transición energética y sostenibilidad, generando oportunidades para establecer mecanismos específicos para CE. Organismos multilaterales, agencias de cooperación y países aliados ofrecen recursos reembolsables y no reembolsables, donaciones en especie (como paneles solares, baterías, software y equipos) y asistencia técnica para fortalecer las capacidades locales (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024b).
- Acceso a diversos recursos públicos provenientes del sector minero-energético y de otras entidades estatales. Entre las fuentes más relevantes se encuentran los fondos FAZNI, PRONE, FOES, FENOGE e IPSE, así como el Sistema General de Regalías (SGR), que permite financiar proyectos mediante guías técnicas y presupuestales. Adicionalmente, mecanismos como Obras por Impuestos (OxI) facilitan la participación de empresas privadas en la financiación de comunidades energéticas a cambio de beneficios tributarios (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024b).
- Posibilidad de establecer convenios interadministrativos con ministerios como Educación, Salud, Agricultura y entidades territoriales, lo que permite articular esfuerzos y recursos para la implementación de soluciones energéticas comunitarias, especialmente en zonas rurales o no interconectadas (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024b).
- Potencial implementación de incentivos económicos y tributarios específicos para aumentar la viabilidad financiera de las CE (Osorio, 2025).

7.6.3. Oportunidades técnicas

- Disponibilidad creciente y reducción de costos: en tecnologías avanzadas de energías renovables y sistemas de almacenamiento energético, facilitando la adopción tecnológica en comunidades locales (DER Colombia, 2023)

- Fomento a la investigación y desarrollo: en colaboración con centros tecnológicos y universidades, impulsando innovaciones adaptadas al contexto colombiano (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024a).
- Potencial renovable diversificado: la diversidad de zonas con alta radiación solar, potencial hídrico y eólico, y la disponibilidad de biomasa permiten diseñar configuraciones híbridas ajustadas a las condiciones de cada territorio.
- Despliegue de tecnologías inteligentes: desarrollo de una hoja de ruta y regulación en curso para garantizar el despliegue de la infraestructura de medición avanzada – AMI, habilitando la operación autónoma de las CE y su participación en esquemas de agregación y servicios complementarios (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024b; Moncada et al., 2024).

7.6.4. Oportunidades Sociales

- Creciente sensibilización y aceptación social sobre los beneficios ambientales, económicos y sociales de las comunidades energéticas, lo que genera una base favorable para programas educativos y participativos efectivos (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024a; Osorio, 2025).
- Mayor disponibilidad de programas de capacitación: específicos para mejorar las capacidades técnicas y administrativas locales, fortaleciendo la autonomía comunitaria, incluyendo formación en administración, mantenimiento de soluciones energéticas y actividades productivas (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024a; Osorio, 2025).
- Interés del regulador: La CREG ha avanzado en la incorporación de comentarios del sector y mantiene un enfoque de mejora regulatoria progresiva, lo cual constituye una ventana de oportunidad para continuar ajustando las normas en función de la viabilidad real de las CE (Ministerio de Minas y Energía, 2025b).
- Demanda de participación territorial: Las CE responden a una necesidad creciente de apropiación comunitaria de la energía, especialmente en zonas con rezago estatal o altos niveles de pobreza energética. Este contexto favorece el surgimiento de liderazgos locales y redes de colaboración interinstitucional (Caicedo, 2024; Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, 2023)
- Inclusión de grupos históricamente excluidos: Las políticas recientes promueven la participación de mujeres, comunidades étnicas y jóvenes en las estructuras de gobernanza de las CE, lo que potencia el empoderamiento y la equidad en la toma de decisiones (Ministerio de Minas y Energía, 2023).
- Redes de aprendizaje colectivo: La colaboración entre universidades, centros de investigación, ONGs y gobiernos locales ofrece espacios para la formación técnica y organizativa, así como para la sistematización de experiencias y la innovación social (Parreño et al., 2023).

La identificación detallada de estas barreras y oportunidades constituye una base crítica para diseñar estrategias eficaces y sostenibles que promuevan el desarrollo exitoso de comunidades energéticas en Colombia, lo cual se abordará en el Capítulo 8.

8. Formulación de estrategias para el desarrollo de las comunidades energéticas como parte de la transición energética de Colombia

A partir del análisis presentado en los capítulos previos—sobre barreras, oportunidades, experiencias internacionales y el marco normativo colombiano—este capítulo cumple con el objetivo general del trabajo: formular estrategias que viabilicen la creación, la operación y la consolidación de comunidades energéticas en el país. Las propuestas se sustentan en un enfoque realista y académico, reconociendo las capacidades actuales y los desafíos estructurales del sector eléctrico colombiano.

Las estrategias se agrupan en siete dimensiones interrelacionadas: 1) institucional-regulatoria, 2) financiera, 3) tecnológica, 4) social-participativa, 5) territorial-diferencial, 6) ambiental-sostenible y 7) seguimiento y evaluación.

8.1. Estrategias institucionales y regulatorias

a) Consolidar un marco normativo integral y coherente que reconozca a las comunidades energéticas como actores legítimos del sistema eléctrico, con derechos y obligaciones claras. Esto implica armonizar las disposiciones de la Ley 2294 de 2023, el Decreto 2236 de 2023 y las resoluciones de la CREG, UPME y MEM, eliminando vacíos y contradicciones normativas (Colombia Inteligente et al., 2021; Osorio, 2025).
b) Establecer una figura jurídica específica para las comunidades energéticas, que facilite su constitución, operación y acceso a beneficios tributarios y financieros. Esta figura debe contemplar modelos asociativos flexibles, como cooperativas, asociaciones o empresas comunitarias, con gobernanza democrática y participación inclusiva (Osorio, 2025).
c) Crear una ventanilla única digital para el registro, la legalización y la conexión de comunidades energéticas, que integre trámites ambientales, técnicos, comerciales y sociales, reduciendo tiempos y costos administrativos (Colombia Inteligente et al., 2021; Osorio, 2025).

8.2. Estrategias financieras

a) Desarrollar instrumentos financieros diversificados y accesibles que soporten la inversión en infraestructura y operación, garantizando la sostenibilidad económica y la distribución equitativa de beneficios (Osorio, 2025).
a) Constituir fondos de garantía y líneas de crédito con tasas preferenciales, períodos de gracia y garantías adaptadas a la realidad de las CE (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024b; Osorio, 2025).
b) Establecer incentivos fiscales, como exenciones temporales o permanentes de impuestos locales y nacionales, para los proyectos certificados como comunidades energéticas, incentivando así su creación y desarrollo (Caicedo, 2024; Osorio, 2025).
c) Diseñar mecanismos de financiamiento blando y mixto, que combinen recursos públicos (FAZNI, FENOGE, SGR), cooperación internacional y banca de desarrollo, con participación

del sector privado mediante esquemas como Obras por Impuestos (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024b).

8.3. Estrategias tecnológicas

a) Impulsar la adopción de infraestructuras tecnológicas y sistemas de información que optimicen la operación de las comunidades energéticas, faciliten la gestión de la demanda y aseguren la transparencia en el intercambio de energía y datos (DER Colombia, 2023; Osorio, 2025).
b) Promover el despliegue de tecnologías apropiadas y resilientes, como sistemas fotovoltaicos, microrredes híbridas, almacenamiento distribuido y plataformas digitales de gestión energética, adaptadas a las condiciones locales.
c) Extender la infraestructura de medición avanzada (AMI) en zonas urbanas y rurales.
d) Fomentar la investigación, desarrollo e innovación (I+D) en soluciones energéticas comunitarias, mediante alianzas entre universidades, centros tecnológicos, empresas y comunidades, con enfoque territorial y de género (DER Colombia, 2023).

8.4. Estrategias sociales y participativas

a) Implementar programas formativos continuos dirigidos a líderes comunitarios, mujeres, jóvenes y comunidades étnicas para fortalecer las capacidades técnicas, administrativas y de liderazgo (Caicedo, 2024).
a) Diseñar mecanismos de gobernanza participativa, transparente y democrática, que garanticen la representación equitativa de los actores locales en la toma de decisiones, la distribución de beneficios y la rendición de cuentas (Osorio, 2025)
b) Implementar campañas de sensibilización y educación energética, que promuevan la apropiación social de los proyectos, el cambio cultural hacia el uso eficiente de la energía y la corresponsabilidad en la transición energética (DER Colombia, 2023).

8.5. Estrategias territoriales y diferenciales

a) Priorizar la implementación de comunidades energéticas en Zonas No Interconectadas (ZNI), territorios étnicos y regiones con alta pobreza energética, como instrumento de equidad territorial y justicia energética.
b) Adaptar las estrategias a las condiciones geográficas, climáticas, culturales y socioeconómicas de cada territorio, mediante diagnósticos participativos, planes energéticos locales y modelos de negocio diferenciados.
c) Articular las comunidades energéticas con los planes de desarrollo territorial, los programas de reactivación económica y las políticas de adaptación al cambio climático, para maximizar su impacto transformador.

8.6. Estrategias ambientales y sostenibles

a) Incorporar evaluaciones ambientales participativas en los procesos de planificación y operación de CE, asegurando la protección del medio ambiente y la biodiversidad local, así como una adecuada integración comunitaria.
b) Promover guías detalladas y protocolos claros de buenas prácticas ambientales y operativas para la implementación y gestión de proyectos energéticos comunitarios, garantizando su sostenibilidad ambiental y social.

8.7. Estrategias de seguimiento y evaluación

a) Establecer una plataforma digital centralizada que permita el monitoreo y la evaluación continua del desempeño económico, social y ambiental de las comunidades energéticas, facilitando ajustes oportunos y la replicabilidad de experiencias exitosas.
b) Crear un sistema robusto de indicadores específicos para medir el impacto social, ambiental y económico de las CE, que facilite la evaluación periódica y continua del cumplimiento de los objetivos estratégicos y las metas nacionales (Ministerio de Minas y Energía et al., 2024b).

8.8. Conclusión

En Colombia persisten tres núcleos de barreras: i) incertidumbre normativa; ii) limitaciones de capital; iii) brechas de capacidades técnicas. No obstante, la ampliación de incentivos tributarios para las energías renovables y la expansión de las redes inteligentes ofrecen un contexto propicio para avanzar.

Las estrategias formuladas en este capítulo constituyen una hoja de ruta integral para el desarrollo de comunidades energéticas en Colombia, alineadas con los principios de sostenibilidad, equidad y participación.

Su implementación requiere voluntad política, coordinación interinstitucional, innovación regulatoria y compromiso comunitario. Las comunidades energéticas no solo son una solución técnica para diversificar la matriz energética, sino también una herramienta poderosa para democratizar el acceso a la energía, fortalecer el tejido social y construir un modelo de desarrollo más justo y resiliente.

Este capítulo aporta insumos concretos para la acción pública, la inversión privada y la movilización ciudadana en torno a una transición energética justa, descentralizada y con rostro humano. La implementación efectiva de estas estrategias permitirá a las comunidades energéticas consolidarse como un modelo esencial en la transición energética justa en Colombia, asegurando beneficios claros en términos de acceso democrático a la energía, fortalecimiento social, desarrollo económico local y sostenibilidad ambiental.

9. Conclusiones

9.1. Conclusiones generales del Trabajo Final o Tesis

Este trabajo de grado evidenció que las comunidades energéticas constituyen una herramienta estratégica para avanzar en la transición energética justa en Colombia. A través de un enfoque multidimensional, se identificaron barreras, oportunidades y estrategias que permiten viabilizar su implementación en contextos urbanos, rurales y no interconectados.

La investigación demostró que, más allá de su aporte técnico, las comunidades energéticas fortalecen la participación ciudadana, democratizan el acceso a la energía y promueven el desarrollo territorial sostenible.

9.2. Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos

9.2.1. Objetivo específico 1

"Identificar el estado actual y los desafíos de la transición energética en Colombia".

Este objetivo se abordó en el Capítulo 5, donde se evidenció que Colombia ha avanzado en la diversificación de su matriz energética, con un crecimiento significativo de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), especialmente la solar.

Sin embargo, persisten desafíos estructurales, como la cobertura incompleta en zonas no interconectadas (ZNI), la pobreza energética multidimensional y la necesidad de una transición justa que no reproduzca las desigualdades históricas.

Se concluye que las comunidades energéticas pueden ser el punto de articulación entre descarbonización y equidad, al facilitar la propiedad colectiva, la participación ciudadana y la apropiación territorial de la energía.

Además, se identificó que la transición energética en Colombia requiere una articulación multisectorial que incluya el transporte, la industria y las edificaciones, lo cual refuerza el papel de las comunidades energéticas como catalizadores de cambio en diversos frentes. La implementación de estas comunidades puede contribuir a cerrar brechas territoriales, reducir emisiones y generar empleo local, consolidando así una transición energética justa y sostenible.

9.2.2. Objetivo específico 2

"Caracterizar experiencias internacionales para el desarrollo de comunidades energéticas".

Este objetivo se desarrolló en el Capítulo 6, mediante el análisis comparativo de casos en Italia, España y América Latina. Se identificaron modelos exitosos de gobernanza público-comunitaria, tecnologías apropiadas, como la fotovoltaica distribuida y las microrredes híbridas, y beneficios como el ahorro energético, la reducción de emisiones y el empoderamiento ciudadano.

Las lecciones aprendidas incluyen la necesidad de ventanillas únicas, incentivos diferenciados, formación técnica local y marcos normativos claros. Estas experiencias ofrecen insumos valiosos para adaptar modelos replicables al contexto colombiano, especialmente en territorios vulnerables.

Adicionalmente, se evidenció que la participación ciudadana y la apropiación social de la energía son elementos clave para el éxito de las comunidades energéticas. La integración de criterios de equidad, sostenibilidad y resiliencia en el diseño de estos modelos permite fortalecer el tejido social y garantizar la viabilidad a largo plazo de los proyectos. Estas experiencias internacionales sirven como referencia para construir un marco normativo y operativo robusto en Colombia.

9.2.3. Objetivo específico 3

"Identificar barreras y oportunidades en la implementación de comunidades energéticas".

Este objetivo se abordó en el Capítulo 7, donde se clasificaron las barreras en cuatro categorías: regulatorias, técnicas, sociales y financieras. Se identificaron vacíos normativos, infraestructura limitada, baja alfabetización energética y dificultades de acceso a financiamiento.

Paralelamente, se reconocieron oportunidades estratégicas como el reconocimiento legal progresivo, el interés de la cooperación internacional, la disponibilidad tecnológica y el creciente empoderamiento comunitario. Estas condiciones habilitantes permiten transformar las barreras en catalizadores de cambio, siempre que se articulen políticas públicas, instrumentos financieros y procesos participativos.

También se destacó la importancia de establecer mecanismos de gobernanza democrática, programas de formación técnica y esquemas de financiamiento adaptativos para superar las barreras identificadas. La articulación de estos elementos es fundamental para garantizar la sostenibilidad operativa y el impacto social de las comunidades energéticas en Colombia.

9.3. Objetivo general

"Formular estrategias para el desarrollo de las comunidades energéticas como parte de la transición energética de Colombia".

Este objetivo se cumplió en el Capítulo 8, donde se propusieron estrategias agrupadas en siete dimensiones: institucional-regulatoria, financiera, tecnológica, social-participativa, territorial-diferencial, ambiental-sostenible y seguimiento-evaluación. Las estrategias incluyen la creación de una figura jurídica específica, ventanillas únicas, fondos de garantía, el despliegue de tecnologías resilientes, programas de formación y mecanismos de gobernanza democrática.

Se concluye que la implementación efectiva de estas estrategias permitirá consolidar a las comunidades energéticas como actores clave de la transición energética justa en Colombia.

9.4. Trabajos Futuros

Los resultados de esta investigación abren múltiples líneas de trabajo futuro, comenzando por la profundización del análisis de viabilidad económica de las comunidades energéticas. Si bien se identificaron indicadores de retorno y modelos de financiación, es necesario desarrollar simulaciones detalladas del costo total de propiedad que incluyan factores como la depreciación de activos, los costos de reciclaje y las externalidades positivas.

Asimismo, la valoración económica deberá incorporar metodologías de contabilidad de costos sociales, considerando beneficios intangibles como la cohesión comunitaria, el empoderamiento ciudadano y la reducción de vulnerabilidad energética, tales como:

- ***Evaluación piloto de comunidades energéticas en ZNI, con enfoque en microrredes híbridas y participación comunitaria:*** Estos pilotos podrían permitir validar modelos de gobernanza comunitaria, esquemas tarifarios diferenciados y mecanismos de participación ciudadana en contextos de baja densidad poblacional y de infraestructura limitada. La experiencia obtenida será clave para escalar soluciones replicables en otras Zonas No Interconectadas del país, contribuyendo a cerrar brechas de acceso y fortalecer la resiliencia energética territorial.

- ***Desarrollo de modelos financieros adaptativos, que integren leasing social, fondos semilla y esquemas de obras por impuestos***: Estos modelos podrían incluir esquemas de financiamiento colectivo, alianzas público-comunitarias y mecanismos de mitigación de riesgos para atraer inversión privada. Su diseño debe considerar la capacidad de pago de las comunidades y la sostenibilidad operativa de los proyectos a largo plazo, incorporando criterios de equidad, eficiencia y corresponsabilidad en la gestión de recursos.

10. Referencias

Ahmed, S., Ali, A., & D'Angola, A. (2024). A review of renewable energy communities: Concepts, scope, progress, challenges, and recommendations. *Sustainability*, *16*(5), 1749. https://doi.org/10.3390/su16051749

Aruta, G., Ascione, F., Bianco, N., Bindi, L., De Rossi, F., & Manniti, G. (2023). From consumers to prosumers: The rise of energy communities and their role in the energy transition. *2023 8th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 1-6. https://doi.org/10.23919/SpliTech58164.2023.10193292

Baigorrotegui, G., & Chemes, J. (2023). Comunidades energéticas latinoamericanas. Sostenedoras de transiciones que mantienen y reparan la vida. *Energía y Equidad*, (6), 5-13.

Barrios Solares Patrimoniales. (2019). Comuna Energética. https://www.comunaenergetica.cl/producto/barrios-solares-patrimoniales/

Bellini, F., Campana, P., Censi, R., Di Renzo, M., & Tarola, A. M. (2024). Energy communities in the transition to renewable sources: Innovative models of energy self-sufficiency through organic waste. *Energies*, *17*(15), 3789. https://doi.org/10.3390/en17153789

Blečić, I., Carrus, A. S., Congiu, E., Desogus, G., Muroni, E., & Saiu, V. (2025). Renewable energy communities design: A decision support tool for integrated impact assessment. Insights from the first REC in Cagliari, Italy. *Journal of Cleaner Production*, *510*, 145600. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145600

Boletín Oficial del Estado. (2019, abril 6). *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.* Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244

Boletín Oficial del Estado. (2020). *Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.* https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-6621

Bustos, J., Sepúlveda, A., & Triviño, K. (2015). *Zonas No Interconectadas Eléctricamente en Colombia: Problemas y perspectiva*.

Caicedo, D. (2024). Los desafíos de la regulación para la implementación de las comunidades energéticas en Colombia. *Universidad Externado de Colombia.* https://doi.org/10.57998/bdigital/handle.001.2708

Cavallaro, E., Sessa, M. R., & Malandrino, O. (2023). Renewable energy communities in the energy transition context. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *13*(3), 408-417. https://doi.org/10.32479/ijeep.14230

Chavarry, D. P., & Revinova, S. Y. (2025). Energy transition as a path to sustainable development in Latin American countries. *Unconventional Resources*, *6*, 100157. https://doi.org/10.1016/j.uncres.2025.100157

Chaves, N. H. R. (2020). *Enegia solar nas favelas do município do Rio de Janeiro: Iniciativas exitosas?*

Colegios Solares de Renca. (2020). Comuna Energética. https://www.comunaenergetica.cl/producto/colegios-solares-de-renca/

Collazos, D. Q., Gutiérrez, S. M. T., Agudelo, L. A. V., & Díaz, S. S. (2023). *Informe sectorial de la prestación del servicio de energía electrica 2023*.

Colombia Inteligente, Molina, J., Buitrago, L., Giraldo, S., Téllez, S., & Florez, M. (2021). *Recomendaciones para el desarrollo de Comunidades Energéticas*.

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2025a). *DOCUMENTO CREG-901 079 de 2025*. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/originales/Resoluci%C3%B3n_CREG_101_072_2025/DOCUMENTO_CREG_901_079.pdf

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2025b). *Resolución CREG 101_72 de 2025*. Alejandría CREG. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_101-72_2025.htm

Cooperativa Energética Educacional. (2019). Comuna Energética. https://www.comunaenergetica.cl/producto/cooperativa-energetica-educacional/

Corsini, A., Delibra, G., Pizzuti, I., & Tajalli-Ardekani, E. (2023). Challenges of renewable energy communities on small Mediterranean islands: A case study on Ponza island. *Renewable Energy*, *215*, 118986. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118986

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2024). *DANE - Encuesta nacional de calidad de vida (ECV) 2024*. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2024

Departamento Nacional de Planeación, D. N. de P. (2023). *Ley_2294_del_19_de_mayo_de_2023*. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portalDNP/PND-2023/Ley_2294_del_19_de_mayo_de_2023.pdf

DER Colombia. (2023). *Comunidades energéticas: Retos para la participación y su sostenibilidad*. https://colombiainteligente.org/tienda/

Echeverry, L. M., & Ortiz, M. C. (2024). *Modelo económico para la implementación de comunidades energéticas en Colombia*.

Esquivel, C. L., & Toro, G. L. (2024). Multidimensional energy poverty in Colombia: A department-level review from 2018 to 2022. *Heliyon*, *10*(14), e34395. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34395

Galindo, A. L., Mendoza, L. S., Ardila, S., & Osorio, G. (2025). Key aspects and challenges for successful energy communities: A comparative analysis between Latin America and developed countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *216*, 115687. https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115687

Godinho, C., De Vivero, G., & de Grandpré, J. (2024). *A just transition in Colombia*. New Climate. https://newclimate.org/sites/default/files/2024-03/A%20just%20transition%20in%20Colombia_mar2024.pdf

Hassan, Q., Viktor, P., J. Al-Musawi, T., Mahmood Ali, B., Algburi, S., Alzoubi, H. M., Khudhair Al-Jiboory, A., Zuhair Sameen, A., Salman, H. M., & Jaszczur, M. (2024). The renewable energy role in the global energy Transformations. *Renewable Energy Focus*, *48*, 100545. https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100545

Heinemann, G., Ramírez, A., Alidadi, P., & Hirschhausen, C. V. (2024). *From vision to action: Building sustainable energy communities in Colombia*. https://trajects.org/resource-library/item/172

Husiev, O., Arrien, O. U., & Enciso-Santocildes, M. (2025). Spatial analysis of energy communities and energy vulnerabilities in Spain. *Utilities Policy*, *95*, 101954. https://doi.org/10.1016/j.jup.2025.101954

Huybrechts, B., Pérez, M., Cobeña, M., & Sánchez, I. (2024). Energy co-operatives in Spain: The role of social enterprises in the energy transition. *Futures*, *160*, 103381. https://doi.org/10.1016/j.futures.2024.103381

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, I. (2023, julio). *Guía documental para la orientación de la inversión privada en ZNI*. https://ipse.gov.co/documento_prensa/documento/publicaciones/2023/GU%C3%8DA%20INVERSI%C3%93N%20PRIVADA%202023.pdf

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, I. (2025). Caracterización Energética de las ZNI. *IPSE-CNM*. https://ipse.gov.co/cnm/caracterizacion-de-las-zni/

International Energy Agency. (2024a). *Access to electricity – SDG7: Data and Projections – Analysis*. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity

International Energy Agency. (2024b). *SDG7: Data and Projections*. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections

International Renewable Energy Agency, I. (2025). *Renewables in 2024: 5 Key Facts Behind a Record-Breaking Year*. https://www.irena.org/News/articles/2025/Apr/Renewables-in-2024-5-Key-Facts-Behind-a-Record-Breaking-Year?

Jochemsen, N., Mees, H., & Akerboom, S. (2024). Renewable energy communities: Democratically legitimate agents in governing the energy transition? *Energy Research & Social Science*, *117*, 103732. https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103732

Krug, M., Di Nucci, M. R., Schwarz, L., Alonso, I., Azevedo, I., Bastiani, M., Dyląg, A., Laes, E., Hinsch, A., Klāvs, G., Kudreņickis, I., Maleki, P., Massa, G., Meynaerts, E., Pappa, S., & Standal, K. (2023). Implementing European Union Provisions and Enabling Frameworks for Renewable Energy Communities in Nine Countries: Progress, Delays, and Gaps. *Sustainability*, *15*(11), 8861. https://doi.org/10.3390/su15118861

Marino, C., Nucara, A., Panzera, M. F., & Pietrafesa, M. (2024). Energetic and economic advantages of energy communities: A case study referred to a southern Italian town. *Energy Reports*, *12*, 6072-6081. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.11.078

Medina-Reyes, M. F., Fajardo-Cuadro, J. G., & Martinez-Santos, J. C. (2025). Driving the development of energy communities in Colombia: Challenges and opportunities for a decentralized energy transition. *Revista Hábitat Sustentable*, 10-19. https://doi.org/10.22320/07190700.2025.15.01.01

Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Misión de transformación energética y modernización de la industria eléctrica: Hoja de ruta para la energía del futuro*. https://www.minenergia.gov.co/documents/9180/Resumen_MTE_primera_fase_VF_2.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2023). *Decreto 2236 de 2023*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=227230

Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Resolución 40509 de 2024 MME*. https://normograma.mintic.gov.co/mintic/compilacion/docs/resolucion_minminas_40509_2024.htm

Ministerio de Minas y Energía. (2025a). *Hoja de Ruta de Transición Energética Justa*. https://minenergia.gov.co/documents/13272/Hoja_de_ruta_transicion_energetica_justa_TEJ_2025.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2025b, abril). *La CREG aprueba resolución para regular las Comunidades Energéticas y transformar el mercado eléctrico en Colombia*. Minenergia. https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/la-creg-aprueba-resoluci%C3%B3n-para-regular-las-comunidades-energ%C3%A9ticas-y-transformar-el-mercado-el%C3%A9ctrico-en-colombia/

Ministerio de Minas y Energía, Morales, O. A. C., Torres, N. J. V., Peña, N. M. R., Orrego, S. G., & Aponte, J. E. (2024a). *Manual de gestión de comunidades energéticas*.

Ministerio de Minas y Energía, Morales, O. A. C., Torres, N. J. V., Peña, N. M. R., Orrego, S. G., & Aponte, J. E. (2024b). *Metodología general de la estrategia nacional de comunidades energéticas.* https://www.minenergia.gov.co/documents/13312/Metodologia-General-Estrategia-Nacional-Comunidades-Energeticas-2024.pdf

Ministerio de Minas y Energía, Urrego, G. P., Mina, F. M., Torres, I. V., Durán, C. A. D., Gómez, K. J. R., Penagos, F. G., Benítez, P. Y. F., Mosquera, H. J. A., Moreno, L. D. C., Forero, Á. M. S., Tovar, M. Á. C., Rodríguez, T. R., & Torres, N. J. V. (2023). *Escenarios nacionales Transición Energética Justa*.

Moncada, F. L., Aristizábal, A. J., Banguero, E., & Dyner, I. (2024). Energy management scenarios in off-grid regions: Applications in Colombia, using the day-ahead mechanism. *Energy*, *313*, 133789. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133789

Montalvo, J. M., & Lasso, A. P. (2024). Energy access sustainability criteria definition for Colombian rural areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *189*, 113922. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113922

Moretti, E., & Stamponi, E. (2023). The renewable energy communities in Italy and the role of public administrations: The experience of the municipality of Assisi between challenges and opportunities. *Sustainability*, *15*(15), 11869. https://doi.org/10.3390/su151511869

Mucktafi, N. (2023). *Comunidades energéticas en Colombia, una apuesta por la democratización energética*. PARES. https://www.pares.com.co/post/comunidades-energéticas-en-colombia-una-apuesta-por-la-democratización-energética

Musolino, M., Maggio, G., D'Aleo, E., & Nicita, A. (2023). Three case studies to explore relevant features of emerging renewable energy communities in Italy. *Renewable Energy*, *210*, 540-555. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.094

Olivero, S., Ghiani, E., & Rosetti, G. L. (2021). The first Italian Renewable Energy Community of Magliano Alpi. *2021 IEEE 15th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, 1-6. https://doi.org/10.1109/CPE-POWERENG50821.2021.9501073

Osorio, D. (2025). *Viabilidad de las comunidades energéticas en el sistema interconectado nacional de Colombia*. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/87718

Palm, J. (2023). Energy communities as accelerators of energy transition in cities. En K. McCormick, J. Evans, Y. Voytenko Palgan, & N. Frantzeskaki (Eds.), *A Research Agenda for Sustainable Cities and Communities* (pp. 69-80). Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781800372030.00013

Parreño, A., Ramallo, A. P., Chinchilla, M., & Molina, A. (2023). Community energy solutions for addressing energy poverty: A local case study in Spain. *Energy and Buildings*, *296*, 113418. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113418

Pérez, B., Díaz, M. del P., & Cambronero, L. (2023). Comunidades energéticas y patrimonio cultural: El caso del barrio del Realejo (Granada). *Geografía: cambios, retos y adaptación: libro de actas. XXVIII Congreso de la Asociación Española de Geografía, Logroño, 12 al 14 de septiembre de 2023, 2023, ISBN 978-84-09-53925-3, págs. 1067-1076*, 1067-1076. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9074734

Prado, I. C. (2025). *Impacto de comunidades energéticas en la equidad de género en Zonas No Interconectadas del caribe colombiano*.

Prosumidores Solares. (2019). Comuna Energética. https://www.comunaenergetica.cl/producto/prosumidores-solares/

Ramírez, A., Duque, L., Rodríguez, M., España, J., & Cárdenas, J. (2023). *Guía para desarrollar comunidades energéticas en Colombia.*

Rodríguez, C. R., & Anuzis, A. J. (2021). Potencialidad para la implementación de comunidades energéticas sustentables en la provincia de Córdova, Argentina. *ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*, *5*(2), Article 2. (Argentina).

Sánchez, J., & Gómez, J. (2022). *Comunidades energéticas: Casos de estudio*. 125.

Sarcina, A., & Canesi, R. (2023). Renewable energy community: Opportunities and threats towards green transition. *Sustainability*, *15*(18), 13860. https://doi.org/10.3390/su151813860

Shyu, C.-W. (2025). Energy justice-based community acceptance of local-level energy transition to solar photovoltaic energy. *Energy Reports*, *13*, 609-620. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.12.029

Sinergox XM. (2025). *Listado_Recursos_Generacion.xlsx*. Sinergox. https://sinergox.xm.com.co/_layouts/15/WopiFrame.aspx?sourcedoc={CA2AAC95-83D2-4573-AEB9-42C0CC10780C}&file=Listado_Recursos_Generacion.xlsx&action=default

Standal, K. (2023). Can renewable energy communities enable a just energy transition? Exploring alignment between stakeholder motivations and needs and EU policy in Latvia, Norway, Portugal and Spain. *Social Science*.

Superintendencia Servicios Públicos Domiciliarios. (2023). *VIII Encuentro de Zonas No Interconectadas—ZNI: Hacia la transición energética justa |*. https://www.superservicios.gov.co/Sala-de-prensa/noticias/viii-encuentro-de-zonas-no-interconectadas-zni-hacia-la-transicion-energetica-justa

Teng, Q., Wang, X., Hussain, N., & Hussain, S. (2025). Maximizing economic and sustainable energy transition: An integrated framework for renewable energy communities. *Energy*, *317*, 134544. https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134544

Toro, K. A. (2024). *Transición energética: Procedimiento para la asignación de capacidad de transporte para las comunidades energéticas garantizando la confiabilidad y seguridad del Sistema Interconectado Nacional- SIN*.

Ulloa, L. F. (2024). Marco conceptual regulatorio de la transición minero-energética justa y comunidades energéticas en Colombia. *Revista de la Facultad de Derecho de México*, *74*(289), 207-234. https://doi.org/10.22201/fder.24488933e.2024.289.88994

Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). *Ley 1715 de 2014*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353

Unidad de Planeación Minero Energética. (2024). *Resolución 501 de 2024 UPME*. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_upme_0501_2024.htm

Unidad de Planeación Minero Energética. (2025). *Fuentes No Convencionales de Energía Renovable—FNCER*. https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fncer/

XM. (2025). *En el cuarto trimestre, 37 proyectos de transmisión y 67 de generación ingresaron para fortalecer el Sistema Interconectado Nacional | Portal XM*. XM. https://www.xm.com.co/noticias/7491-en-el-cuarto-trimestre-37-proyectos-de-transmision-y-67-de-generacion-ingresaron-para

Zagaria, M., Fiorini, C., Mancini, F., & Clemente, C. (2024). Energy Communities and Requalification - Towards Energy Transition and Self-Sufficiency: A “Challenge” for the Olympic Village. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *19*(10), 3729-3735. https://doi.org/10.18280/ijsdp.191003