UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Viabilidad de las comunidades energéticas en el sistema interconectado nacional de Colombia

Dayana Osorio Uribe

Trabajo Final presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Maestría en Ingeniería – Sistemas Energéticos

Director:

PhD Carlos Jaime Franco Cardona

Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Facultad de Minas

Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión

Medellín, Colombia

2025

Resumen

Este Trabajo Final se centra en estudiar la implementación de comunidades energéticas en Colombia, abordando aspectos regulatorios, técnicos y normativos. El problema real identificado es la necesidad de promover la transición hacia una energía más sostenible y justa en el país. Los avances en la resolución del problema incluyen la evolución del marco regulatorio para permitir que los consumidores se conviertan en prosumidores, generando, almacenando y compartiendo energía dentro de comunidades energéticas. Sin embargo, se reconocen limitaciones como barreras institucionales y obstáculos financieros que dificultan la implementación efectiva de estas iniciativas.

El objetivo general del documento es evaluar desde una perspectiva institucional los marcos normativos y regulatorios que respalden la creación y operación de comunidades energéticas en Colombia. La metodología propuesta implica un análisis detallado del marco regulatorio vigente, la identificación de barreras y obstáculos, el fortalecimiento de la capacidad institucional, y la promoción de la sostenibilidad y la transición energética. El principal aporte esperado de Trabajo Final de maestría es proponer estrategias para que las comunidades puedan producir, consumir y gestionar su propia energía renovable, contribuyendo así a la sostenibilidad energética y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia.

Palabras Clave

Comunidades energéticas, Colombia, Marco regulatorio, Prosumidores, Energía renovable.

Title

Viability of energy communities in the national interconnected system of Colombia.

Abstract

This proposal focuses on studying the implementation of energy communities in Colombia, addressing regulatory, technical, and normative aspects. The real problem identified is the need to promote the country's transition towards a more sustainable and fair energy system. Progress in solving the problem includes evolving the regulatory framework to enable consumers to become prosumers and generate, store, and share energy within energy communities. However, there are recognized limitations, such as institutional barriers and financial obstacles, that hinder the effective implementation of these initiatives.

The overall objective of the document is to evaluate, from an institutional perspective, the regulatory frameworks supporting the creation and operation of energy communities in Colombia. The proposed methodology involves a detailed analysis of the current regulatory framework, identifying barriers and obstacles, strengthening institutional capacity, and promoting sustainability and energy transition. The main expected contribution of the master's thesis is to propose strategies for communities to produce, consume, and manage their own renewable energy, thereby contributing to energy sustainability and reducing greenhouse gas emissions in Colombia.

Keywords

Energy communities, Colombia, Regulatory framework, Prosumers, Renewable energy.

Tabla de contenido

Resumen 2
Palabras Clave 2
Abstract 2
Keywords 2
Tabla de contenido 3
Lista de Tablas 7
Lista de Figuras 8
Lista de abreviaturas 9
Introducción 11
Capítulo 1. Antecedentes. 13
1.1. Generalidades del Sector eléctrico colombiano 13
1.1.1. Generación de Energía: 14
1.1.2. Transmisión de Energía: 14
1.1.3. Distribución de Energía: 15
1.1.4. Comercialización: 15
1.1.5. Usuarios Finales: 16
1.1.6. Entidades de dirección, planeación, regulación, operación, control y vigilancia. 16
1.2. Las Comunidades Energéticas 18
Capítulo 2. Marco teórico. 21
2.1. Marco Regulatorio 21
2.1.1. Leyes y Resoluciones relevantes: 21
2.1.2. Contrato y Protección al Usuario 23
2.1.3. Evolución del marco regulatorio 23
2.1.4. Agregadores del mercado 24
2.2. Marco técnico 24
2.2.1. Generación Distribuida: 25
2.2.2. El almacenamiento de energía: 25
2.2.3. La gestión inteligente de la demanda: 25
2.2.4. Microrredes: 25

Capítulo 3. Revisión de Literatura 27
Capítulo 4. Objetivos y Metodología 35
4.1. Objetivos 35
4.1.1. Objetivo general 35
4.1.2. Objetivos específicos 35
Caracterizar marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en países seleccionados. 35
4.2. Metodología 35
4.3. Caracterizar marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en países seleccionados. 35
4.4. Identificar barreras, obstáculos institucionales y regulatorios que enfrentan las comunidades energéticas para su establecimiento y operación en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia. 36
4.5. Evaluar el impacto financiero que tendría para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional de Colombia su cambio a comunidad energética. 36
4.6. Proponer estrategias para viabilizar las comunidades energéticas en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia. 37
Capítulo 5. Caracterización de marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en países seleccionados. 38
5.1. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Reino Unido. 38
5.1.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico: 39
5.1.2. Contexto regulatorio y de mercado de las comunidades energéticas: 39
5.1.3. Iniciativas de comunidades energéticas: 40
5.1.4. Desafíos y oportunidades: 43
5.2. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Noruega. 44
5.2.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico: 44
5.2.2. Contexto regulatorio y de mercado: 46
5.2.3. Iniciativas de comunidades energéticas: 46
5.2.4. Desafíos y oportunidades: 48
5.3. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Estados Unidos. 49
5.3.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico: 49

5.3.2. Contexto regulatorio y de mercado: 51
5.3.3. Iniciativas de comunidades energéticas: 51
5.3.4. Desafíos y oportunidades: 54
5.4. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Australia. 55
5.4.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico: 55
5.4.2. Contexto regulatorio y de mercado: 57
5.4.3. Iniciativas de comunidades energéticas: 57
5.4.4. Desafíos y oportunidades 59
5.5. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Nueva Zelanda. 60
5.5.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico: 61
5.5.2. Contexto regulatorio y de mercado: 62
5.5.3. Iniciativas de comunidades energéticas: 63
5.5.4. Desafíos y oportunidades 64
5.6. Análisis y conclusión. 65
Capítulo 6. Barreras, obstáculos institucionales y regulatorios que enfrentan las comunidades energéticas para su establecimiento y operación en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia. 67
6.1. Comunidades Energéticas en Colombia. 67
6.1.1. Tipos de Comunidades Energéticas: 67
6.1.2. Funcionamiento de las Comunidades Energéticas: 69
6.1.3. Ejemplos de Comunidades Energéticas en Colombia en el SIN: 72
6.2. La Gestión de Energía por Parte de los Usuarios Según la Ley 142 73
6.3. Adecuaciones según el Código de Medida para Comunidades Energéticas 73
6.4. Barreras Institucionales y Regulatorias para las Comunidades Energéticas en Colombia 74
Capítulo 7. Evaluación del impacto financiero que tendría para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional de Colombia su cambio a comunidad energética. 76
7.1. Ejemplo de una Comunidad Energética en Colombia y su Impacto Financiero 76
7.1.1. Identificación de la Comunidad y sus Objetivos: 76
7.1.2. Estudio de Factibilidad: 77
7.1.3. Diseño del Modelo de Comunidad Energética: 82

7.1.4. Financiación del Proyecto: 83
7.1.5. Operación y Mantenimiento: 84
7.1.6. Transacción de Energía: 85
7.1.7. Evaluación del Impacto Financiero: 85
7.2. Propuestas para Viabilizar las Comunidades Energéticas en Colombia 91
7.2.1. Desarrollo de un Marco Regulatorio Específico: 91
7.2.2. Implementación de Incentivos Económicos: 91
7.2.3. Fortalecimiento Institucional: 92
7.2.4. Fomento de la Participación Ciudadana: 92
7.2.5. 5. Promoción de la Innovación Tecnológica: 92
7.2.6. Aprendizaje de las Mejores Prácticas Internacionales: 92
7.3. Impacto Esperado 93
Capítulo 8. Conclusiones. 94
8.1. Conclusiones generales del Trabajo Final 94
8.2. Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos 96
8.2.1. Objetivo específico 1 96
8.2.2. Objetivo específico 2 96
8.2.3. Objetivo específico 3 98
8.2.4. Objetivo general 99
8.3. Trabajo Futuro 100
Capítulo 9. Referencias 103

Lista de Tablas

Tabla 3-1. Investigaciones en Google Scholar sobre la viabilidad de las comunidades energéticas en Colombia. 27

Tabla 3-2. Investigaciones en Scopus sobre la viabilidad de las comunidades energéticas en Colombia para el Sistema Interconectado Nacional y en otros países. 30

Tabla 5-1. Hallazgos más relevantes de cada país analizado: 66

Tabla 7-1 Parámetros Básicos del proyecto solar diseñado para la comunidad energética. 79

Tabla 7-2. análisis comparativo de las dos propuestas de medición y entrega de excedentes: la generación distribuida con neteo grupal y la medición inteligente por usuario con neteo individual. 88

Tabla 7-3. análisis comparativo de los ahorros obtenidos bajo las propuestas de medición y entrega de excedentes: la generación distribuida con neteo grupal y la medición inteligente por usuario con neteo individual. 89

Lista de Figuras

Imagen 1. Resumen del Esquema Institucional del Mercado Energético de Reino Unido, Instituciones y funciones (Correa Henao, 2014). 39

Imagen 2. Elementos del modelo de negocio de una comunidad energética en Reino Unido. 43

Imagen 3. Esquema institucional del Mercado Eléctrico de Noruega..... 45

Imagen 4. Componentes del modelo de negocio de las comunidades energéticas en Noruega. 48

Imagen 5. Esquema institucional del Mercado Eléctrico de Estados Unidos 51

Imagen 6. Componentes del modelo de negocio de las comunidades energéticas en Estados Unidos..... 53

Imagen 7. Esquema institucional del Mercado Eléctrico de Australia. 56

Imagen 8. Componentes del modelo de negocio de las comunidades energéticas en Australia 59

Imagen 9. Esquema institucional del Mercado Eléctrico de Nueva Zelanda. 62

Imagen 10. Componentes del modelo de negocio de las comunidades energéticas en Nueva Zelanda. 64

Imagen 11. Constitución de una comunidad energética. 71

Imagen 12. Disponibilidad de recursos hídrico y solar para comunidades energéticas en Medellín. Tablero interactivo (MinMinas, 2024)..... 77

Imagen 13. Disponibilidad de recursos biomasa y velocidad del viento para comunidades energéticas en Medellín. Tablero interactivo (MinMinas, 2024). 78

Imagen 14. Perfil de matriz de consumo horario para dimensionamiento del proyecto 80

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
AEMC	Comisión Australiana del Mercado Energético
AEMO	Operador del Mercado de Energía de Australia
AER	Regulador Australiano de la Energía
ASIC	Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales
BETTA	British Electricity Trading and Transmission Arrangements
CE	Comunidades Energéticas
CEC	Comunidades Ciudadanas de Energía
CEP	Community Energy Programs
CON	Consejo Nacional de Operación
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
CUR	Comercializadoras de Último Recurso
DEPs	Digital Energy Platforms
ERCOT	Consejo de Fiabilidad Eléctrica de Texas
FERC	Federal Energy Regulatory Commission
FiT	Tarifas de alimentación
EMS	Energy Management System
ISA	Interconexión Eléctrica S.A.
ISO	Operadores Independientes del Sistema
kV	Kilovoltios
kWp	Kilovoltios Pico
LAC	Liquidación y Administración de Cuentas
LEM	Mercado Local de Energía
MG	Microrred
MinMinas	Ministerio de Minas y Energía
MR	Mercado Regulado
MNR	Mercado No Regulado

NEL	Ley Nacional de Electricidad
NEM	Mercado Nacional de Electricidad
NPSREG	Declaración de Política Nacional para la Generación de Electricidad Renovable
NETa	New Electricity Trading Arrangements
PEN	Plan Energético Nacional
P2P	Intercambio entre pares
PPA	Power Purchase Agreement
REC	Comunidades de Energías Renovables
RMA	Ley de Gestión de Recursos
SFV	Solar fotovoltaica
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
SWIS	South-West Interconnected System
TIES	Transacciones Internacionales de Electricidad
TNSP	Proveedores de Servicios de Red de Transmisión
TSO	Operadores del Sistema de Transmisión
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
UE	Unión Europea

Introducción

En el Trabajo Final de Maestría que a continuación se presenta, se realizó un análisis profundo del sector eléctrico colombiano y la viabilidad de implementar comunidades energéticas como una de las estrategias para promover la transición energética y la participación ciudadana en el sector.

En este contexto, se exploran los antecedentes del sector eléctrico en Colombia, destacando los cambios significativos experimentados en las últimas décadas, desde la introducción de la competencia y la inversión privada hasta la importancia de las energías renovables, a través de hacer una revisión de los aspectos regulatorios, técnicos y normativos relacionados con la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía, así como la participación de los usuarios finales en los mercados regulados y no regulados.

Con un enfoque detallado en cada etapa de la cadena de suministro eléctrico, se busca comprender cómo las comunidades energéticas pueden contribuir a la democratización de la energía, la promoción de fuentes renovables y la eficiencia energética en el país. Asimismo, se analiza el papel de las entidades regulatorias, operativas y de control en el sector eléctrico, así como los desafíos y oportunidades que enfrentan las comunidades energéticas en un contexto nacional e internacional.

En este sentido, se abordarán temas clave como la generación de energía a partir de fuentes renovables, la transmisión y distribución de electricidad, la comercialización en el mercado mayorista, y la participación de los usuarios finales en la cadena de suministro.

Para finalmente, discutir los alcances y limitaciones de las comunidades energéticas en el contexto colombiano, considerando factores institucionales, regulatorios y socioeconómicos que influyen en su desarrollo y sostenibilidad.

Este documento está organizado en varios capítulos que abordan diferentes aspectos del tema. En el Capítulo 1, se presentan los antecedentes y se define el problema a trabajar, el cual está relacionado con la necesidad de evaluar desde una perspectiva institucional los marcos normativos y regulatorios que promuevan y respalden la creación y operación de comunidades energéticas en Colombia.

En el Capítulo 2, se expone el marco teórico, donde se analiza el marco regulatorio vigente, el papel de los usuarios de energía y la figura de los agregadores del mercado, la parte técnica de la generación distribuida y microrredes, y el código de medida.

En el Capítulo 3, se realiza una revisión de literatura sobre las comunidades energéticas, incluyendo definiciones, estudios de caso, guías para la implementación de proyectos, pobreza energética, acceso a la electricidad, justicia energética, análisis económico, impacto social, comercio de energía, regulaciones, modelos de negocio, educación y formación.

Los objetivos y la metodología son elementos fundamentales que conforman el capítulo 4. Estos aspectos son la columna vertebral del trabajo a desarrollar, estableciendo las metas a alcanzar, el enfoque metodológico a seguir y la planificación temporal de las actividades.

El Capítulo 5 se centra en la caracterización del marco regulatorio e institucional aplicable y en el análisis de ejemplos internacionales, elementos fundamentales para establecer comunidades energéticas en Colombia. El Capítulo 6 identifica las barreras y obstáculos que limitan la implementación efectiva de estas comunidades, abordando desafíos regulatorios, institucionales y financieros. El Capítulo 7 evalúa el impacto financiero para los usuarios que opten por formar parte de una comunidad energética, vislumbrando los beneficios económicos potenciales. Finalmente, el Capítulo 8 presenta las conclusiones del trabajo final y las líneas de trabajo futuras.

Capítulo 1. Antecedentes.

En este capítulo se expone en una primera etapa las generalidades y características principales del sector eléctrico colombiano, mencionando los cambios significativos que ha experimentado en las últimas décadas, incluyendo la introducción de la competencia y la participación de la inversión privada, temas clave para tratar en esta propuesta.

En una segunda etapa, se articula lo anterior, con la importancia que para este sector tendría el desarrollo de comunidades energéticas como una forma de promover la transición energética y la participación ciudadana en el sector eléctrico.

1.1. Generalidades del Sector eléctrico colombiano

El sector eléctrico colombiano ha experimentado cambios significativos en las últimas décadas. Durante los años ochenta, el sector entró en crisis debido al subsidio de tarifas y la politización de las empresas estatales, lo que generó un deterioro en su desempeño. A nivel mundial, se cuestionó la eficacia de los monopolios estatales en la prestación de servicios públicos, lo que llevó a reformas en varios países, como el Reino Unido, Noruega y Chile. Estas reformas buscaban introducir competencia en el sector eléctrico, permitir la inversión privada y eliminar la integración vertical (ISA Intercolombia, 2024).

En la actualidad el sector eléctrico colombiano tiene un peso e importancia significativos en la estructura económica del país, proporcionando energía para el sector industrial, comercial y residencial, y siendo una fuente importante de generación de empleo, innovación, calidad de vida para la población, competitividad, desarrollo regional y sostenibilidad ambiental.

El SIN en Colombia es un sistema eléctrico que integra la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica a nivel nacional. Este sistema permite la interconexión de las diferentes regiones del país a través de una red de líneas de alta tensión, facilitando el transporte eficiente de la electricidad desde las plantas generadoras hasta los centros de consumo. Éste funciona a través de un esquema institucional que involucra a diferentes entidades y agentes que generan, transportan, operan, venden, vigilan, regulan y coordinan la prestación del servicio de energía eléctrica. Para entenderlo mejor, se explica a continuación la cadena de suministro y las generalidades de cada agente, que de acuerdo con las leyes 142 y 143 de 1994 permitieron la conformación de este nuevo esquema para el sector eléctrico nacional (Congreso R. , 1994), (Congreso R. , Congreso de la República, 1994).

1.1.1. Generación de Energía:

En esta actividad se produce la energía eléctrica a partir de diversas fuentes, tales como: hidroeléctrica, térmica, solar, eólica, entre otras. Según (ACOLGEN, 2024), el 68% de la capacidad instalada en Colombia proviene de fuentes renovables de energía eléctrica, lo que hace que la matriz de generación eléctrica colombiana sea una de las más limpias del mundo (ACOLGEN, 2024), (El Colombiano, 2022).

Las fuentes renovables incluyen la generación hidráulica, que representa aproximadamente el 68.3% de la capacidad instalada, seguida de la generación térmica (30.7%), la cogeneración, la generación solar y la generación eólica (Colombia, 2024) (MinMinas, 2023).

Las empresas generadoras son responsables de esta actividad y se considera un mercado abierto, es decir, que opera bajo un esquema de libre competencia, donde los generadores ofrecen su energía en subastas o contratos bilaterales, y los precios se determinan en el mercado mayorista a través de la bolsa de energía en función de la oferta y la demanda. (ACOLGEN, 2024) (SER Colombia, 2023).

Para enfrentar los desafíos de crecimiento y desarrollo del país, es necesario apostar por la diversificación de fuentes, promover proyectos renovables, desarrollar proyectos de generación de manera sostenible, modernizar la infraestructura existente y fomentar la autogeneración y la microgeneración. Estas acciones contribuirán a garantizar un suministro eléctrico confiable, competitivo y sostenible para el país (CEPAL, 2024), (Endesa Fundación, 2024), (MinMinas, 2023).

1.1.2. Transmisión de Energía:

Una vez generada, la electricidad se transmite a través de una red de líneas de alta tensión hacia los centros de consumo. En el caso de Colombia, este transporte se realiza a través de una extensa red de líneas de alta tensión que conectan las diferentes regiones del país, a niveles de voltaje de 220 kV y 500 kV (Enlaza, 2024).

La transmisión de energía en Colombia se considera un mercado de tipo regulado, donde la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), establece normativas, tarifas y condiciones para garantizar la eficiencia, la calidad y la seguridad del servicio de transmisión. (CREG, 2008), (CREG 119, 2007).

La principal empresa encargada de la transmisión de energía en Colombia es Interconexión Eléctrica S.A., que opera la mayor parte de la infraestructura de transmisión del país a través de su filial ISA Intercolombia (ISA Intercolombia, 2024). Además, existen otras empresas de transmisión regionales y locales que gestionan redes de menor escala. Estas empresas, son responsables de la operación y el mantenimiento, con el fin de garantizar un suministro

eléctrico confiable y seguro. Esto incluye la supervisión en tiempo real del flujo de energía, la gestión de contingencias y la realización de trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo en las instalaciones.

Colombia cuenta con una interconexión eléctrica activa con Ecuador. Esta interconexión permite el intercambio de energía entre los dos países, contribuyendo a la integración energética regional y la seguridad del suministro (CIER, 2017) (Santos, 2003).

1.1.3. Distribución de Energía:

Esta actividad, se refiere al proceso de llevar la electricidad de manera segura y confiable desde las subestaciones de transmisión a través de redes con voltajes inferiores a 220 kV hasta los diferentes puntos de consumo en todo el país, abasteciendo así a los usuarios finales, como hogares, comercios e industrias. Las empresas encargadas de esta tarea son responsables de la construcción y mantenimiento de redes de distribución, que incluyen líneas de distribución, subestaciones y transformadores (CREG, 2017) (Portafolio, 2022).

La distribución de energía en Colombia, al igual que el proceso de Transmisión, está regulada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que establece normativas, tarifas y condiciones para garantizar la eficiencia, la calidad y la seguridad del servicio de distribución eléctrica, adicionalmente, esta actividad es supervisada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (CREG, 2017) (CREG, 2022).

1.1.4. Comercialización:

La comercialización de energía en Colombia se refiere al proceso de compra y venta de energía eléctrica entre los generadores, comercializadores y usuarios finales. Estos agentes compran la energía en mercados mayoristas y la venden a usuarios finales, quienes tienen el derecho de elegir a la empresa comercializadora del servicio de energía según la legislación CREG 156 de 2011 (CREG, 2011).

La comercialización de energía eléctrica implica la compra de grandes cantidades de energía a los productores para venderla a los usuarios o a otras empresas del sector. Los comercializadores son responsables de comprar la energía en el mercado mayorista, trasladar sus costos a los clientes, suministrar el servicio y llevar a cabo la facturación (MinMinas, 2024) .

Este proceso, se realiza a través de la compra de energía en la bolsa, o con contratos de compra y venta con agentes comercializadores y generadores. Estos contratos establecen las condiciones de suministro de energía, incluyendo el volumen, el precio, el plazo y otros términos y condiciones comerciales. Los contratos se pueden firmar con horizontes de un día

en adelante, dependiendo de las necesidades de los participantes en el mercado (XM, 2024) (BMC, 2024).

Una vez que se realiza una transacción de energía, los comercializadores emiten facturas de consumo eléctrico a los usuarios finales, que incluyen el costo por la energía consumida, así como otros cargos por servicios adicionales y cargos regulatorios. Este proceso garantiza el suministro eficiente y competitivo de energía eléctrica a los usuarios finales en todo el país.

1.1.5. Usuarios Finales:

Los usuarios finales pueden ser de tipo residencial, comercial e industrial, entre otros, los cuales reciben el servicio de suministro de electricidad en tiempo real cubriendo de esta manera sus necesidades.

Desde el punto de vista de los usuarios existen dos tipos de mercados de energía en Colombia, el Mercado Regulado, en el que participan principalmente los usuarios residenciales, comerciales e industriales de menores consumos, y el Mercado No Regulado, dirigido a empresas u organizaciones con altos consumos de electricidad que pueden participar de manera voluntaria, negociado los componentes de Generación y Comercialización con los agentes (ACOLGEN, 2024) (Superservicios, 2024).

1.1.6. Entidades de dirección, planeación, regulación, operación, control y vigilancia.

Para garantizar el correcto funcionamiento del mercado existen varias entidades que establecen políticas generales, normas de calidad y vigilan el cumplimiento de las regulaciones existente, entidades encargadas de la dirección, planeación, regulación, operación, control y vigilancia. A continuación, se mencionan y se exponen las más relevantes:

1.1.6.1. Ministerio de Minas y Energía (MinMinas) - Dirección:

Es el ente gubernamental encargado de formular, coordinar, ejecutar y hacer seguimiento a las políticas, planes, programas y proyectos en materia de minería y energía en Colombia, incluido el sector eléctrico (MinMinas, 2024).

1.1.6.2. Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) - Planeación:

Es una entidad especializada en la planificación y desarrollo sostenible de los sectores minero y energético en Colombia. Esta unidad tiene como objetivo principal desarrollar estudios, publicaciones y metodologías relacionadas con el consumo y ahorro de energía, así como promover la transición hacia una energía más sostenible y justa (UPME, 2024).

1.1.6.3. Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) – Regulación:

Es el ente regulador del sector eléctrico colombiano. Se encarga de regular los mercados de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, así como de establecer las tarifas y condiciones para garantizar la eficiencia y la competencia en el sector. (CREG, 2024).

1.1.6.4. XM:

Es la entidad encargada de operar el sistema y administrar el mercado mayorista de energía en Colombia, facilitando la negociación y liquidación de transacciones de compra y venta de energía eléctrica entre los agentes del mercado (XM, 2024). Cuenta con algunos roles que son cruciales en la operación de aspectos específicos del mercado eléctrico colombiano, garantizando el cumplimiento de las normativas y contribuyendo a la eficiencia y transparencia en las operaciones comerciales del sector energético, a continuación, se mencionan los principales:

a. ***Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC):*** Esta entidad se encarga de administrar los procesos relacionados con los intercambios comerciales en el sector eléctrico. Sus funciones principales son liquidar y facturar los procesos de intercambio comercial en el mercado eléctrico colombiano (XM, 2024).

b. ***Liquidación y Administración de Cuentas (LAC):*** El LAC tiene la responsabilidad de administrar y liquidar las cuentas relacionadas con las redes de transmisión y distribución, conforme a las normativas establecidas (XM, 2024).

c. ***El Centro Nacional de Despacho (CND):*** en Colombia es la entidad encargada de gestionar el sistema eléctrico del país, incluyendo la operación, mantenimiento y expansión de la red de transmisión, así como la coordinación del mercado eléctrico. El CND se encarga de garantizar la fiabilidad y seguridad del sistema eléctrico, así como el uso eficiente y sostenible de los recursos. Además, supervisa y controla la operación

del mercado eléctrico, incluyendo la gestión de transacciones eléctricas y el ajuste de cuentas entre los participantes del mercado (XM, 2024).

d. ***TIES (Transacciones Internacionales de Electricidad):*** Esta entidad opera las transacciones internacionales de electricidad, asegurando que se lleven a cabo conforme a las regulaciones vigentes en este ámbito. Su función es operar y administrar las transacciones eléctricas con otros países (XM, 2024).

1.1.6.5. Consejo Nacional de Operaciones (CNO):

Es una entidad que desempeña un papel fundamental haciendo recomendaciones para la coordinación y gestión de las operaciones del sistema eléctrico, de manera que se hagan de una forma segura y eficiente (CNO, 2024).

a. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) – Control y Vigilancia:

Es la entidad encargada de supervisar y controlar la prestación de los servicios públicos domiciliarios en Colombia, incluida la energía eléctrica. Se encarga de velar por los derechos de los usuarios y de garantizar la calidad y la eficiencia en la prestación de los servicios (Superservicios, 2024).

1.2. Las Comunidades Energéticas

Las Comunidades Energéticas son grupos de personas que se unen para gestionar, producir y consumir su propia energía limpia (Tierra, 2023). Estas comunidades están basadas en la idea de la participación ciudadana y tienen como objetivo promover el uso de fuentes de energía renovables y la eficiencia energética.

En el Plan Energético Nacional 2022-2052 (MinMinas, 2023), se habla de una Transición Energética Justa para Colombia, haciendo énfasis en la democratización de la energía y una participación social vinculante, que se puede lograr a través de las Comunidades Energéticas que aprovechan las características culturales, étnicas, territoriales y productivas específicas, y permiten a los colombianos participar en la cadena de valor de la electricidad.

Sin embargo, el surgimiento de iniciativas de Comunidades Energéticas se ve altamente influenciado por los instrumentos de apoyo a las políticas y por el papel de los diferentes agentes entre las comunidades en los sectores público, privado y social (Mohammadi, 2023). Desde una perspectiva institucional, las comunidades energéticas pueden requerir el establecimiento de marcos normativos y regulatorios que promuevan su creación y

funcionamiento. Estos marcos pueden incluir incentivos fiscales, tarifas preferenciales, programas de financiamiento y apoyo técnico para facilitar la implementación de proyectos de energía renovable a nivel comunitario.

En este sentido, las instituciones de regulación del mercado pueden desempeñar un papel relevante en la promoción de la participación ciudadana y la conciencia sobre la importancia de las comunidades energéticas. Esto puede incluir campañas de sensibilización, programas de educación y capacitación, y la facilitación de espacios de diálogo y colaboración entre los diferentes actores involucrados.

En países desarrollados la implementación de políticas con objetivos ambiciosos de consumo de energía renovable y metas de reducción de emisiones ha llevado a apoyos en términos de incentivos financieros, capital con condiciones preferenciales, y acceso prioritario a la red, lo que ha proporcionado legitimidad tecnológica y política a las comunidades innovadoras. Por otro lado, en países en desarrollo, las políticas insuficientes y la falta de marcos regulatorios adecuados requieren la presencia de intermediarios como desarrolladores que trabajan entre otros actores, como proveedores de energía, usuarios o reguladores, para la iniciación de proyectos de energía comunitaria (Mohammadi, 2023).

La institucionalidad de las comunidades energéticas se basa en factores como la estabilidad y durabilidad de las estructuras locales y sociales, el apoyo de políticas nacionales y locales, la presencia de intermediarios que trabajan entre diferentes actores y la presencia de incentivos financieros y políticos para la energía renovable. Estos factores son fundamentales para la implementación y operación de proyectos de energía renovable en comunidades.

Para garantizar entonces la implementación, el desarrollo y funcionamiento adecuado de las Comunidades Energéticas, es necesario evaluar desde una perspectiva institucional los marcos normativos y regulatorios que promuevan y respalden la creación y operación de estas comunidades, para lograr así, aspectos claves como: seguridad jurídica a los participantes, acceso a financiamiento, incentivos fiscales, apoyo técnico, capacitación, promoción, difusión, monitoreo y evaluación.

Es por esto que, se propone realizar un análisis desde una perspectiva institucional y financiera a las Comunidades Energéticas en Colombia, partiendo desde el marco normativo y regulatorio existente, la identificación de barreras y obstáculos, el fortalecimiento de la capacidad institucional, la promoción de la sostenibilidad y la transición energética para así llegar a la identificación de oportunidades y soluciones y con esto, poder proponer estrategias para que las comunidades puedan producir, consumir y gestionar su propia energía renovable.

El siguiente capítulo profundizará en el marco teórico que sustenta la evaluación del impacto financiero de las comunidades energéticas en Colombia. Se explorarán conceptos clave como la generación distribuida, el autoconsumo, y la regulación energética, analizando cómo estos elementos se interrelacionan en el contexto colombiano. Este marco teórico proporcionará la

base conceptual necesaria para comprender los análisis y propuestas presentadas en los capítulos siguientes

Capítulo 2. Marco teórico.

En este capítulo se exponen diversos aspectos clave que configuran el panorama de las comunidades energéticas en Colombia. En primer lugar, se analizará el marco regulatorio vigente, que establece las normas y directrices para la operación y gestión del sector eléctrico y de estas comunidades, así como los roles y responsabilidades de los distintos actores involucrados.

Dentro de este contexto regulatorio, se examinará el papel de los usuarios de energía, quienes en su mayoría son solo consumidores, y que podrían convertirse en prosumidores que pueden generar, almacenar y compartir energía dentro de las comunidades energéticas (Moreno Castillo & Villanueva, 2022), (Agudo, 2022). Así mismo, se abordará la figura de los agregadores del mercado, actores clave en la intermediación entre los productores y consumidores de energía, facilitando la integración de múltiples fuentes de generación y la optimización del consumo (Ojeda, 2018).

Otro aspecto relevante para considerar es la parte técnica de este marco teórico donde se abordan temas como el código de medida, que establece los procedimientos y estándares para la medición y facturación de la energía dentro de las comunidades energéticas, garantizando la transparencia y equidad en el intercambio energético entre los usuarios (Enel, 2024); y la generación distribuida, y microrredes, que son componentes esenciales de las comunidades energéticas y serán analizados en profundidad, considerando su impacto en la seguridad energética y la autonomía local (Cuatrecasas, 2023), (Mendez Sánchez & Fernández Gómez , 2022).

2.1. Marco Regulatorio

2.1.1. Leyes y Resoluciones relevantes:

El marco regulatorio de Colombia está definido por la Ley 142 de 1994 (Congreso R. , Congreso de la República, 1994), que otorga a la CREG la responsabilidad de regular el sector energético. En este contexto, se establecen las modalidades para la vinculación de empresas generadoras a las redes de interconexión, además de aspectos como el contrato de servicios públicos, la propiedad de las conexiones domiciliarias, la determinación del consumo facturable, las facturas, la defensa de los usuarios y otros aspectos relacionados con la prestación del servicio (CREG, 2024).

A continuación, se mencionan algunas resoluciones claves necesarias que enmarcan el problema y que aportan a la comprensión de este:

La Resolución CREG 024 de 1995 (CREG, 1995) reglamenta los aspectos comerciales del mercado mayorista de energía en el sistema interconectado nacional, definiendo el procedimiento para la determinación del precio en la bolsa de energía.

La Resolución CREG 108 de 1997 (CREG, 1997) establece criterios generales sobre la protección de los derechos de los usuarios de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible.

La Resolución CREG 119 de 2007, (CREG, 2007) que establece las condiciones para los clientes industriales, comerciales y residenciales con demandas de energía inferiores a 55 MWh/mes o demandas de potencia inferiores a 0,1 MW, y define las condiciones contractuales, técnicas, derechos y obligaciones de ambas partes, así como el sistema de medición, facturación, calidad del servicio, y el trámite de PQR, entre otros aspectos.

La Resolución CREG 180 de 2014, (CREG, 2014) establece el cálculo mensual del costo unitario de prestación del servicio en el sector eléctrico colombiano. Este cálculo incluye componentes como el costo de compra de energía, la transmisión, la distribución, la comercialización, las pérdidas reconocidas y las restricciones. Además, la resolución define cómo se cobra la energía a los usuarios a través de la tarifa, que se determina restando el subsidio del costo unitario.

La Resolución CREG 156 de 2011 (CREG, 2011) donde se habla y se define nuevamente el concepto de Frontera agrupadora, que corresponde a una Frontera de Comercialización para agentes y usuarios y tiene por objeto la medición del cons umo de varios Usuarios. La medición aguas debajo de estos usuarios se realiza de forma individual, al igual que la facturación de sus consumos. A partir de la entrada en vigor de esta resolución, no se permite el registro de este tipo de fronteras ni la adición de usuarios al interior de esta. (Vatia S.A. E.S.P., 2024).

Código de Medida: El código de medida establece los procedimientos y estándares para la medición y facturación de la energía, garantizando transparencia y equidad en el intercambio energético entre los agentes del mercado (ATA, 2021).

La Resolución CREG-038 de 2014 (CREG, 2014) es una de las normativas que establece el código de medida en Colombia. Esta resolución establece los requisitos y condiciones para la especificación, instalación, operación y mantenimiento de los elementos del sistema de medición, así como el acceso a los equipos de bases de datos para realizar interrogaciones locales y remotas.

Es importante destacar que el código de medida es aplicable al sector energético y tiene como objetivo asegurar la precisión y confiabilidad de las mediciones de energía. Esta normativa es responsabilidad de las empresas generadoras de energía y servicios públicos, quienes deben garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos.

2.1.2. Contrato y Protección al Usuario

El Contrato de Condiciones Uniformes (CCU) en Colombia es un instrumento clave en el sector energético que regula las relaciones entre los usuarios y los comercializadores de energía eléctrica. Este documento estandarizado establece las condiciones generales y específicas bajo las cuales se presta el servicio de suministro eléctrico, asegurando la transparencia, equidad y protección de los derechos de ambas partes (Congreso R. , 1994), (Vatia S.A. E.S.P., 2024).

El CCU aborda aspectos como la tarifa aplicable, los derechos y obligaciones del usuario y del comercializador, las condiciones de facturación y pago, las responsabilidades en caso de interrupciones del servicio, así como los procedimientos para resolver conflictos y reclamaciones.

Al adoptar un enfoque uniforme, el CCU busca brindar seguridad jurídica y facilitar la comprensión y aplicación de los términos del contrato tanto para los usuarios como para los comercializadores. Además, promueve la eficiencia y competitividad del mercado eléctrico al estandarizar los procedimientos y criterios para la prestación del servicio.

2.1.3. Evolución del marco regulatorio

En Colombia, el marco regulatorio para los usuarios de energía ha evolucionado significativamente, permitiendo que pasen de ser consumidores a potenciales prosumidores, capaces de generar, almacenar y compartir energía dentro de comunidades energéticas (Marín Torres, Valencia Llanos, & Insuasti Avendaño, 2024).

El marco regulatorio actual en Colombia ha tratado de facilitar la transición hacia un sistema energético más descentralizado y colaborativo, donde la generación distribuida y las microrredes juegan un papel fundamental. (CIGRE, 2021). Los prosumidores pueden instalar sistemas de generación renovable, como paneles solares, y contribuir activamente a la producción de energía limpia. Además, la posibilidad de almacenar energía les brinda mayor autonomía y flexibilidad en la gestión de su consumo (MinMinas, 2023), (FUNCENER, 2024).

Esta transformación regulatoria no solo fomenta la adopción de tecnologías más sostenibles, sino que también promueve la eficiencia energética, la resiliencia del sistema eléctrico y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (MinMinas, 2023).

De manera adicional, en la Ley 2277 de 2022 (Congreso R. , República de Colombia, 2022), se menciona que el mercado mayorista de energía se rige por el principio de libertad de entrada y salida, permitiendo a cualquier persona ingresar al mercado con requisitos mínimos para garantizar eficiencia y seguridad.

Esta evolución parte de la vigencia de leyes como la Ley 1715 de 2014 (Congreso R. , Congreso de la República, 2014) y la Ley 2099 de 2021 (Congreso R. , Congreso de la República, 2021), que han promovido la implementación de energías renovables no convencionales y la gestión eficiente de la energía, brindando incentivos fiscales y financieros para estimular la inversión en proyectos sostenibles, además de establecer las bases para la participación de los agentes del mercado en la prestación del servicio público de energía eléctrica, incluyendo a los agregadores, concepto a tratar más adelante.

La Resolución CREG 030 de 2018 (CREG, 2018), regula la participación de los agentes en el mercado mayorista de energía, promoviendo la eficiencia y transparencia en las transacciones, establece las condiciones para que los agentes puedan participar en el mercado mayorista, asegurando la confiabilidad y estabilidad del sistema eléctrico. Asimismo, se promueve la competencia y la eficiencia en la prestación del servicio, incentivando la integración de tecnologías limpias y renovables.

2.1.4. Agregadores del mercado

En el contexto de la generación y comercialización de energía en Colombia, los agregadores son actores clave que facilitan la intermediación entre los productores y consumidores de energía. (Orozco, 2023). Su función principal es integrar múltiples fuentes de generación y optimizar el consumo dentro de las comunidades energéticas. (Rincón, 2020). Los agregadores permiten a los usuarios convertirse en prosumidores, es decir, individuos que no solo consumen energía, sino que también pueden generar, almacenar y compartir energía (Orozco, 2023).

Los agregadores desempeñan un papel fundamental al facilitar la integración de tecnologías limpias y renovables en el sistema eléctrico colombiano (ACCE, 2024). Permiten una gestión más eficiente de la energía al coordinar la generación distribuida y el consumo en tiempo real. Asimismo, promueven la competencia y la optimización del mercado al actuar como intermediarios entre los diferentes actores del sector energético (FUNCENER, 2024) (ASE, 2024).

2.2. Marco técnico

Las comunidades energéticas se basan en la idea de que los usuarios no solo consuman energía, sino que también generen, compartan y gestionen su propia electricidad (Factor Energía, 2024). Para lograr esto, se emplean tecnologías como la generación distribuida, el almacenamiento de energía, la gestión inteligente de la demanda y la eficiencia energética. (Fundación Técnica Industrial, 2022), temas que se complementan para efectos de este estudio, con las microrredes y el código de medida que, a continuación, se amplían:

2.2.1. Generación Distribuida:

La generación distribuida es un componente esencial de las comunidades energéticas, permitiendo a los usuarios generar su propia energía a pequeña escala, generalmente a partir de fuentes renovables como paneles solares o turbinas eólicas. (Proxima energía , 2024). Esta práctica no solo promueve la autonomía energética local, sino que también contribuye a la sostenibilidad y resiliencia del sistema eléctrico. (MinMinas, 2023).

De acuerdo con la resolución CREG 174-2021 (CREG, 2021), un Generador Distribuido debe ser una Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios (E.S.P.). Esto significa que, para formar una comunidad energética, los participantes deben cumplir con esta definición. Sin embargo, esta figura no se ajusta completamente a las necesidades de las comunidades, lo que dificulta su consolidación. De manera adicional, las tarifas eléctricas actuales no están diseñadas para los generadores distribuidos en comunidades energéticas. Es necesario revisar y adaptar las tarifas para fomentar la participación de estas comunidades. (Ramírez Tovar, España Forero, Duque Restrepo, & Giraldo Quiroz, 2023)

2.2.2. El almacenamiento de energía:

Es esencial para garantizar la seguridad energética y aumentar la eficiencia al permitir a las comunidades almacenar energía para uso futuro. (BBVA, 2024). Sin embargo, como este trabajo se limita al estudio de las comunidades energéticas dentro del SIN, y al estar interconectado, éste daría el respaldo necesario para garantizar la prestación del servicio de manera constante y eficiente.

2.2.3. La gestión inteligente de la demanda:

Es un concepto que se refiere a la capacidad de los usuarios de energía para gestionar y controlar su consumo de manera eficiente y flexible. Esto implica utilizar tecnologías y herramientas que permitan ajustar la demanda de energía de acuerdo con las necesidades y condiciones del sistema eléctrico. (Bragagnolo & Vaschetti, 2022).

2.2.4. Microrredes:

Las microrredes son sistemas eléctricos locales que pueden operar de forma autónoma o conectarse a la red principal. (CENER, 2024). En el contexto de las comunidades energéticas,

las microrredes juegan un papel crucial al permitir la integración de múltiples fuentes de generación y almacenamiento, facilitando así la gestión eficiente y flexible de la energía a nivel comunitario. (Fundación Endesa, 2024). Algunos aspectos clave son:

Funcionamiento Autónomo: Pueden desconectarse de la red eléctrica principal en caso de crisis o para complementar la demanda local.

Fuentes de Energía: Utilizan generadores, paneles solares, baterías u otras fuentes renovables.

Gestión Inteligente: Sistemas de software controlan los recursos y la producción según las necesidades.

Este análisis del marco teórico de las comunidades energéticas en Colombia revela la importancia crítica de la normativa y los aspectos técnicos en el desarrollo y operación efectiva de este tipo de proyectos. Esta información ha sentado las bases para abordar de manera integral los desafíos y oportunidades que surgen en la implementación de estas iniciativas innovadoras.

El siguiente capítulo presenta una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre comunidades energéticas, abarcando estudios de caso y análisis regulatorios. Se examinarán modelos de comunidades energéticas implementados en diversos contextos, con el objetivo de identificar factores críticos para su éxito y sostenibilidad.

Esta revisión literaria proporcionará un panorama completo del estado del arte en materia de comunidades energéticas, sentando las bases para el análisis y las propuestas presentadas en los capítulos posteriores

Capítulo 3. Revisión de Literatura

La revisión de literatura tiene como objetivo principal establecer un marco teórico sólido que sustente la propuesta de viabilidad de las comunidades energéticas en el contexto del Sistema Interconectado Nacional de Colombia.

A través de un análisis exhaustivo y crítico de la literatura especializada en el campo de las energías renovables, la sostenibilidad energética y los modelos de gestión comunitaria, este capítulo se propone no solo fundamentar conceptualmente la propuesta investigativa, sino también identificar las mejores prácticas, lecciones aprendidas y desafíos existentes en la implementación de iniciativas similares a nivel nacional e internacional.

De esta manera, se busca no solo enriquecer el corpus teórico que sustenta el estudio, sino también orientar la formulación de estrategias efectivas y contextualizadas que impulsen la viabilidad y adopción masiva de las comunidades energéticas en el contexto colombiano.

Se presenta en la Tabla 3-1 una primera revisión a través de Google Scholar (Google Scholar, 2024) acotando la búsqueda a la viabilidad de las comunidades energéticas en Colombia.

Tabla 3-1. Investigaciones en Google Scholar sobre la viabilidad de las comunidades energéticas en Colombia.

Investigación	Objetivo	Elementos evaluados	Metodología
(Barrera , Escobar, Maiguashca , & Rudnick, 2019)	Analizar la viabilidad y conveniencia de introducir competencia en el sector eléctrico colombiano	La competencia está relacionada con el número de competidores rentables en un sector, influenciado por la oferta (tecnología), la demanda (tamaño del mercado) y las barreras a la entrada.	Enfatiza la importancia de una regulación adecuada y de mecanismos que promuevan la competencia y la eficiencia en el sector energético para beneficiar a los usuarios finales y garantizar un mercado equitativo y transparente
(Cárdenas Álvarez, y otros, 2021)	Comprender el papel de las comunidades energéticas en la transición energética justa y explorar los desafíos y oportunidades que enfrentan en	Diferentes aspectos relacionados con las comunidades energéticas, incluyendo sus definiciones, estudios de caso, guías para la implementación de proyectos, pobreza	El asesoramiento en investigación y aspectos metodológicos por parte de la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido, así como el análisis de la

Investigación	Objetivo	Elementos evaluados	Metodología
	diferentes regiones del mundo.	energética, acceso a la electricidad, justicia energética, análisis económico, impacto social, comercio de energía, regulaciones, modelos de negocio, educación y formación	viabilidad técnica a través de estudios técnicos, estructura organizacional y modelo de negocio.
(Caro Acevedo, 2022)	Presentar propuestas regulatorias para la inclusión de las redes inteligentes en Colombia, contribuyendo al desarrollo de ciudades inteligentes en conjunto con las energías renovables	La importancia de la transición energética, la movilidad sostenible y las redes inteligentes en el contexto colombiano, destacando la necesidad de promover el uso de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) y adaptar el marco regulatorio para este fin.	La investigación se enfoca en analizar la normativa que regula los servicios energéticos y su infraestructura, así como en proponer una ruta de desarrollo para que Medellín se convierta en una ciudad energéticamente inteligente.
(Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023)	Analizar la viabilidad y conveniencia de introducir competencia en el sector energético, específicamente en relación con la creación de comunidades energéticas.	El texto aborda la importancia de descentralizar el sector eléctrico, promover la participación de nuevos agentes como las comunidades energéticas, y adaptar la regulación a los avances tecnológicos para fomentar la eficiencia y la sostenibilidad en la distribución de energía	El enfoque metodológico abarca el análisis institucional y regulatorio del sector eléctrico, considerando un escenario a largo plazo caracterizado por innovación y cambio tecnológico, descarbonización del sector eléctrico y empoderamiento del consumidor
(Ramírez Tovar, España Forero, Duque Restrepo, &	Proponer medidas regulatorias para superar las barreras existentes en la implementación de	Las barreras existentes en la implementación de comunidades energéticas en Colombia, la falta de	Revisión de la normativa vigente relacionada con Generadores Distribuidos y

Investigación	Objetivo	Elementos evaluados	Metodología
Giraldo Quiroz, 2023)	comunidades energéticas en Colombia, tales como la autogeneración comunitaria, la transacción energética entre miembros de la comunidad y la revisión de tarifas para generadores distribuidos	incentivos para las comunidades energéticas, la revisión tarifaria al precio de venta de energía como Generador Distribuido y los mecanismos de definición del precio de venta y comercialización de la energía	Autogeneradores a Pequeña Escala, y la identificación de la falta de incentivos. para las comunidades energéticas
(Jiménez Martínez, España F, Giraldo Quiroz, & Ramírez Tovar, 2023)	Se centra en el desarrollo de proyectos comunitarios de energía a través de esquemas de generación distribuida en Iberoamérica.	Aspectos relacionados con el impacto social, económico y ambiental de los proyectos de energía comunitaria, la viabilidad técnica y financiera de los esquemas de generación distribuida, así como posibles recomendaciones para mejorar la implementación de estos proyectos en Iberoamérica.	Métodos de recolección de datos, estudios de caso, análisis comparativos y recomendaciones para el desarrollo e implementación de estos proyectos.
(Gutiérrez Rico, 2024)	identificar si la regulación que se aplicará a las comunidades energéticas en Colombia es óptima para permitir su masificación, o si existen barreras regulatorias que puedan obstaculizar este proceso. Esto se enmarca en el compromiso del país con el uso de energías más limpias y la reducción de	La regulación actual que afecta la implementación de comunidades energéticas. Las barreras regulatorias que podrían desincentivar la formación de estas comunidades. La eficiencia en la prestación del servicio público de energía eléctrica a un menor costo.	La metodología implica un análisis crítico de la regulación vigente y su impacto en las comunidades energéticas. Se busca identificar aspectos que faciliten o dificulten su desarrollo, considerando el contexto regulatorio del sector eléctrico en Colombia.

Investigación	Objetivo	Elementos evaluados	Metodología
	emisiones, buscando mejorar el acceso al servicio de energía eléctrica y satisfacer las necesidades básicas de grupos vulnerables	La descongestión de las redes eléctricas y la intervención de menos agentes en la cadena de suministro	

Fuente: Elaboración Propia

Los estudios abordan diversos aspectos relacionados con las comunidades energéticas, como el impacto social, económico y ambiental de los proyectos de energía comunitaria, la viabilidad técnica y financiera de los esquemas de generación distribuida, y posibles recomendaciones para mejorar la implementación de estos proyectos en Iberoamérica.

Además, se incluyen investigaciones sobre los modelos de negocios de comunidades energéticas, el comercio de energía peer-to-peer, y los desafíos y oportunidades en tecnologías habilitadoras para estas comunidades. Los estudios seleccionados proporcionan información valiosa sobre las experiencias, procesos y lecciones aprendidas en la implementación de comunidades energéticas en diferentes contextos, lo que puede ser útil para el análisis y la propuesta de estrategias en el caso colombiano.

Para complementar esta información, se realiza una revisión a través de Scopus, con la siguiente ecuación de búsqueda: “community AND on AND grid AND electricity AND Colombia” y obteniendo 22 documentos, a partir de una lectura del resumen y descartando varios textos que no se relacionan con el tema, se seleccionó sólo un documento, el cual está en la primera fila de laTabla 3-2. En la siguiente fila, se encuentra un texto adicional encontrado en textos similares, que abren la puerta al tema en países como el Reino Unido, los Estados Unidos, Países Bajos y Nueva Zelanda.

Finalmente se hace una búsqueda de “community AND energy AND business AND models AND electricity” y se seleccionan los documentos relevantes, los cuales también se incluyeron en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Investigaciones en Scopus sobre la viabilidad de las comunidades energéticas en Colombia para el Sistema Interconectado Nacional y en otros países.

Investigación	Objetivo	Elementos evaluados	Metodología
(Campos , y otros, 2020)	Analizar los desafíos y oportunidades que enfrentan los prosumidores colectivos de	Modelo de Servicios o de Actividades, Separación de Actividades, Gestor de Servicios	El estudio comparativo de marcos regulatorios de nueve países y regiones europeas

Investigación	Objetivo	Elementos evaluados	Metodología
	energías renovables en Europa. Se destaca que Francia, Alemania, Países Bajos y el Reino Unido cuentan con marcos más favorables para estos prosumidores.	Energéticos, Comercializador de Último Recurso, y Almacenamiento de Energía.	revela que Francia, Alemania, Países Bajos y el Reino Unido
(Aguilar Abaunza, 2023)	Ofrecer una perspectiva legal única de los Países Bajos, Nueva Zelanda y Colombia para ayudar a comprender algunos de los enfoques legales actuales para los prosumidores y, por lo tanto, los desafíos y oportunidades legales que enfrentan.	La importancia de la ley en permitir la participación de los consumidores en las industrias eléctricas liberalizadas. La función de las leyes y regulaciones en fomentar la competencia, la sostenibilidad ambiental y la democratización del suministro de energía.	Se abordan las barreras legales que enfrentan los prosumidores, como la falta de claridad sobre la venta de electricidad, los derechos de protección al consumidor y los desafíos relacionados con la configuración y acceso a la red.
(Mohammadi, 2023)	Analizar los aspectos institucionales y regulatorios del sector energético, centrándose en la transición de modelos centralizados a modelos descentralizados.	La aparición de nuevos agentes como Gestores de Servicios Energéticos, Minoristas de Último Recurso y Gestores de Información de Medidores Inteligentes para optimizar el consumo de energía, gestionar datos de medidores inteligentes y proporcionar tarifas de último recurso.	Abordar los desafíos y consideraciones en el sector del gas, sugiriendo cautela al integrar actividades competitivas y reguladas para garantizar una competencia leal y la eficiencia del mercado.

Investigación	Objetivo	Elementos evaluados	Metodología
(Hoffmann, 2023)	Analizar varios aspectos relacionados con el sector energético, centrándose particularmente en los marcos regulatorios y las revisiones institucionales.	Destaca el surgimiento de nuevos agentes como agregadores, administradores de servicios energéticos y el papel de los Operadores de Sistemas Distribuidos en modelos descentralizados. El documento también introduce el concepto de Generadores Distribuidos y la necesidad de una entidad regulada, el Administrador de Información de Medidores Inteligentes, para salvaguardar los datos de los consumidores.	Proponer la creación de un Gestor de Servicios Energéticos para optimizar el consumo de energía y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y sugiere la creación de una Comercializadora de Último Recurso para ofrecer tarifas eléctricas por defecto a los consumidores.
(Vernay, Sebi, & Arroyo, 2023)	Destacar la importancia de acelerar la descarbonización del sistema energético a través de las comunidades energéticas.	A pesar de que los modelos de negocios de comunidades energéticas en Francia aún no han mejorado la flexibilidad de la red, cada uno contribuye de manera única a los otros tres objetivos políticos. Sin embargo, su difusión se ve obstaculizada por barreras legales, organizativas y financieras	Se proponen recomendaciones para superar estas barreras, como proteger la viabilidad económica, apoyar a intermediarios que faciliten la adopción de los modelos de negocios de comunidades energéticas y fortalecer a los gobiernos locales como facilitadores clave.
(Maldet , Schwabeneder,	Analizar cómo las comunidades locales	Se desarrollan modelos de negocio	Se desarrolla un marco de modelado

Investigación	Objetivo	Elementos evaluados	Metodología
Lettner, Loschan, & Corinaldesi, 2024)	sostenibles pueden promover el desarrollo sostenible local a través de la eficiencia energética y el uso de recursos locales.	sobre tecnología y prestación de servicios y sobre la promoción del uso sostenible de recursos, que luego se aplican a una comunidad en Austria.	sobre el acoplamiento de sectores en operaciones comunitarias, que también considera la utilización de recursos, para evaluar el impacto de los modelos de negocios.
(Zhang , y otros, Modelling the formation of peer-to-peer trading coalitions and prosumer participation incentives in transactive energy communities, 2024)	Destacar que los beneficios del comercio se realizan principalmente debido a la diversidad en el comportamiento de consumo y generación de energía renovable entre los prosumidores en una comunidad energética.	Analizar la eficiencia de los mercados de energía peer-to-peer (P2P) al considerar dos enfoques populares de trading: centralizado vs. totalmente descentralizado.	Estudiar el efecto de la diversidad en perfiles de consumo en el potencial de trading y dinámicas en una comunidad energética, utilizando datos reales de proyectos en el Reino Unido.
(Burgio, Jasiński, & Leonowicz, 2024)	Ofrecer una comprensión integral de los desafíos y oportunidades en tecnologías habilitadoras y modelos de negocios para comunidades energéticas.	Explora temas como marcos de energía inteligente para comunidades urbanas, despliegue de energía renovable fuera de la red en México, impacto del apoyo institucional en la industria del metano de lecho de carbón, decisiones de inversión en redes eléctricas, adopción de riego solar en regiones con escasez de agua, y gestión de riesgos en proyectos	Brindando conocimientos para investigadores, formuladores de políticas y actores de la industria que buscan un futuro energético sostenible.

Investigación	Objetivo	Elementos evaluados	Metodología
		de suministro de energía.	

Fuente: Elaboración Propia

Las investigaciones revisadas destacan los beneficios significativos que las comunidades energéticas pueden aportar en términos de eficiencia energética, integración de energías renovables, reducción de emisiones de carbono y empoderamiento de los usuarios. La evidencia recopilada demuestra que las comunidades energéticas representan una oportunidad prometedora para transformar el sector energético hacia un modelo más sostenible, descentralizado y participativo, pero aún presentan muchas barreras para su funcionamiento.

Con base en lo anterior, en el siguiente capítulo se presentan los objetivos propuestos para establecer de manera clara y precisa los propósitos y metas que guiarán este trabajo.

Capítulo 4. Objetivos y Metodología

4.1. Objetivos

4.1.1. Objetivo general

Proponer estrategias para viabilizar las comunidades energéticas en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia.

4.1.2. Objetivos específicos

Caracterizar marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en países seleccionados.

Identificar barreras, obstáculos institucionales y regulatorios que enfrentan las comunidades energéticas para su establecimiento y operación en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia.

Evaluar el impacto financiero que tendría para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional de Colombia su cambio a comunidad energética.

4.2. Metodología

La metodología se plantea considerando las actividades que permiten alcanzar los objetivos propuestos. A continuación, se presenta una descripción de las actividades que se realizaron para cada uno de los objetivos.

4.3. Caracterizar marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en países seleccionados.

- ***Selección de países:*** Se seleccionó una muestra representativa de países que hayan implementado exitosamente comunidades energéticas, como los Países Bajos, Nueva Zelanda y otros relevantes identificados en la literatura consultada.

- ***Revisión de marcos regulatorios:*** Se realizó un análisis exhaustivo de las leyes, resoluciones y regulaciones vigentes en cada país seleccionado que respalden la creación y operación de comunidades energéticas. Esto incluyó la identificación de incentivos fiscales, tarifas preferenciales, programas de financiamiento y apoyo técnico que promuevan la energía renovable a nivel comunitario.

- ***Estudio comparativo:*** Se compararon los marcos regulatorios e institucionales de los países seleccionados para identificar similitudes, diferencias, mejores prácticas y lecciones aprendidas en la implementación de comunidades energéticas.

- ***Análisis de agentes participantes:*** Se investigo el papel de los intermediarios, como desarrolladores y agregadores del mercado, en la facilitación de proyectos de energía comunitaria en los países analizados.

4.4. Identificar barreras, obstáculos institucionales y regulatorios que enfrentan las comunidades energéticas para su establecimiento y operación en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia.

- ***Revisión del marco normativo y regulatorio:*** Se realizó una revisión exhaustiva de las leyes, reglamentos y políticas que impactan a las comunidades energéticas en Colombia, identificando aquellas que puedan representar obstáculos para su establecimiento y operación dentro del Sistema Interconectado Nacional.

- ***Análisis de políticas y programas existentes:*** Se evaluaron cómo las políticas y programas actuales han influido en el desarrollo y promoción de las comunidades energéticas en Colombia, identificando posibles áreas de mejora y obstáculos institucionales que puedan dificultar su implementación.

- ***Identificación de barreras específicas:*** Se identificó y se analizó en detalle las barreras y obstáculos institucionales y regulatorios que enfrentan las comunidades energéticas en su establecimiento y operación en el contexto del Sistema Interconectado Nacional de Colombia.

4.5. Evaluar el impacto financiero que tendría para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional de Colombia su cambio a comunidad energética.

- ***Identificación del grupo de usuarios:*** Se seleccionó un grupo representativo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional de Colombia, que cumplían con las características necesarias para formar una comunidad energética.

- ***Análisis de la situación actual:*** Se realizó un análisis detallado de la situación actual de los usuarios en términos de consumo de energía, costos asociados y factores que influyen en su facturación.

- ***Simulación de la transición a comunidad energética:*** Se estimaron los costos y beneficios asociados con la transición a una comunidad energética, teniendo en

cuenta aspectos como la generación distribuida, el almacenamiento de energía, la gestión inteligente de la demanda y la eficiencia energética.

- ***Comparación de escenarios:*** Se compararon los escenarios actual y propuesto, evaluando el impacto financiero en términos de costos y beneficios para los usuarios.

4.6. Proponer estrategias para viabilizar las comunidades energéticas en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia.

- ***Propuesta de medidas regulatorias:*** Basándose en el análisis realizado, se proponen medidas regulatorias específicas para superar las barreras identificadas y promover la creación y operación efectiva de comunidades energéticas en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia.

Al desarrollar una metodología que incluyó el análisis del potencial de las comunidades energéticas en Colombia, el establecimiento de un marco de evaluación de viabilidad y el diagnóstico de alternativas, se podrá avanzar hacia la implementación exitosa de estas iniciativas energéticas.

Se consideró la diversidad de actores involucrados, desde desarrolladores hasta entidades regulatorias, para garantizar la sostenibilidad y el impacto positivo de las comunidades energéticas en el sistema energético colombiano. La metodología empleada busca no solo superar barreras y obstáculos, sino también fomentar la innovación y la eficiencia en la transición hacia un modelo energético más sostenible y descentralizado.

El siguiente capítulo se enfocará en la caracterización de los marcos regulatorios e institucionales aplicables a las comunidades energéticas, examinando ejemplos de países seleccionados. Se analizarán los enfoques regulatorios e institucionales implementados en diversos países para fomentar el desarrollo de comunidades energéticas. El objetivo es identificar las mejores prácticas y lecciones aprendidas que puedan ser aplicables al contexto colombiano. Se prestará especial atención a la forma en que estos marcos promueven o dificultan la democratización del acceso a la energía, la sostenibilidad y el fortalecimiento de las economías locales.

Capítulo 5. Caracterización de marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en países seleccionados.

En este capítulo, se abordará la caracterización de los marcos regulatorios y las estructuras institucionales en Reino Unido, Noruega, Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda, con el objetivo de identificar similitudes, diferencias, mejores prácticas y desafíos en la implementación de comunidades energéticas a nivel internacional.

Los países anteriormente mencionados fueron seleccionados debido a sus avances significativos en la implementación de políticas energéticas sostenibles y su experiencia en el desarrollo de comunidades energéticas. Estos países presentan una diversidad de enfoques legales y regulatorios que han demostrado ser efectivos en la promoción de la generación de energía a nivel comunitario.

Además, al analizar las similitudes y diferencias en sus marcos regulatorios, se pueden identificar mejores prácticas que podrían ser adaptadas al contexto colombiano, facilitando así la transición hacia un modelo energético más sostenible y participativo a nivel local.

La variedad de contextos políticos y económicos en estos países también ofrece un panorama amplio que puede enriquecer el desarrollo de estrategias adecuadas para fomentar la sostenibilidad energética en Colombia.

Se espera que este análisis proporcione una visión integral de los enfoques legales y regulatorios que influyen en el desarrollo de las comunidades energéticas, ofreciendo valiosas perspectivas para el contexto colombiano y la promoción de la sostenibilidad energética a nivel local.

5.1. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Reino Unido.

La implementación de marcos regulatorios e institucionales en el Reino Unido ha sido fundamental para promover el desarrollo de las comunidades energéticas y fomentar la eficiencia energética a nivel local (Pedrero & Del Granado, 2023).

Las comunidades energéticas en el Reino Unido se caracterizan por su trayectoria, su papel crucial en la transición ecológica, la promoción de la sostenibilidad, el espacio de diálogo y colaboración que crean, la legislación y regulación existente, y la disponibilidad de un observatorio nacional que monitorea su impacto y evolución en el país (Amigos de la tierra, 2024).

A continuación, se expone el contexto regulatorio y de mercado, las iniciativas de comunidades energéticas y las oportunidades y desafíos que se tienen en el Reino Unido.

5.1.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico:

El mercado eléctrico del Reino Unido ha evolucionado a lo largo de los años, pasando de un sistema monopolístico a uno competitivo y regulado. Antes de 1990 su sistema de mercado estaba basado en un monopolio estatal con empresas integradas verticalmente (generación, transmisión, distribución y venta). (Correa Henao, 2014)

Su liberalización, comenzó en los años 90 con la Electricity Act 1989, separando actividades monopolísticas de las competitivas, y más adelante, BETTA (British Electricity Trading and Transmission Arrangements) implementó en 2005, la unificación los mercados eléctricos de Inglaterra, Escocia y Gales. (García Bernal, 2020)

A hoy, su estructura cuenta con desafíos como asegurar un suministro energético sostenible y competitivo y adaptarse a las políticas gubernamentales enfocadas en energías renovables y reducción de emisiones de CO2, manteniendo la regulación efectiva. (ICEX, 2024)

A continuación, en la Imagen 1, se presenta un resumen de las principales instituciones y sus funciones:

OFGEM	• Oficina de Gas y Electricidad, regula el mercado, protege los intereses de los consumidores y promueve la competencia
GEMA	• Autoridad que supervisa a Ofgem y establece políticas regulatorias.
National Grid Electricity System Operator (NGESO)	• Gestiona la red eléctrica, asegurando un suministro seguro y eficiente.
Generadores	• Empresas que producen electricidad; pueden ser grandes o independientes.
Comercializadores	• Compran electricidad en el mercado mayorista para venderla a consumidores finales. Se dividen en: • Mercado Libre: Ofrecen tarifas libres. • Comercializadoras de Último Recurso (CUR): Ofrecen precios regulados.
Consumidores	• Usuarios finales que compran electricidad; tienen la opción de elegir su proveedor.
NETA (New Electricity Trading Arrangements)	• Sistema que facilita el comercio de electricidad, promoviendo la competencia y la eficiencia en el mercado.

Imagen 1. Resumen del Esquema Institucional del Mercado Energético de Reino Unido, Instituciones y funciones (Correa Henao, 2014).

5.1.2. Contexto regulatorio y de mercado de las comunidades energéticas:

Para hacer una identificación de marcos regulatorios aplicables a comunidades energéticas en Reino Unido, se parte de la implementación de periodos regulatorios como RIIO-ED2 y RIIO-T2, que están en curso y que implican una inversión significativa en distribución de

energía, con el objetivo de impulsar la innovación, la eficiencia y la transición energética (OFEGM, 2024).

Según el estudio realizado por Alonso Pedrero y Crespo Del Granado (Pedrero & Del Granado, 2023), se destaca la importancia de la interacción entre las comunidades energéticas y los minoristas de energía en el mercado eléctrico del Reino Unido, afirmando que las regulaciones actuales limitan la participación directa de las comunidades energéticas en los mercados mayoristas de energía, lo que las lleva a depender de los minoristas de energía para cubrir su demanda cuando la generación local es insuficiente. Esta limitación destaca la necesidad de establecer acuerdos contractuales entre las comunidades energéticas y los minoristas para garantizar un suministro eléctrico adecuado

De manera adicional, los minoristas de energía actúan como intermediarios entre los mercados eléctricos y los consumidores, adquiriendo energía en el mercado mayorista y revendiéndola a los clientes a una tarifa de suscripción. Como responsables del equilibrio, los minoristas enfrentan penalizaciones si la demanda real de los clientes difiere de la energía adquirida en el mercado. La falta de información sobre las operaciones de las comunidades energéticas puede complicar esta tarea

Finalmente, el estudio resalta la necesidad de que los minoristas de energía reevalúen sus modelos de negocio, yendo más allá de simplemente establecer intercambios de datos operativos con las comunidades energéticas. Es importante comprender las implicaciones financieras y operativas de las comunidades energéticas en los minoristas de energía, especialmente en situaciones donde la falta de coordinación o intercambio de datos puede generar incertidumbre financiera.

5.1.3. Iniciativas de comunidades energéticas:

Existen iniciativas como CREW Energy (CrewEnergy, 2024), que es una comunidad energética comunitaria en el Reino Unido que busca empoderar a las comunidades locales en la transición energética.

El Reino Unido ha implementado una serie de marcos regulatorios e institucionales para fomentar el desarrollo de comunidades energéticas y promover la eficiencia energética y la reducción de emisiones de carbono (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023):

5.1.3.1. Despliegue de medidores inteligentes:

El gobierno del Reino Unido ha liderado un programa de instalación de medidores inteligentes (smart meters) en hogares y empresas, lo que ha permitido a los consumidores acceder a información en tiempo real sobre su consumo de energía y facilitar la implementación de planes de ahorro energético (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

5.1.3.2. Sistemas de gestión de energía

Los sistemas de gestión de energía (Energy Management Systems) son herramientas clave que permiten a los consumidores controlar y monitorear su consumo de energía de manera remota. Estos sistemas han sido implementados en proyectos como el UK SAVE, que desarrolló una aplicación de modelo de cliente para monitorear el consumo de energía y recibir recompensas por reducir el consumo durante las horas pico (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

5.1.3.3. Plataformas de energía digital

Las plataformas de energía digital (Digital Energy Platforms, DEPs) son herramientas que permiten a los consumidores interactuar con la energía de manera más efectiva. Estas plataformas han sido implementadas en proyectos liderados por distribuidores de energía para mejorar la gestión de la energía y reducir la presión en la red (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

5.1.3.4. Herramientas de visualización

Otras herramientas como la imagen térmica y el mapeo espacial han sido utilizadas en proyectos comunitarios para ayudar a los consumidores a identificar áreas de pérdida de calor y visualizar el flujo de energía, fomentando así la eficiencia energética y la reducción de emisiones de carbono (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

5.1.3.5. Estrategias de participación

Se han implementado diversas estrategias para involucrar a los usuarios, como la gamificación y el uso de asistentes de voz, con el objetivo de motivar a los consumidores a reducir su consumo de energía y participar en iniciativas energéticas locales (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

5.1.3.6. Financiamiento gubernamental

El gobierno del Reino Unido ha proporcionado financiamiento para proyectos liderados por distribuidores de energía, universidades y autoridades locales, con el fin de apoyar planes de reducción de emisiones de carbono y fomentar el desarrollo de comunidades energéticas (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

5.1.3.7. Directiva de la UE 2019/944

Define a los "clientes activos" que pueden vender su electricidad autogenerada y participar en programas de flexibilidad y eficiencia. Introduce el concepto de "comunidad energética ciudadana", que puede generar, distribuir y agrupar cargas energéticas para sus miembros (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020).

5.1.3.8. Elementos del Modelo de Negocio

a. Generación y Distribución:

Propiedad comunitaria: La comunidad puede ser propietaria de la infraestructura, como la generación renovable (paneles solares, turbinas eólicas) y la red de distribución local (Wokur, 2022) (Kemp, Siraj, & Tsiropoulou, 2024).

Prosumidores: Los miembros de la comunidad pueden generar su propia energía y compartirla con otros (modelo prosumer) (Zhang , y otros, 2023) (Kemp, Siraj, & Tsiropoulou, 2024).

Gestión de la energía: Se necesita un ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (EMS) (Sistema de Gestión de la Energía), para optimizar el funcionamiento de la comunidad y minimizar los costos (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020) (Kemp, Siraj, & Tsiropoulou, 2024).

b. Esquemas de Remuneración:

Tarifas de alimentación (FiT): Remuneran la energía renovable inyectada a la red (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020).

Medición neta: Compensa la energía exportada a la red con la energía importada (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020).

Autoconsumo: Prioriza el consumo de energía propia, vendiendo el excedente (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020). (Alonso , De la Hoz, Martín , Coronas, & Mata, 2021).

c. Participación Ciudadana:

- ***Inversión:*** Los ciudadanos pueden invertir en la infraestructura de la comunidad (Wokur, 2022) (Pedrero & Del Granado, 2023).

- ***Propiedad:*** Los miembros pueden ser copropietarios de los activos de la comunidad (Wokur, 2022). (Pedrero & Del Granado, 2023).

- ***Consumo:*** Los miembros pueden comprar energía a la comunidad (Wokur, 2022) (Pedrero & Del Granado, 2023).

- ***Gobernanza:*** Se necesita un modelo de gobernanza democrático para la toma de decisiones (Kemp, Siraj, & Tsiro, 2024) (Wokur, 2022).

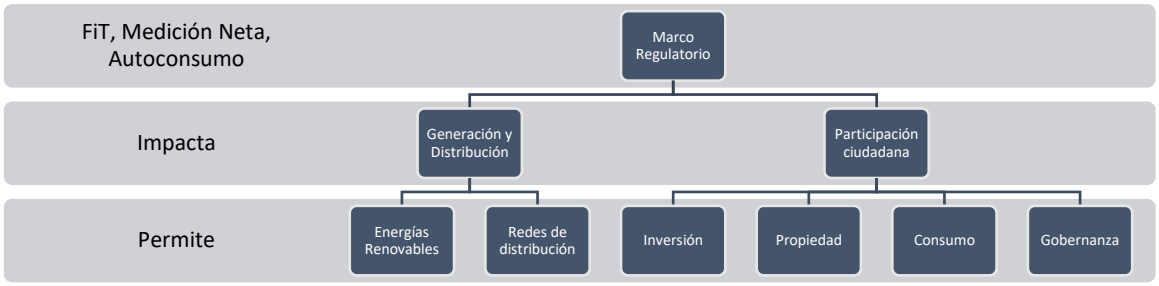

Imagen 2. Elementos del modelo de negocio de una comunidad energética en Reino Unido.

5.1.4. Desafíos y oportunidades:

El Reino Unido ha enfrentado desafíos en la transformación de su sistema energético, pero ha logrado avances significativos en la descarbonización y la transición hacia fuentes de energía más sostenibles. Existe un mayor compromiso y conciencia por parte del gobierno para reducir las emisiones contaminantes y fomentar el uso de energías renovables, lo que brinda oportunidades para el desarrollo de comunidades energéticas. (SANDC, 2024).

5.1.4.1. Desafíos:

a. ***Sostenibilidad de la participación de usuarios y prosumidores:*** Para asegurar la participación sostenible de usuarios y prosumidores en el mercado de electricidad, es crucial brindar incentivos y una intermediación confiable que permita vender el excedente de energía a tarifas más económicas que las nacionales (Zhang , Robu , Cremers, Norbu, & Couraud, 2024).

b. ***Cambios en las políticas energéticas:*** El aumento en el uso de herramientas de participación de usuarios no se mantuvo en los años posteriores, debido a cambios en las políticas energéticas del Reino Unido para sistemas de energía descarbonizados (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

c. ***Integración de herramientas de participación más allá de la información:*** Las herramientas de participación de usuarios deben ir más allá de la provisión de información, e incluir funcionalidades de interacción y control que permitan a los usuarios participar en los mercados energéticos locales y gestionar su consumo. (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

5.1.4.2. Oportunidades:

a. ***Digitalización y gestión de la red:*** Las plataformas de energía digital (DEPs) han sido ampliamente implementadas para mejorar la gestión energética, reducir la presión en la red y facilitar el comercio de energía local entre pares y organizaciones (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

b. ***Inclusión y empoderamiento de la comunidad:*** Las herramientas de información visual, como la imagen térmica, han sido populares en proyectos liderados por grupos comunitarios para mejorar la eficiencia energética y promover el aprendizaje social (Zhang , Robu , Cremers, Norbu, & Couraud, Modelling the formation of peer-to-peer trading coalitions and prosumer, 2024).

c. ***Alineación con políticas gubernamentales:*** Tras la publicación de la primera Estrategia de Energía Comunitaria en 2014 (Amigos de la tierra, 2024), se observó un mayor uso de Las plataformas de energía digital (DEPs) como herramientas de interacción, alineadas con las políticas gubernamentales que fomentan el uso de tecnologías inteligentes y la mejora de la eficiencia energética (Gupta , Zahiri , & Morey, 2023).

5.2. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Noruega.

Noruega tiene un enfoque diferente al de otros países europeos con respecto a las comunidades energéticas (Maldet, y otros, 2022), a diferencia de otros países como Austria e Irlanda, Noruega no tiene un marco regulatorio específico para las comunidades energéticas basado en las directivas de la UE sobre este tema.

Sin embargo, el país ha sido un líder mundial en la transición hacia energías renovables y soluciones sostenibles, genera más del 98% de su electricidad a partir de fuentes renovables, principalmente hidroeléctrica (Hive Power, 2024) (Ourworldindata, 2024).

En general, Noruega necesita adaptaciones en el sistema energético y en las tarifas de red, pero no como un concepto innovador, sino más bien como una necesidad general, dado que, se enfrenta a limitaciones en su capacidad de exportación de electricidad, lo que ha llevado al gobierno a anunciar restricciones en las exportaciones para priorizar el abastecimiento interno y por lo tanto, la implementación de comunidades energéticas en Noruega parece estar menos desarrollada que en otros países europeos (Maldet, y otros, 2022).

5.2.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico:

El mercado eléctrico de Noruega es un componente esencial del sistema energético europeo, caracterizado por su integración en el Nord Pool, un mercado que abarca varios países

nórdicos y bálticos. (Lazcano Moldes, 2014). Los generadores y minoristas compran y venden energía en este mercado basándose en ofertas y demandas; las grandes empresas de generación de energía, como las centrales hidroeléctricas, participan en el mercado mayorista, suministrando energía a los grandes consumidores y a los comercializadores, que actúan como intermediarios entre el mercado mayorista y los consumidores, comprando energía y revendiéndola a sus clientes a través de contratos de suministro (Maldet, Revheim, Schwabeneder, Lettner, & Crespo del Granado, 2024). Éstos últimos, también son responsables del equilibrio, igualando la energía negociada con la demanda real de los clientes (Pedrero & Del Granado, 2023).

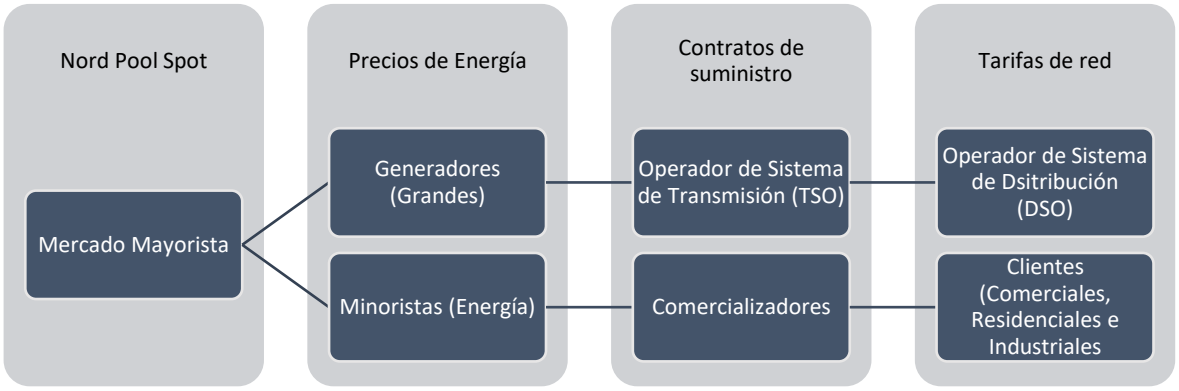

Imagen 3. Esquema institucional del Mercado Eléctrico de Noruega

5.2.1.1. Estructura del Sistema Eléctrico

a. ***Interconexiones Internacionales:*** Noruega está interconectada con otros mercados eléctricos europeos, lo que facilita el comercio de electricidad. Estas interconexiones permiten la importación y exportación de energía, contribuyendo a la estabilidad del suministro y a la fijación de precios competitivos. La capacidad de interconexión es crucial para manejar picos de demanda y optimizar el uso de recursos renovables. (Lazcano Moldes, 2014) (ICEX, 2024).

b. ***División en Áreas de Mercado:*** El país se divide en cinco áreas de mercado, donde los precios pueden variar debido a factores como la congestión en la red eléctrica y la oferta y demanda local. Esta segmentación permite una gestión más eficiente de los recursos y una optimización en la formación de precios. (ICEX, 2024).

c. Operadores del Sistema: Tanto los TSO (Operadores del Sistema de Transmisión) como los DSO (Operadores de Sistemas de Distribución) son responsables de la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico. Statnett es el operador principal del sistema de transmisión en Noruega, encargado de asegurar un suministro eléctrico seguro y eficiente. Además, coordina las interconexiones con otros países, garantizando la

estabilidad del sistema (Maldet, Revheim, Schwabeneder, Lettner, & Crespo del Granado, 2024).

d. ***Regulación y Políticas Energéticas:*** La regulación del mercado eléctrico noruego está fundamentada en leyes que promueven la eficiencia económica y garantizan un campo de juego nivelado para la competencia. La Ley de Energía establece principios que permiten a los consumidores elegir su proveedor, fomentando así una mayor competencia. La Regulación 302 aborda aspectos económicos y técnicos, incluyendo límites de ingresos para el sector de distribución (Maldet, Revheim, Schwabeneder, Lettner, & Crespo del Granado, Trends in local electricity market design: Regulatory barriers and the role of grid tariffs, 2024).

e. ***Tarifas de Red:*** Las tarifas aplicadas a los clientes comerciales e industriales incluyen cargos por potencia pico, incentivando una utilización eficiente de la red. Estas tarifas son cruciales para fomentar el comercio local y maximizar el uso de energía renovable (Maldet, Revheim, Schwabeneder, Lettner, & Crespo del Granado, 2024)..

5.2.2. Contexto regulatorio y de mercado:

Noruega se destaca por su enfoque integral hacia las energías renovables, con un marco regulatorio que fomenta la participación ciudadana y el desarrollo sostenible en el sector energético, promoviendo la transición hacia un futuro más limpio y sostenible (Ourworldindata, 2024).

Sin embargo, de acuerdo con (Maldet, y otros, 2022), la falta de un marco regulatorio y de incentivos específicos para las comunidades energéticas en Noruega limita el desarrollo de este tipo de iniciativas en comparación con otros países europeos.

En la parte de mercado, para la implementación e interacción de las comunidades con el mercado local, se han usado algoritmos de trading como MUDA y P2P para simular el comportamiento competitivo en el Mercado Local de Energía (LEM) de comunidades energéticas en Noruega e Inglaterra (Heilmann , Wensaas , Crespo del Granado , & Hashemipour , 2022). Estos algoritmos priorizan el autoconsumo sobre el intercambio y se implementan para despejar el mercado paso a paso, reflejando la importancia de la eficiencia en el consumo de energía dentro de las comunidades.

5.2.3. Iniciativas de comunidades energéticas:

Varios proyectos de parques eólicos comunitarios están en desarrollo en Noruega, como el Parque Eólico Marino Flotante TwinWay, el Parque Eólico Marino Flotante Hywind Tampen y el Parque Eólico Terrestre de Oyfjellet (Hive Power, 2024). Estas iniciativas permiten a las comunidades locales participar directamente en la generación de energía eólica, fomentando la transición energética a nivel comunitario. (Hive Power, 2024).

Las comunidades energéticas se caracterizan por la presencia de dos organizaciones nacionales responsables de gestionar esquemas financieros para incentivar medidas energéticas eficientes en edificaciones: Enova y el Banco Estatal de Vivienda Noruego (Husbanken). Estas entidades ofrecen subvenciones y préstamos a hogares privados para promover actualizaciones energéticas (Kerstens & Greco , 2023).

Se observa, de manera adicional, una tendencia hacia la descentralización energética, con una legislación centrada en el consumidor y en la independencia individual, lo que requiere la demostración de la capacidad de mantener la independencia del consumidor (Maldet, Revheim, Schwabeneder, Lettner, & Crespo del Granado, 2024). Esta perspectiva individualista se refleja en la necesidad de permitir decisiones informadas y no sesgadas por parte de los consumidores finales.

5.2.3.1. Componentes del Modelo de Negocio:

- ***a. Generación Local:*** Las comunidades energéticas se basan en la generación local de energía a partir de fuentes renovables, como la energía solar, eólica o hidroeléctrica. (Pedrero & Del Granado, 2023). La generación puede ser propiedad de la comunidad o de miembros individuales. (Askeland, Backe , & Byskov , 2019).

- ***b. Clientes (Comerciales e Industriales):*** En Noruega, el enfoque inicial para las comunidades energéticas se centra en clientes comerciales e industriales, que representan una parte significativa de la demanda de energía (Askeland, Backe , & Byskov , 2019). Estos clientes pueden beneficiarse de la reducción de costos de energía y la mejora de la sostenibilidad (Pedrero & Del Granado, 2023).

- ***c. Intercambio de Energía:*** La plataforma de gestión de energía permite el intercambio de energía entre los miembros de la comunidad. El exceso de energía generada localmente se puede compartir con otros miembros, reduciendo la dependencia de la red principal y los costos de energía (Pedrero & Del Granado, 2023).

- ***d. Gestión de Energía (Plataforma):*** Una plataforma digital centralizada gestiona el flujo de energía dentro de la comunidad, optimizando la generación, el almacenamiento y el consumo para maximizar la eficiencia y los beneficios económicos (Pedrero & Del Granado, 2023).

- ***e. Flujo de Ingresos:*** Los miembros de la comunidad pueden reducir sus costos de energía al consumir la energía generada localmente y evitar las tarifas de la red principal, especialmente durante las horas pico (Askeland, Backe , & Byskov , 2019). Esto se logra mediante la optimización del uso de baterías y transacciones peer-to-peer dentro de la comunidad. (Pedrero & Del Granado, 2023). Además, si la comunidad genera más energía de la que consume, puede vender el excedente a la red principal o a otros consumidores externos, generando ingresos adicionales.

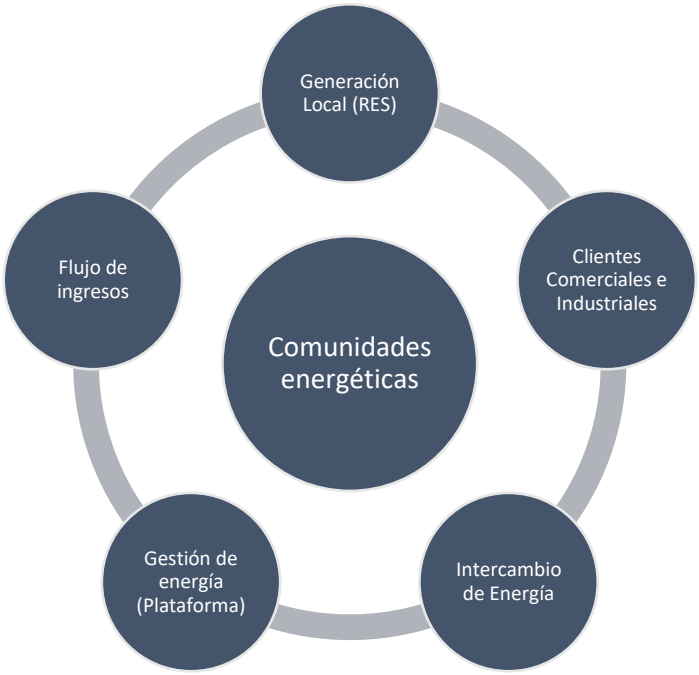

Imagen 4. Componentes del modelo de negocio de las comunidades energéticas en Noruega.

5.2.4. Desafíos y oportunidades:

5.2.4.1. Desafíos:

a. ***Falta de un marco regulatorio específico:*** A diferencia de otros países europeos, Noruega no ha implementado un marco normativo que incentive y regule el desarrollo de comunidades energéticas (Maldet, y otros, 2022). Esto limita la integración de estas iniciativas al mercado mayorista de energía, ya que no cuentan con un respaldo regulatorio adecuado (Heilmann , Wensaas , Crespo del Granado , & Hashemipour , 2022).

b. ***Enfoque colectivo:*** Uno de los desafíos para las comunidades energéticas es la falta de un enfoque colectivo en la gestión energética a nivel de vecindario, debido a la ausencia de una entidad responsable del manejo energético que involucre a diversos grupos de interés (Kerstens & Greco , 2023).

5.2.4.2. Oportunidades:

Las comunidades energéticas en Noruega tienen la oportunidad de aprovechar el crecimiento en la generación de energía renovable, especialmente en la capacidad eólica (offshore) y solar, lo que puede aumentar su importancia en la red noruega y en la red nórdica en general. (Maldet, Revheim, Schwabeneder, Lettner, & Crespo del Granado, 2024). Además, el país

está experimentando una tendencia hacia la descentralización energética, lo que puede brindar oportunidades para el desarrollo de comunidades energéticas locales y el intercambio de energía a nivel comunitario.

5.3. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Estados Unidos.

Para caracterizar los marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Estados Unidos, se destaca que el programa Community Energy Programs (CEP) brinda apoyo federal y recursos a entidades locales, escuelas públicas, organizaciones sin fines de lucro y grupos de desarrollo laboral. Este programa busca fomentar la participación de los consumidores en los mercados energéticos, permitiendo la generación, consumo y venta de electricidad, así como la prestación de servicios de flexibilidad a través de la demanda-respuesta y el almacenamiento (Energy.gov, 2024).

Estas comunidades permiten aprovechar los recursos renovables localmente y activan la participación ciudadana en la producción de energía, además, son una forma de autoconsumo que contribuye a la transición hacia un sistema más sostenible sin emisiones de dióxido de carbono en el país seleccionado (Sen, y otros, 2021)

5.3.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico:

El mercado eléctrico de Estados Unidos es un sistema complejo y fragmentado que opera a través de diversas interconexiones y regulaciones, de manera general, está dividido en tres principales zonas de interconexión:

- *Interconexión Este:* Cubre la parte oriental del país.
- *Interconexión Oeste:* Abarca la región occidental.
- *Consejo de Fiabilidad Eléctrica de Texas (ERCOT):* Opera principalmente en Texas y no está sincronizado con las otras dos interconexiones.

Cada una de estas zonas opera en tiempo real para garantizar la seguridad y fiabilidad del suministro eléctrico, lo que permite la importación y exportación de electricidad entre estados y regiones (Fagan, 2006).

5.3.1.1. Actores Clave:

El mercado eléctrico estadounidense incluye una variedad de actores, tanto tradicionales como no tradicionales:

a. ***Empresas Eléctricas:*** Pueden ser municipales, estatales, federales o de propiedad privada. Estas empresas son responsables de la generación, transmisión y distribución de electricidad (Fagan, 2006).

b. ***Productores Independientes:*** Actúan fuera del marco tradicional, ofreciendo energía a través de contratos bilaterales o participando en mercados organizados (Fagan, 2006).

c. ***Proveedores de Servicios Energéticos:*** Incluyen comercializadores y empresas que ofrecen soluciones energéticas innovadoras (Fagan, 2006).

- ***FERC (Federal Energy Regulatory Commission):*** La FERC es la agencia federal responsable de regular los mercados mayoristas de electricidad y las tarifas de transmisión interestatal (Sciullo, y otros, 2022).

- ***Operadores Independientes del Sistema (ISO):*** Los ISO gestionan el flujo de electricidad en la red y coordinan los mercados mayoristas en regiones específicas (Fagan, 2006).

- ***Compañías de Servicios Públicos:*** Las compañías de servicios públicos son entidades reguladas que pueden operar en los segmentos de generación, transmisión, distribución o una combinación de estos (Fagan, 2006).

5.3.1.2. Aspectos Regulatorios:

La regulación del mercado eléctrico ha cambiado significativamente desde los años 90, cuando se introdujeron reformas para promover la competencia. Las principales características incluyen:

a. ***Separación Vertical:*** Separación de las funciones de generación, transmisión y distribución para fomentar la competencia (Fagan, 2006).

b. ***Mercados Organizados:*** Existen mercados donde los productores compiten para ofrecer electricidad a precios competitivos. Estos mercados son gestionados por Operadores Independientes del Sistema (ISO). La Comisión Federal Reguladora de Energía (FERC) supervisa los mercados mayoristas y asegura que las tarifas sean justas y razonables (Fagan, 2006).

c. ***Regulación Federal:*** La FERC establece regulaciones para garantizar la competencia y la confiabilidad en los mercados mayoristas de electricidad (Sciullo, y otros, 2022).

d. ***Regulación Estatal:*** Los estados tienen autoridad sobre la regulación de las compañías de servicios públicos y los mercados minoristas de electricidad (Sciullo, y otros, 2022).

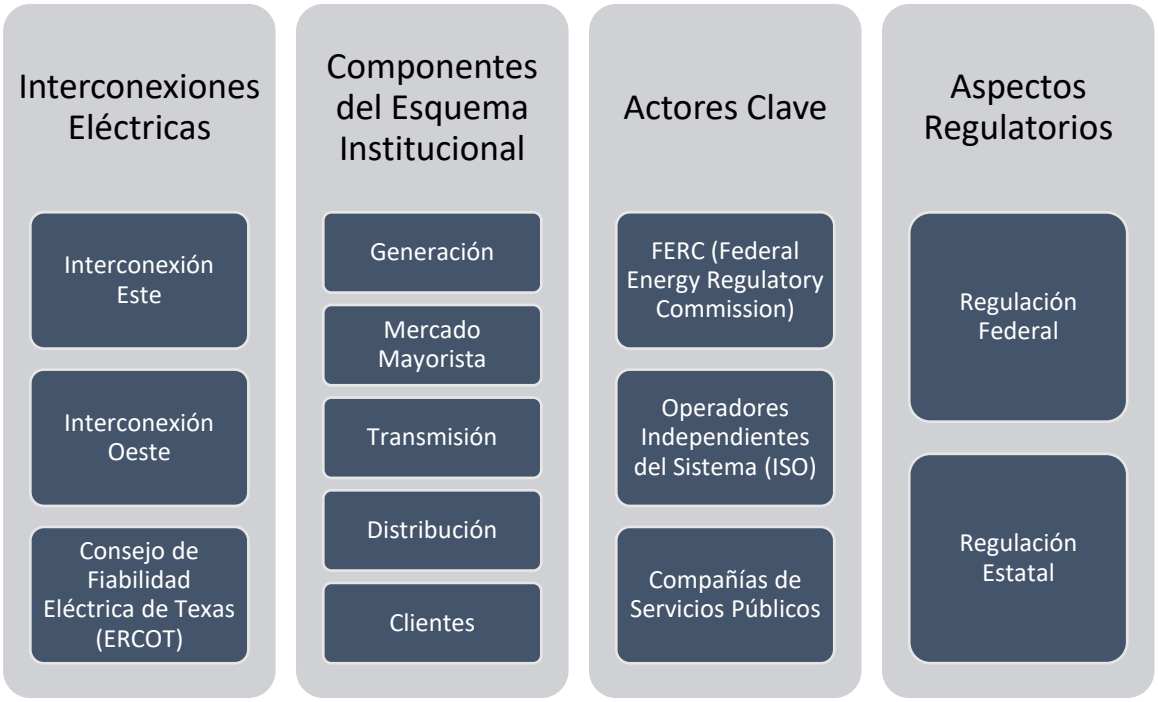

Imagen 5. Esquema institucional del Mercado Eléctrico de Estados Unidos

5.3.2. Contexto regulatorio y de mercado:

En Estados Unidos, el marco regulatorio y de mercado de las comunidades energéticas se ve influenciado por programas federales como el CEP, que respaldan la participación de los consumidores en los mercados energéticos, así como por el reconocimiento de la importancia de las comunidades energéticas para la transición hacia energías renovables y sostenibles (Energy.gov, 2024).

Además, se han desarrollado marcos como ELEKTRA, que empodera a los prosumidores con agrupación prosumidora distribuida y adquisición energética basada en teoría de juegos. (Kemp, Siraj, & Tsiro, 2024). Este marco permite a los prosumidores organizarse autónomamente en comunidades y determinar de manera distribuida la cantidad óptima de energía a adquirir de la empresa de servicios públicos, considerando sus características de consumo y generación de energía dentro de la comunidad, así como las recompensas ofrecidas por la empresa para incentivar su participación.

5.3.3. Iniciativas de comunidades energéticas:

De acuerdo con (Energy.gov, 2024), (Sen, y otros, 2021), (Kemp, Siraj, & Tsiro, 2024) la formación de comunidades energéticas, así como en las iniciativas de prosumidores y agrupaciones energéticas en Estados Unidos, se puede destacar lo siguiente:

5.3.3.1. Programa Community Energy Programs (CEP):

Proporciona apoyo federal y recursos a una variedad de entidades locales, incluyendo gobiernos tribales, escuelas públicas, organizaciones sin fines de lucro y grupos de desarrollo laboral. El objetivo de este programa es impulsar la participación de los consumidores en los mercados energéticos (Energy.gov, 2024).

A través del CEP, estas comunidades y entidades locales tienen la capacidad de generar, consumir y vender electricidad, además, pueden ofrecer servicios de flexibilidad a la red eléctrica, como la demanda-respuesta y el almacenamiento de energía. Esto les permite desempeñar un papel más activo en la gestión y el abastecimiento de su propia energía (Energy.gov, 2024).

5.3.3.2. Marco ELEKTRA:

El marco ELEKTRA se centra en empoderar a los prosumidores con agrupación prosumidora distribuida y adquisición energética basada en teoría de juegos. Este marco está diseñado para desarrollar un modelo de agrupación prosumidora distribuida avanzado, permitiendo a los prosumidores seleccionar el grupo comunitario más ventajoso al que unirse. Además, introduce un modelo de juego teórico distribuido para ayudar a los prosumidores a determinar la cantidad óptima de energía a adquirir de la empresa de servicios públicos, garantizando la satisfacción de sus necesidades energéticas (Kemp, Siraj, & Tsiro, 2024).

5.3.3.3. Formación de Comunidades Autónomas:

Las iniciativas de comunidades energéticas en Estados Unidos se centran en la autonomía de los prosumidores en la formación de comunidades energéticas. Estas comunidades se organizan estratégicamente para maximizar los beneficios de la participación en la gestión energética, considerando las características de consumo y generación de energía de los prosumidores, así como las recompensas ofrecidas por las empresas de servicios públicos (Sen, y otros, 2021).

5.3.3.4. Componentes del Modelo de Negocio:

a. ***Generación Distribuida:*** La comunidad energética se basa en la generación de energía renovable distribuida, generalmente a partir de paneles solares fotovoltaicos (Zhang , y otros, 2024) (Sen, y otros, 2021).

b. ***Autoconsumo y Comercio P2P:*** La energía generada se utiliza para el autoconsumo de los miembros de la comunidad, y el excedente se puede compartir o comercializar entre ellos a través de una plataforma de comercio P2P (Zhang , y otros, 2024) (Pedrero & Del Granado, 2023).

c. ***Gestión de la Batería:*** La comunidad puede contar con una batería compartida para almacenar la energía generada y optimizar su uso, satisfaciendo la demanda en momentos de baja producción o vendiendo energía al mercado mayorista (Zhang , y otros, 2024) (Pedrero & Del Granado, 2023).

d. ***Participación en el Mercado Mayorista:*** La comunidad puede vender el excedente de energía al mercado mayorista, aprovechando las fluctuaciones de precios y obteniendo ingresos adicionales (Pedrero & Del Granado, 2023).

e. ***Minimización de Costos:*** La comunidad busca reducir los costos de energía para sus miembros mediante el autoconsumo y la optimización de la gestión energética (Alonso , De la Hoz, Martín , Coronas, & Mata, 2021) (Pedrero & Del Granado, 2023).

f. ***Beneficios Económicos:*** Los miembros de la comunidad se benefician de la reducción de costes energéticos, la venta de excedentes y la posibilidad de obtener incentivos o tarifas reguladas por la energía renovable (Alonso , De la Hoz, Martín , Coronas, & Mata, 2021) (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020).

5.3.3.5. Esquemas de Incentivos (Información Externa):

a. ***Créditos Fiscales:*** En Estados Unidos, existen créditos fiscales federales y estatales para la instalación de sistemas de energía renovable, lo que puede incentivar la inversión en comunidades energéticas (Zhang , y otros, 2024).

b. ***Programas de Incentivos Estatales:*** Algunos estados ofrecen programas de incentivos específicos para la creación de comunidades energéticas, como subvenciones o préstamos a bajo interés (Zhang , y otros, 2024).

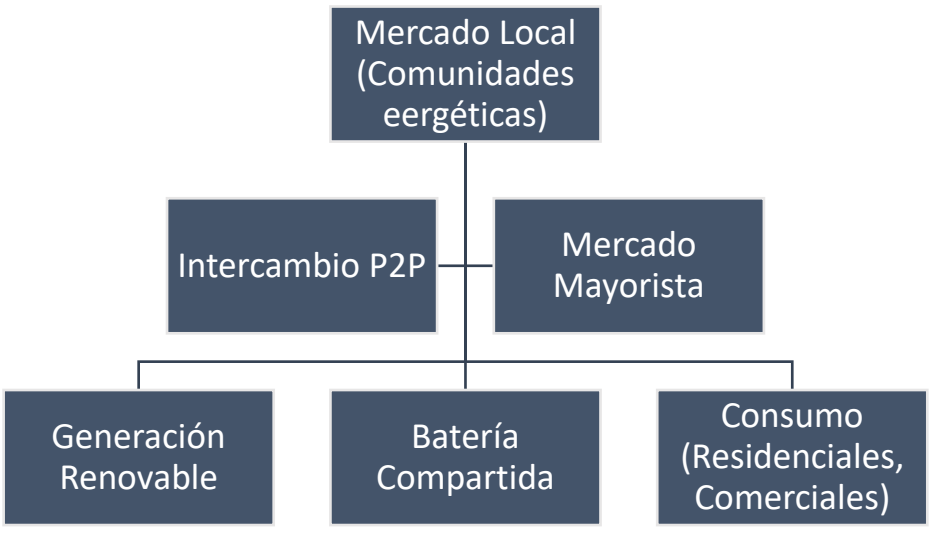

Imagen 6. Componentes del modelo de negocio de las comunidades energéticas en Estados Unidos.

5.3.4. Desafíos y oportunidades:

Incorporar efectivamente las comunidades energéticas al mercado en Estados Unidos requiere un enfoque integral que combine apoyo regulatorio, empoderamiento de los prosumidores, integración al mercado mayorista y desarrollo de capacidades en colaboración con los actores relevantes (Sen, y otros, 2021), (Kemp, Siraj, & Tsiro, 2024). A continuación, se muestran algunos desafíos y oportunidades al respecto:

5.3.4.1. Desafíos:

a. ***Complejidad en la Formación de Comunidades**:* La autonomía de los prosumidores en la formación de comunidades energéticas puede enfrentar desafíos debido a la complejidad del proceso, que implica evaluar las características de consumo y generación de energía, así como las recompensas ofrecidas por las empresas de servicios públicos.

b. ***Costos de Adquisición de Energía**:* Los costos asociados a la adquisición de energía pueden representar un desafío para la participación de los consumidores en las comunidades energéticas, especialmente si no están claros o son prohibitivos.

c. ***Incertidumbre Regulatoria:*** La falta de claridad en los marcos regulatorios que rigen la participación de los consumidores en las comunidades energéticas puede ser un obstáculo, ya que la incertidumbre sobre derechos, obligaciones y beneficios puede desmotivar la participación.
El modelo de negocio de una comunidad energética en Estados Unidos se ve afectado por el marco regulatorio a nivel federal y estatal, incluyendo las políticas de acceso a la red, la compensación por la energía excedente y la regulación de los mercados P2P (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020) (Maldet, y otros, Trends in local electricity market design: Regulatory barriers and the role of, 2022).

5.3.4.2. Oportunidades:

a. ***Empoderamiento de los Consumidores**:* Las comunidades energéticas ofrecen la oportunidad de empoderar a los consumidores al permitirles generar, consumir y vender electricidad, así como prestar servicios de flexibilidad, lo que les brinda un mayor control sobre su suministro energético.

b. ***Transición hacia Energías Renovables:*** Las comunidades energéticas en Estados Unidos pueden impulsar la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y renovables al fomentar la generación y consumo local de energía limpia.

c. ***Colaboración y Eficiencia Energética:*** La formación de comunidades energéticas promueve la colaboración entre los prosumidores, lo que puede llevar a una mayor

eficiencia energética, reducción de costos y una mayor resiliencia en el suministro de energía.

5.4. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Australia.

De acuerdo con (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022), la gestión de estas comunidades energéticas requiere una atención especial a los aspectos técnicos, económicos e institucionales, con un enfoque en el diseño de negocios y modelos de gobernanza adecuados. La aceptación comunitaria y la estructura de propiedad y control son elementos clave para el éxito de estas iniciativas, que buscan ofrecer electricidad limpia de manera eficiente y rentable a los usuarios finales.

La diversidad de modelos de negocio que han surgido refleja las diferentes realidades locales, desafíos y oportunidades, donde la combinación de imperativos comerciales con preocupaciones sociales y ambientales es fundamental para el desarrollo sostenible de estas comunidades energéticas en Australia (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022).

5.4.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico:

El mercado eléctrico de Australia se caracteriza por su estructura fragmentada y su enfoque en la generación de energía renovable (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015). A continuación, describe los componentes clave del sistema, los actores involucrados, la regulación vigente y las tendencias actuales que afectan su funcionamiento.

5.4.1.1. Mercado Nacional de Electricidad (NEM)

El NEM es el principal mercado mayorista de electricidad en Australia, abarcando los estados de Nueva Gales del Sur, Victoria, Queensland, Australia del Sur, Tasmania y el Territorio de la Capital Australiana (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015).

a. <u>Sistemas Regionales</u>

- ***Western Australia:*** Cuenta con el South-West Interconnected System (SWIS) y el North West Interconnected System (NWIS), que no opera como un mercado mayorista debido a su tamaño (ICEX, 2012).

- ***Northern Territory:*** Funciona con pequeñas redes y generadores locales, adaptándose a su baja densidad poblacional (ICEX, 2012).

b. <u>Actores Clave en el Mercado</u>

- ***Generadores (GenCos):*** Producen electricidad a partir de diversas fuentes, incluyendo combustibles fósiles, nuclear y renovables (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015).

- ***Operador del Mercado de Energía de Australia (AEMO):*** Opera el mercado mayorista de electricidad y gas (NEM), supervisa el sistema y gestiona las conexiones a la red (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015).

- ***Consejo de Energía COAG (Council of Australian Governments Energy Council):*** Establece las políticas para el mercado energético nacional (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015).

- ***Comisión Australiana del Mercado Energético (AEMC):*** responsable del desarrollo de las reglas del mercado y la regulación de los mercados mayoristas.

- ***Regulador Australiano de la Energía (AER):*** Regula las tarifas de la red y supervisa el comportamiento de los participantes del mercado (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015).

- ***Proveedores de Servicios de Red de Transmisión (TNSP):*** Responsables de la planificación, desarrollo y operación de la red de transmisión. En Victoria, el AEMO actúa como TNSP (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015).

- ***Compañías de Distribución (DSO):*** Distribuyen electricidad a clientes finales a través de la red de baja tensión (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015).

- ***Minoristas de Energía:*** Compran electricidad en el mercado mayorista y la venden a clientes finales (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015).

- ***Clientes:*** Hogares, empresas e industrias que consumen la electricidad mercado (Vertigan , Yarrow , & Morton, 2015).

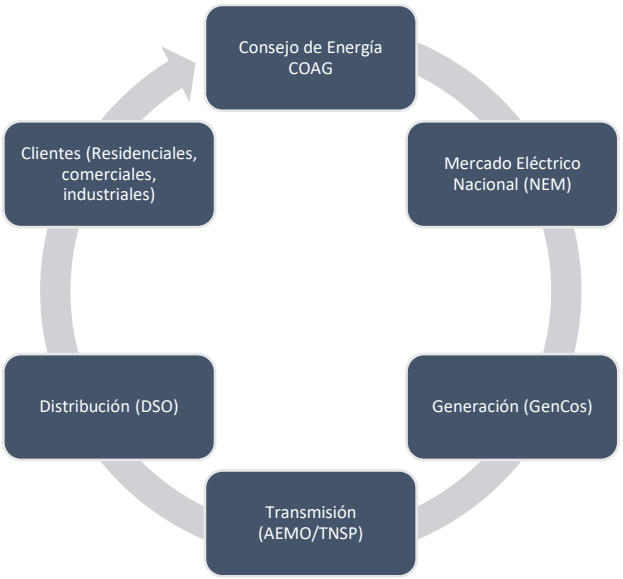

Imagen 7. Esquema institucional del Mercado Eléctrico de Australia.

5.4.2. Contexto regulatorio y de mercado:

La electricidad en Australia está bajo jurisdicción estatal y territorial, no federal. (White , y otros, 2023), y a pesar de que la ausencia de un marco regulatorio nacional para las comunidades energéticas dificulta su desarrollo y crea incertidumbre. (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022), se pueden rescatar las siguientes bases:

5.4.2.1. Microrred (MG):

El gobierno australiano ha financiado proyectos piloto de microrredes, lo que podría sentar las bases para un marco regulatorio más favorable a las comunidades energéticas, la mayoría de las MG en Australia están conectadas a la red principal. (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022).

5.4.2.2. Modelos de negocio y estructuras de propiedad:

Diferentes modelos de propiedad que han surgido, incluyendo:

- Compañía operadora con accionistas (inversores, inversores locales y fideicomisarios en nombre de los consumidores).
- Una compañía tenedora es la propietaria y gestora del negocio de la comunidad.
- La compañía tenedora controla más de una compañía operadora de la comunidad. (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022).

5.4.2.3. Fuentes de financiación:

Varían según los tipos de proyectos y la estructura de propiedad, incluyendo subvenciones gubernamentales, préstamos comerciales, deuda/capital (inversores privados y públicos), capital riesgo/capital privado, cooperativas comunitarias, acuerdos de energía PPA) o Power Purchase Agreement (PPA) (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022).

5.4.3. Iniciativas de comunidades energéticas:

Las iniciativas de comunidades energéticas en Australia se están desarrollando con un enfoque en la sostenibilidad, la independencia energética y la adopción de tecnologías renovables. Estas iniciativas buscan reducir costos, mejorar la eficiencia energética y disminuir la dependencia de la red eléctrica centralizada (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022).

5.4.3.1. Explicación del Modelo:

a. ***Generación Renovable:*** Las comunidades energéticas, como se describe en las fuentes, generalmente se basan en la generación de energía a partir de fuentes renovables (Zhang , y otros, 2024) (Liu, Yang, Wang , & Zhang, 2023). Ejemplos de estas fuentes incluyen energía solar fotovoltaica, energía eólica y pequeñas centrales hidroeléctricas. (White , y otros, 2023). La elección específica de la fuente de energía renovable dependerá de la ubicación y los recursos disponibles.

b. ***Energía Compartida:*** La energía generada se comparte entre los miembros de la comunidad. Esto se puede lograr a través de conexiones directas entre hogares o negocios o mediante la creación de una microrred local. (Zhang , y otros, 2024) La microrred permite una gestión más eficiente de la distribución de energía dentro de la comunidad (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022).

c. ***Autoconsumo Local:*** El modelo de negocio busca incentivar a los miembros de la comunidad a consumir la energía que producen localmente. (Pedrero & Del Granado, 2023) Este autoconsumo reduce la dependencia de la red eléctrica principal y minimiza los costos de electricidad (Maldet , Schwabeneder, Lettner, Loschan, & Corinaldesi, 2024).

d. ***Venta a la Red/Comunidades:*** Cuando la comunidad genera más energía de la que consume, el excedente puede venderse a la red eléctrica principal (Alonso , De la Hoz, Martín , Coronas, & Mata, 2021). Alternativamente, la energía se puede vender a otras comunidades energéticas o empresas que busquen fuentes de energía limpia (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020).

5.4.3.2. Esquemas de Incentivos:

a. ***Feed-in Tariffs (FiT):*** Remuneración fija por la energía renovable inyectada a la red (Mohammadi, 2023).

b. ***Net Metering:*** Compensación por el excedente de energía generada por un consumidor (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020).

c. ***Self-Consumption:*** Incentivos para el autoconsumo de la energía generada localmente (De la Hoz, Alonso, Coronas, Martín , & Matas, 2020).

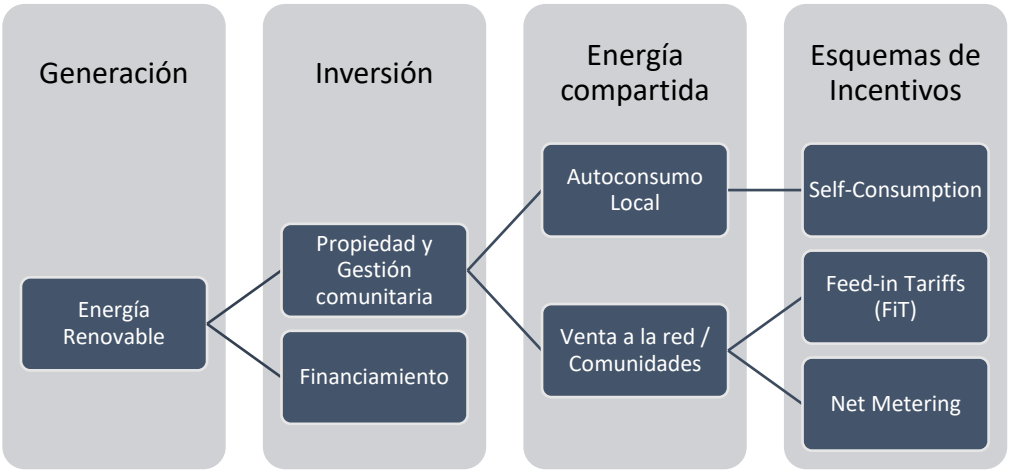

Imagen 8. Componentes del modelo de negocio de las comunidades energéticas en Australia

5.4.4. Desafíos y oportunidades

5.4.4.1. Desafíos:

a. ***Marco Regulatorio:*** Australia cuenta con un marco regulatorio complejo para el sector eléctrico, con variaciones entre estados y territorios (White , y otros, 2023). Es necesario un marco regulatorio claro y coherente a nivel nacional para fomentar el desarrollo de comunidades energéticas (Chalaye , y otros, 2023). Se necesitan políticas que promuevan la participación de la comunidad en proyectos de energía renovable y que faciliten la integración de microrredes a la red principal (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022).

b. ***Integración a la Red:*** Australia tiene una red eléctrica extensa que cubre grandes distancias (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022). La integración de microrredes a esta red requiere una planificación cuidadosa y coordinación con los operadores de la red para garantizar la estabilidad y confiabilidad (Liu, Yang, Wang , & Zhang, 2023). Se necesitan inversiones en infraestructura de red para mejorar la capacidad de la red para acomodar la generación distribuida.

c. ***Financiamiento:*** Acceder a financiamiento para proyectos de comunidades energéticas, especialmente a pequeña escala, puede ser difícil. Se requieren modelos de financiamiento innovadores, como asociaciones público-privadas, crowdfunding y esquemas de inversión comunitaria. (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022) Es importante el apoyo de inversores con experiencia en proyectos de energía renovable comunitarios (Mohammadi, 2023).

d. ***Conocimiento Técnico:*** El diseño, instalación y operación de sistemas de energía renovable y microrredes requiere experiencia técnica. Es esencial capacitar a personal

local y crear capacidades dentro de las comunidades para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos (Wright , Frost , Wong , & Parton, 2022).

e. ***Participación de la Comunidad:*** La participación de la comunidad es crucial para el éxito de las comunidades energéticas (Chalaye , y otros, 2023). Involucrar a los residentes en las etapas de planificación, diseño e implementación asegura que se consideren las necesidades y prioridades de la comunidad. (Kemp, Siraj, & Tsiropoulou, 2024).

5.4.4.2. Oportunidades:

a. ***Resiliencia y Seguridad Energética:*** El interés renovado en las microredes en Australia se ha visto impulsado por preocupaciones sobre la seguridad y resiliencia energética, especialmente después de eventos climáticos extremos como incendios forestales. Las microredes ofrecen una alternativa para la distribución de electricidad limpia de manera más segura y confiable, lo que representa una oportunidad para mejorar la infraestructura energética del país (Chalaye , y otros, 2023).

b. ***Participación Comunitaria y Propiedad Local:*** Las comunidades energéticas ofrecen la oportunidad de que las comunidades locales participen activamente en la generación y distribución de energía, lo que puede conducir a una mayor autonomía energética y beneficios económicos locales. La propiedad y gestión comunitaria de las microredes pueden fortalecer la resiliencia de las comunidades y fomentar la adopción de energías renovables a nivel local (Chalaye , y otros, 2023).

5.5. Marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en Nueva Zelanda.

Las comunidades energéticas en Nueva Zelanda han sido reconocidas como elementos clave para aprovechar los recursos de flexibilidad de la demanda distribuida, especialmente al integrar el almacenamiento (Mohseni & Brent, 2022). En Nueva Zelanda, las CE se definen como "actividades energéticas (como generación, gestión del lado de la demanda, almacenamiento, transporte limpio y eficiencia energética) que se gestionan de forma abierta y participativa, y que tienen beneficios y resultados locales y colectivos" (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

El gobierno neozelandés reconoce a las CE como un mecanismo de inversión que podría ayudar al país a alcanzar sus objetivos de cambio climático y generar beneficios locales para sus ciudadanos (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

Actualmente, existe una falta de datos específicos sobre los impactos de las iniciativas de CE tanto a nivel de proyecto como a nivel nacional, lo que dificulta la evaluación de su verdadero valor y la justificación de su desarrollo (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

5.5.1. Esquema institucional del Mercado Eléctrico:

El mercado eléctrico de Nueva Zelanda se caracteriza por una estructura liberalizada y competitiva, diseñada para fomentar la eficiencia y la sostenibilidad en la generación y distribución de electricidad (Finanzas Carbono, 2024). A continuación, se presenta un esquema institucional que detalla sus componentes clave.

5.5.1.1. Nivel Nacional:

a. ***Mercado Mayorista:*** El mercado mayorista de electricidad en Nueva Zelanda opera bajo la Ley Nacional de Electricidad (NEL). En este mercado, los generadores venden electricidad a los retailers, quienes a su vez la suministran a los grandes consumidores (White , y otros, 2023).

b. ***Generadores:*** Nueva Zelanda cuenta con cinco grandes empresas generadoras que dominan el mercado. Estas empresas pueden ser de propiedad privada o mixta (pública y privada) (Finanzas Carbono, 2024).

c. ***Retailers:*** Los retailers actúan como intermediarios entre los generadores y los consumidores, comprando electricidad en el mercado mayorista y vendiéndola a los consumidores finales (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

d. ***Grandes Consumidores:*** Este grupo incluye a las empresas e industrias que demandan grandes cantidades de energía (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

5.5.1.2. Nivel Local:

a. ***Distribuidoras:*** Existen 29 empresas distribuidoras encargadas de transportar la electricidad desde la red de transmisión hasta los consumidores finales. Estas empresas pueden tener diferentes modelos de propiedad (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021) (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).

b. ***Clientes Residenciales:*** Hogares y pequeños consumidores que obtienen su electricidad de los retailers (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

c. ***Clientes Comerciales/Industriales:*** Empresas y comercios que consumen electricidad para sus operaciones (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

d. ***Comunidades Energéticas:*** Son entidades que agrupan a diversos actores (residentes, empresas, instituciones) con el objetivo de generar, consumir y gestionar la energía de forma local y colaborativa. Estas comunidades, con diversas estructuras legales y motivaciones, están ganando terreno en Nueva Zelanda (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).

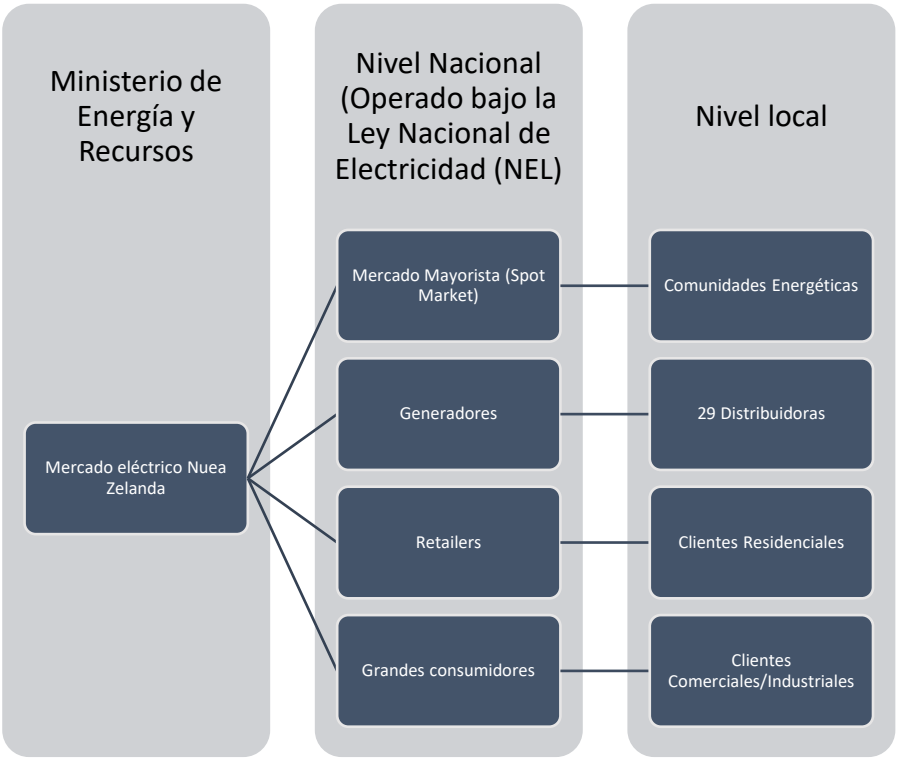

Imagen 9. Esquema institucional del Mercado Eléctrico de Nueva Zelanda.

5.5.2. Contexto regulatorio y de mercado:

En Nueva Zelanda, el marco regulatorio e institucional para las comunidades energéticas aún se encuentra en desarrollo, pero se han dado algunos pasos importantes:

- En 2021, el gobierno publicó un documento de consulta sobre el futuro del sector eléctrico, que incluía propuestas para facilitar el desarrollo de comunidades energéticas. Esto indica un interés en crear un entorno propicio para este tipo de iniciativas (Mohseni & Brent, 2022).
- La Ley de Energía de 2010 y la Ley de Eficiencia Energética y Conservación de 2000 proporcionan un marco general para promover el uso eficiente y sostenible de la energía, que puede aplicarse a las comunidades energéticas (Mohseni & Brent, 2022).
- Organizaciones como la Autoridad de Energía de Nueva Zelanda y el Consejo de Energía de Nueva Zelanda desempeñan un papel en la regulación y promoción del sector energético, incluyendo aspectos relevantes para las comunidades energéticas (Mohseni & Brent, 2022).
- Existen algunos esquemas de financiamiento y apoyo, como el Fondo de Innovación Energética, que podrían beneficiar a proyectos de comunidades energéticas.

- Ley de Gestión de Recursos (RMA) de 1991 otorga a los consejos regionales la autoridad para evaluar los efectos de cualquier nuevo desarrollo energético y asegurar la protección de los recursos naturales (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).
- Declaración de Política Nacional para la Generación de Electricidad Renovable (NPSREG) de 2011 reconoce la generación de electricidad renovable a escala comunitaria como un asunto de importancia nacional (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).
- La influencia del gobierno nacional ha sido fundamental para el crecimiento de las CE en Nueva Zelanda. La reforma del sector condujo a la creación de fideicomisos comunitarios en la industria de distribución de electricidad, los acuerdos de tratados con los maoríes impulsaron las empresas geotérmicas maoríes, y los programas nacionales de aislamiento de viviendas se multiplicaron a través de los consejos y otras organizaciones comunitarias (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).
- No existe una coordinación política concertada para facilitar las actividades de energía distribuida. El discurso político se ha centrado en eliminar las barreras administrativas y legales para el mercado spot, la legislación sobre conexión a la red y los cambios en la regulación y la infraestructura necesarios para que los consumidores domésticos puedan elegir dinámicamente entre minoristas entre pares, minoristas comerciales y autogeneración (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).
- Las responsabilidades en materia de energía están fragmentadas entre el Ministerio de Medio Ambiente, el Ministerio de Empresa, Innovación y Empleo, y la Autoridad de Eficiencia y Conservación de la Energía, lo que dificulta la participación en el diseño de políticas a nivel ministerial (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).

5.5.3. Iniciativas de comunidades energéticas:

Nueva Zelanda presenta una diversidad de iniciativas de comunidades energéticas impulsadas por motivaciones normativas e instrumentales (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).

Existe una amplia gama de actividades de CE en Nueva Zelanda, abarcando diversas formas y funciones, como la generación, distribución, venta minorista y eficiencia energética. Los proyectos son impulsados por una variedad de motivaciones normativas e instrumentales (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020) (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

Los fideicomisos Iwi, vinculados a los maoríes, representan una forma de CE con recursos únicos en Nueva Zelanda. Estos fideicomisos aprovechan las oportunidades de energía renovable para afirmar su identidad y promover comunidades prósperas en tierras ancestrales (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).

Hay indicios de resistencia activa y estratégica a las narrativas de base dentro de la industria eléctrica y las organizaciones clave en la gobernanza energética, con argumentos técnicos y económicos que a menudo enfatizan la alta penetración de energía renovable de Nueva Zelanda, el suministro hidroeléctrico estacional y los patrones de demanda energética (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).

Las comunidades energéticas en Nueva Zelanda se involucran en una amplia gama de actividades energéticas, incluyendo la generación de energía renovable, principalmente a través de proyectos solares y eólicos (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020). La gestión de la demanda, el almacenamiento de energía y la eficiencia energética también son componentes importantes del modelo (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

Se observa una participación de las comunidades en la instalación de sistemas de energía solar en edificios públicos y escuelas (Roberts, Brent, & Hinkley, 2021).

La financiación de proyectos de comunidades energéticas en Nueva Zelanda suele ser un desafío. Las comunidades energéticas dependen de la inversión comunitaria, subvenciones gubernamentales, financiación de trusts y apoyo de organizaciones filantrópicas. La falta de acceso a capital y la complejidad de los procesos de financiación limitan el desarrollo de proyectos (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).

Imagen 10. Componentes del modelo de negocio de las comunidades energéticas en Nueva Zelanda.

5.5.4. Desafíos y oportunidades

a. ***Maximización de la Flexibilidad:*** Existe la oportunidad de maximizar de manera equitativa el potencial de flexibilidad en varios portadores de energía, lo que puede conducir a una mejor gestión de la demanda y a una mayor eficiencia en la operación de sistemas energéticos comunitarios en Nueva Zelanda (Mohseni & Brent, 2022).

b. ***Desarrollo de Modelos de Planificación Energética a Largo Plazo:*** La integración de modelos de planificación energética a largo plazo con enfoques innovadores de respuesta de la demanda puede mejorar la toma de decisiones estratégicas y la

optimización de recursos en las comunidades energéticas, abriendo oportunidades para una gestión más eficaz y sostenible de la energía (Mohseni & Brent, 2022).

c. ***Articulación de una Estrategia Nacional:*** Se necesita una estrategia nacional coordinada para la energía, con un papel más destacado para la energía distribuida, local y comunitaria, para que Nueva Zelanda pueda cumplir sus objetivos de mitigación del cambio climático junto con otros beneficios sociales y económicos (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).

d. ***Superar las Barreras Estructurales:*** Es necesario abordar las barreras estructurales específicas del contexto neozelandés para facilitar una mayor difusión de las CE. Esto incluye la creación de marcos regulatorios propicios, el acceso a financiamiento y la capacitación técnica (Berka, MacArthurb, & Gonnellic, 2020).

5.6. Análisis y conclusión.

Para concluir el capítulo sobre la caracterización de los marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en los países seleccionados, es fundamental resaltar las similitudes y diferencias encontradas, así como las mejores prácticas y desafíos que emergen de este análisis.

A lo largo del capítulo, se ha examinado cómo cada país ha abordado la promoción de comunidades energéticas, destacando las políticas específicas que han facilitado su desarrollo y los obstáculos que aún persisten.

En el ***Reino Unido***, la implementación de tecnologías avanzadas como medidores inteligentes ha facilitado la participación de los consumidores. Sin embargo, las regulaciones actuales limitan su acceso a los mercados mayoristas, lo que crea dependencia de los minoristas para cubrir la demanda.

En ***Noruega***, aunque no existe un marco específico para comunidades energéticas, su liderazgo en energías renovables presenta oportunidades significativas, aunque enfrenta desafíos relacionados con la capacidad de exportación y el abastecimiento interno.

Los ***Estados Unidos*** muestran una diversidad regulatoria que permite innovaciones a nivel comunitario, pero esta variedad también genera confusión y obstáculos para la implementación uniforme de políticas.

Australia ha destacado por sus iniciativas de financiamiento comunitario, pero enfrenta retos en la integración efectiva de redes locales, lo que limita el potencial de las comunidades energéticas.

Finalmente, ***Nueva Zelanda*** ha implementado políticas que fomentan el empoderamiento comunitario, aunque se requiere una inversión significativa para fortalecer su infraestructura energética.

A continuación, se presenta la Tabla 5-1, resumen que sintetiza los hallazgos más relevantes de cada país analizado:

Tabla 5-1. Hallazgos más relevantes de cada país analizado:

País	Marcos Regulatorios Clave	Mejores Prácticas	Desafíos Identificados
Reino Unido	Directiva de la UE 2019/944	Despliegue de medidores inteligentes y plataformas digitales	Limitaciones en la participación directa en mercados mayoristas
Noruega	Integración en el mercado Nord Pool	Generación mayoritaria de energía renovable	Falta de un marco regulatorio específico para comunidades energéticas
Estados Unidos	Legislación estatal variada	Proyectos comunitarios innovadores	Diversidad regulatoria y falta de uniformidad
Australia	Leyes estatales sobre energía renovable	Iniciativas de financiamiento comunitario	Desafíos en la integración de redes locales
Nueva Zelanda	Políticas de sostenibilidad energética	Programas de empoderamiento comunitario	Necesidad de mayor inversión en infraestructura

Este análisis revela que, aunque cada país presenta un enfoque único hacia las comunidades energéticas, existen tendencias comunes que pueden ser aprovechadas para mejorar el contexto colombiano.

Las mejores prácticas observadas incluyen la implementación de tecnologías inteligentes, el fomento de la participación ciudadana y el establecimiento de marcos regulatorios claros que faciliten la creación y operación de estas comunidades. Sin embargo, también es evidente que los desafíos son significativos y requieren atención continua para asegurar el éxito a largo plazo de las iniciativas energéticas comunitarias.

En conclusión, este capítulo proporciona una base sólida para entender cómo los marcos regulatorios e institucionales pueden influir en el desarrollo de comunidades energéticas, ofreciendo valiosas lecciones que pueden ser adaptadas al contexto colombiano para promover una transición energética sostenible y participativa.

El siguiente capítulo se enfocará en las barreras y obstáculos institucionales y regulatorios que enfrentan las comunidades energéticas para su establecimiento y operación en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia. Se identificarán los desafíos regulatorios, institucionales y financieros que limitan la implementación efectiva de estas comunidades.

Capítulo 6. Barreras, obstáculos institucionales y regulatorios que enfrentan las comunidades energéticas para su establecimiento y operación en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia.

El establecimiento y operación de comunidades energéticas en Colombia enfrenta una serie de barreras y obstáculos que pueden limitar su viabilidad y efectividad. En este capítulo, se explorarán las dificultades institucionales y regulatorias que impactan el desarrollo de estas iniciativas en el Sistema Interconectado Nacional.

A medida que el país avanza hacia un modelo energético más sostenible, es crucial identificar y analizar estos desafíos para facilitar la implementación de comunidades energéticas que promuevan la eficiencia y la sostenibilidad.

El contexto colombiano presenta particularidades que requieren un enfoque específico, dado que las comunidades energéticas pueden desempeñar un papel fundamental en la transición hacia fuentes de energía renovable. Sin embargo, los marcos regulatorios existentes a menudo no están alineados con las necesidades de estas comunidades, lo que genera incertidumbre y limita su capacidad para operar de manera efectiva. Además, la falta de coordinación entre las diferentes entidades gubernamentales y la complejidad de los procesos regulatorios pueden obstaculizar el progreso.

En este capítulo, se abordarán aspectos como la falta de incentivos claros para la participación ciudadana, las restricciones en la conexión a la red eléctrica, y las limitaciones en el acceso a financiamiento. Asimismo, se examinarán ejemplos internacionales que podrían servir como referencia para superar estos obstáculos en Colombia. El análisis de estas barreras es esencial para desarrollar recomendaciones que fortalezcan el marco regulatorio e institucional, promoviendo así un entorno más favorable para las comunidades energéticas en el país.

A través de esta exploración, se espera contribuir a un entendimiento más profundo de los desafíos que enfrentan las comunidades energéticas en Colombia y ofrecer perspectivas sobre cómo superarlos para fomentar un sistema energético más inclusivo y sostenible.

6.1. Comunidades Energéticas en Colombia.

Las comunidades energéticas en Colombia son un concepto emergente que busca transformar la forma en que se produce, distribuye y consume la energía, promoviendo la participación ciudadana y la democratización del acceso a la energía. Sin embargo, su funcionamiento aún se encuentra en etapas tempranas de desarrollo y enfrenta desafíos regulatorios e institucionales (MinMinas , 2023).

6.1.1. Tipos de Comunidades Energéticas:

Entendiendo a las comunidades energéticas, ya definidas como entidades formadas por una agrupación de socios (personas físicas, asociaciones, pymes, administraciones públicas) que

voluntariamente y con participación cooperativa, establecen sus objetivos en la obtención de beneficios energéticos, sociales, medioambientales y económicos (MinMinas , 2023), (Colombia, 2024), (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021). Las comunidades se pueden agrupar según lo siguientes tipos:

6.1.1.1. Comunidades de Energías Renovables (REC):

Se enfocan en la generación de energía a partir de fuentes renovables, como la solar, eólica o biomasa (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023). Este tipo de comunidades busca reducir la dependencia de los combustibles fósiles y promover un modelo energético más sostenible. En Europa, este modelo ha ganado impulso gracias a las directivas de la Unión Europea que fomentan su participación en el sector energético (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021).

6.1.1.2. Comunidades Ciudadanas de Energía (CEC):

Las CEC se caracterizan por su enfoque en brindar servicios y beneficios a la comunidad local, con un fuerte énfasis en el acceso no discriminatorio a los mercados eléctricos Estas comunidades pueden adoptar diversas formas, como cooperativas de energía, donde los ciudadanos controlan y comparten proyectos de energía renovable o eficiencia energética (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023).

6.1.1.3. Comunidades de Autoconsumo Colectivo:

Las comunidades de autoconsumo colectivo permiten a sus miembros compartir la energía generada por un sistema de generación distribuida, como paneles solares instalados en un edificio o conjunto residencial (MinMinas , 2023), (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023), (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021). Este modelo fomenta el uso de la energía generada localmente y puede contribuir a la reducción de las facturas de electricidad de los participantes.

6.1.1.4. Comunidades de Generación Compartida:

En las comunidades de generación compartida, los miembros participan en la inversión y propiedad de un sistema de generación de energía renovable, compartiendo los beneficios económicos y energéticos derivados del proyecto (MinMinas , 2023).

6.1.2. Funcionamiento de las Comunidades Energéticas:

El funcionamiento de las comunidades energéticas se basa en la **cooperación y la autogestión de la energía** (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023). La cooperación en las comunidades energéticas se refiere a la colaboración entre ciudadanos, empresas, gobiernos locales, ONG y otras partes interesadas para lograr un objetivo común, como aumentar la capacidad de energía renovable, movilizar capital privado y brindar flexibilidad al sistema eléctrico. La autogestión, por otro lado, se centra en el empoderamiento de los ciudadanos para que puedan tomar decisiones autónomas sobre la energía que utilizan, gestionando principalmente las energías renovables y los servicios relacionados con ellas.

6.1.2.1. Constitución de la Comunidad:

a. ***Identificación de necesidades y objetivos:*** La comunidad define sus necesidades energéticas y los objetivos que busca alcanzar con la creación de la comunidad energética (Molina Castro, Buitrago, Téllez, Giraldo, & Zapata, 2023). Los miembros de la comunidad se organizan para:

- **Generar energía:** A través de sistemas de generación distribuida, como paneles solares, pequeñas centrales hidroeléctricas o sistemas de biomasa.
- **Consumir energía:** Los miembros de la comunidad consumen la energía generada por el sistema comunitario.
- **Almacenar energía:** Se pueden implementar sistemas de almacenamiento, como baterías, para optimizar el uso de la energía generada.
- **Intercambiar energía:** En algunos modelos, los miembros pueden intercambiar energía entre sí o con la red eléctrica.
- **Gestionar la demanda:** Se pueden implementar estrategias para reducir el consumo de energía y optimizar la eficiencia energética.

b. ***Elección del modelo:*** Se escoge el modelo de comunidad energética más adecuado a las necesidades del grupo. Se han propuesto 5 niveles de CE para Colombia, que van desde redes de conocimiento hasta la integración de comunidades (Molina Castro, Buitrago, Téllez, Giraldo, & Zapata, 2023):

- Nivel I – Red de conocimiento
- Nivel II – Desarrollo de espacios comunitarios
- Nivel III – Comunidad Transaccional
- Nivel IV – Comunidad Transactiva

  Nivel V – Integración de comunidades

c. ***Modelos de Gobernanza:*** La gobernanza de las comunidades energéticas se basa en la **participación democrática** y la toma de decisiones conjunta. Se pueden adoptar diferentes modelos de gobernanza (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021):

- **Cooperativas:** Los miembros son copropietarios de la comunidad energética y participan en la toma de decisiones (Molina Castro, Buitrago, Téllez, Giraldo, & Zapata, 2023).
- **Asociaciones:** Los miembros se unen bajo un acuerdo para desarrollar y gestionar el proyecto energético (MinMinas , 2023).
- **Fideicomisos comunitarios**: Se crea un fideicomiso para administrar los activos y los beneficios de la comunidad energética (Lawrence, España, & Ortega , 2022)

d. ***Esquemas Transaccionales:*** Para el intercambio de energía entre los miembros de la comunidad y con la red eléctrica, se requieren esquemas transaccionales que definan los roles, responsabilidades y mecanismos de compensación (Molina Castro, Buitrago, Téllez, Giraldo, & Zapata, 2023). Algunos esquemas incluyen:

- **Autoconsumo colectivo:** Este esquema se centra en el consumo interno de la energía generada por la comunidad, buscando minimizar la dependencia de la red eléctrica. La energía producida, por ejemplo, mediante paneles solares en los tejados de un edificio, se distribuye entre los miembros de la comunidad para cubrir sus necesidades. Un sistema de medición preciso es crucial para determinar el consumo individual y asegurar una distribución justa (Molina Castro, Buitrago, Téllez, Giraldo, & Zapata, 2023).
- **Balance neto:** Este esquema ofrece una solución para los casos en que la comunidad genera más energía de la que consume. Los excedentes se inyectan a la red eléctrica, y la comunidad recibe una compensación económica que se refleja en su facturación (MinMinas , 2023). La implementación de este esquema requiere medidores bidireccionales que registren tanto la energía consumida de la red como la energía inyectada (Barrera , Escobar, Maiguashca , & Rudnick, 2019). La normativa local definirá las tarifas de compensación, las cuales pueden variar significativamente entre países e incluso regiones (MinMinas , 2023), (Caro Acevedo, 2022).
- **Intercambio entre pares (P2P):** Este esquema permite a los miembros de la comunidad comprar y vender energía directamente entre ellos, sin la intervención de un proveedor tradicional justa. Se basa en plataformas digitales que facilitan las transacciones y establecen mecanismos transparentes para la fijación de precios. La viabilidad del P2P está sujeta a la existencia de un marco regulatorio que lo ampare y lo promueva (Molina Castro, Buitrago, Téllez, Giraldo, & Zapata, 2023).

Imagen 11. Constitución de una comunidad energética.

6.1.2.2. Implementación del Proyecto:

a. ***Estudio de viabilidad técnica:*** Se evalúan los recursos disponibles, la tecnología a utilizar y los aspectos técnicos de la conexión a la red (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021).

b. ***Obtención de financiación:*** Se buscan las fuentes de financiación necesarias para la inversión inicial y la operación del proyecto (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021).

c. ***Instalación del sistema energético:*** Se implementa la infraestructura de generación y distribución de energía, como paneles solares, sistemas de almacenamiento o microrredes. (Molina Castro, Buitrago, Téllez, Giraldo, & Zapata, 2023).

6.1.2.3. Operación y Gestión:

a. ***Operación y mantenimiento:*** La comunidad se encarga de la operación y mantenimiento del sistema energético, asegurando un suministro eficiente y confiable. (Molina Castro, Buitrago, Téllez, Giraldo, & Zapata, 2023).

b. ***Distribución de beneficios:*** Se establecen mecanismos para compartir los beneficios económicos, energéticos y sociales entre los miembros de la comunidad (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021).

c. ***Monitoreo y evaluación:*** Se realiza un seguimiento continuo del desempeño del proyecto para asegurar el cumplimiento de los objetivos y realizar ajustes si es necesario (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021).

6.1.3. Ejemplos de Comunidades Energéticas en Colombia en el SIN:

6.1.3.1. Distrito térmico de La Alpujarra, Medellín:

Este distrito, inaugurado en diciembre de 2016, es el primero de su tipo en Latinoamérica. Beneficia a cerca de 10.000 personas y se estima que genera un ahorro energético de entre el 15% y el 20% en los edificios que abastece. Además, ha eliminado el uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono y ha reducido las emisiones de CO2 en un 30% (MinMinas , 2023).

6.1.3.2. Complejo Serena del Mar, Cartagena:

Este macroproyecto urbano cuenta con un distrito energético que ha logrado reducir las emisiones de CO2 en un 89% y el consumo energético en aproximadamente un 30,7% en comparación con los sistemas tradicionales de aire acondicionado. El distrito presta servicios a edificios de diferentes sectores, incluyendo salud, educación, entretenimiento, hotelería y negocios (MinMinas , 2023).

6.1.3.3. La Comunidad Solar La Estrecha en Medellín:

La iniciativa Transactive Energy Colombia, liderada por la Universidad EIA, impulsó en 2020 el proyecto La Estrecha, motivado por la experiencia de un residente del barrio El Salvador, quien había participado en un piloto de intercambio de energía entre pares (P2P). Su instalación de paneles solares en el tejado generó interés entre sus vecinos, quienes vieron la oportunidad de ahorrar en sus facturas de energía y ser pioneros en el desarrollo de una comunidad energética en el país. Este proyecto se llevó a cabo en una calle cerrada con 24 hogares de estrato socioeconómico 3, donde se instalaron dos sistemas fotovoltaicos con una capacidad total de 20 kWp (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021).

A pesar de que la energía generada se vende a EPM (Empresas Públicas de Medellín) y no se contemplaba el autoconsumo, los participantes reciben descuentos en sus facturas proporcionales a las ventas (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021).

La inversión fue financiada por actores externos, y aunque se estimó que el sistema podría generar 2100 kWh/mes, la reducción real en las facturas fue solo del 10% debido a los precios

de venta. Además, el proyecto enfrentó desafíos regulatorios y la dificultad de transferir los activos a la comunidad al finalizar la iniciativa, resaltando la importancia de la organización y educación comunitaria para el éxito de futuros proyectos energéticos (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021).

6.1.3.4. Reto Comunidades Energéticas 2021:

Esta iniciativa del Ministerio de Minas y Energía buscaba incentivar la creación de comunidades energéticas en el país. La propuesta ganadora fue el desarrollo de un vivero de plantas ancestrales en la comunidad Los Robles (Molina Castro, Buitrago, Téllez, Giraldo, & Zapata, 2023).

6.2. La Gestión de Energía por Parte de los Usuarios Según la Ley 142

La Ley 142 de 1994 establece el marco regulatorio para los servicios públicos domiciliarios en Colombia, incluyendo la energía eléctrica. Si bien la ley no aborda explícitamente la gestión de energía por parte de los usuarios a través de comunidades energéticas, sí contempla la **figura del autogenerador**, lo cual abre la posibilidad para que los usuarios asuman un rol más activo en la producción de energía.

- **Artículo 16:** Define la aplicación de la ley a los productores de servicios marginales, independientes o para uso particular. Este artículo establece que los productores de energía para uso particular se someten a ciertos artículos de la ley y a las normas que rigen las empresas de servicios públicos cuando suministran energía a terceros de forma masiva o a cambio de remuneración.
- **Artículo 91:** Establece que quienes generen su propia energía y la vendan a terceros o asociados, con una capacidad instalada superior a 25.000 kW, deben contribuir al fondo de solidaridad y redistribución de ingresos.
- **Artículo 93:** Adicionado por la Ley 1215 de 2008, permite a los usuarios que produzcan energía mediante cogeneración vender los excedentes a empresas comercializadoras de energía.

Estos artículos sugieren que la Ley 142 reconoce la posibilidad de que los usuarios generen su propia energía, incluso para la venta de excedentes. Sin embargo, **no se establece un marco específico para la gestión comunitaria de la energía**.

Es importante destacar que la Ley 142 se centra en la regulación de las empresas de servicios públicos y no en la promoción de nuevos modelos de participación ciudadana como las comunidades energéticas.

6.3. Adecuaciones según el Código de Medida para Comunidades Energéticas

El Código de Medida colombiano, Resolución CREG 038 de 2014, (CREG, 2014), establece las normas técnicas para la medición de la energía eléctrica. Aunque no se refiere

explícitamente a las comunidades energéticas, sus disposiciones pueden aplicarse para determinar las adecuaciones necesarias para su establecimiento.

a. ***Medición Bidireccional:*** Para que una comunidad energética pueda intercambiar energía con la red, es fundamental contar con sistemas de **medición bidireccional**. Estos sistemas registran tanto la energía consumida de la red como la energía inyectada por la comunidad. El Código de Medida establece los requisitos técnicos para estos sistemas, asegurando la precisión y confiabilidad de las mediciones.

b. ***Fronteras Comerciales:*** La regulación colombiana define diferentes tipos de fronteras comerciales para la medición de la energía. Para las comunidades energéticas, se deben establecer **fronteras comerciales que permitan la medición individual de los consumos de cada miembro**, así como la medición agregada de la energía generada e intercambiada con la red.

c. ***Comunicación y Telemedida:*** La implementación de sistemas de **telemedida** permite la lectura remota de los medidores y el monitoreo en tiempo real de los flujos de energía. Esta tecnología facilita la gestión eficiente de la comunidad energética y el control de los intercambios con la red. El Código de Medida establece los protocolos de comunicación y los estándares técnicos para la telemedida.

d. ***Centro de Gestión de la Medida (CGM):*** Su papel es fundamental para la transición energética en Colombia. La eficiencia y la seguridad del CGM son cruciales para la integración de las nuevas tecnologías y modelos de negocio, como la generación distribuida, las comunidades energéticas y las plataformas de transacción de energía.

6.4. Barreras Institucionales y Regulatorias para las Comunidades Energéticas en Colombia

Las comunidades energéticas (CE) representan una alternativa viable para democratizar el acceso a la energía y fomentar la transición hacia fuentes renovables en Colombia. Sin embargo, su establecimiento y funcionamiento dentro del Sistema Interconectado Nacional (SIN) se ven obstaculizados por diversas barreras institucionales y regulatorias que limitan su desarrollo y la participación de la sociedad civil en la transformación del sector energético.

A pesar de que las CE son mencionadas en el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, Colombia carece de un marco regulatorio claro que defina los roles, responsabilidades y mecanismos operativos de estas comunidades. Esta ausencia genera incertidumbre para los inversionistas y limita el desarrollo de modelos de negocio sostenibles.

La legislación vigente establece que los generadores y comercializadores deben ser empresas de servicios públicos, lo que dificulta la participación de las comunidades en la generación de energía. Esta restricción limita la autonomía y el control local sobre los recursos energéticos.

Las regulaciones actuales no facilitan la inclusión de las CE en los mercados energéticos, restringiendo su capacidad para comercializar excedentes de energía e interactuar con otros actores del sistema. Esto afecta directamente su viabilidad económica y operativa.

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.

Las entidades responsables de la transición energética enfrentan desafíos significativos en términos de coordinación interinstitucional y acceso a la información. Esta debilidad afecta la capacidad del Estado para promover y regular efectivamente las CE, dejando a muchas comunidades sin el apoyo necesario.

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 impide que estas poblaciones se beneficien plenamente de la transición energética y participen activamente en la toma de decisiones sobre su futuro energético. Además, existe el riesgo donde actores externos pueden apropiarse del discurso comunitario sin un compromiso real con el empoderamiento local.

El siguiente capítulo se centrará en la evaluación del impacto financiero que tendría para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional de Colombia su cambio a una comunidad energética. Se explorarán diversos factores, tales como el ahorro en tarifas eléctricas y la inversión inicial requerida para establecer infraestructuras de generación renovable. Se considerarán las barreras institucionales y regulatorias que pueden afectar el rendimiento financiero de las comunidades energéticas. El análisis buscará cuantificar el impacto financiero directo, e identificar las condiciones necesarias para que estas iniciativas sean sostenibles y rentables a largo plazo. Se presentará un ejemplo paso a paso de cómo se podría establecer una comunidad energética en Colombia, junto con una evaluación del impacto financiero para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional.

Capítulo 7. Evaluación del impacto financiero que tendría para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional de Colombia su cambio a comunidad energética.

Este capítulo se centrará en la evaluación del impacto financiero que tendría para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional (SIN) su cambio a una comunidad energética. La adopción de este modelo no solo tiene implicaciones económicas, sino que también puede influir en la dinámica social y ambiental de las comunidades involucradas.

Las comunidades energéticas permiten a los usuarios generar, consumir y gestionar su propia energía, lo que potencialmente reduce costos y mejora la resiliencia frente a fluctuaciones del mercado energético. Sin embargo, es crucial analizar cómo estas ventajas se traducen en beneficios financieros concretos para los usuarios. Para ello, se explorarán diversos factores, tales como el ahorro en tarifas eléctricas, la inversión inicial requerida para establecer infraestructuras de generación renovable, y el impacto de las regulaciones existentes sobre la viabilidad económica de estos proyectos.

Además, se considerarán las barreras institucionales y regulatorias que pueden afectar el rendimiento financiero de las comunidades energéticas. La falta de un marco regulatorio claro y los procesos burocráticos complejos pueden limitar la capacidad de las comunidades para maximizar sus beneficios económicos. Por lo tanto, este análisis no solo buscará cuantificar el impacto financiero directo, sino también identificar las condiciones necesarias para que estas iniciativas sean sostenibles y rentables a largo plazo.

7.1. Ejemplo de una Comunidad Energética en Colombia y su Impacto Financiero

A continuación, se presenta un ejemplo paso a paso de cómo se podría establecer una comunidad energética en Colombia, considerando las figuras y mecanismos existentes descritos en las fuentes, junto con una evaluación del impacto financiero para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional.

7.1.1. Identificación de la Comunidad y sus Objetivos:

Un grupo de vecinos de un conjunto residencial en Medellín decide formar una comunidad energética, se establecen objetivos comunes, como reducir costos de electricidad y promover el uso de energías renovables, instalar un sistema solar fotovoltaico para autoconsumo, explorar la posibilidad de vender excedentes de energía a la red. y fomentar la educación energética en la comunidad.

Se toma como grupo de estudio base a 25 familias en un barrio estrato 4, cuya tarifa no es subsidiada ni contribuyente (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2013), es decir tiene tarifa plena, y la propiedad de los activos es 100% del Operador de Red, por lo que su cargo de distribución dentro del Costo Unitario tiene un cargo por el uso de estos.

7.1.2. Estudio de Factibilidad:

7.1.2.1. Recursos:

Se lleva a cabo una evaluación del potencial para la generación de energía renovable en el conjunto residencial. La comunidad realiza un diagnóstico para identificar los recursos disponibles, tales como techos aptos para la instalación de paneles solares.

Así mismo se hace uso del tablero de control de Minminas, el cual muestra el potencial promedio de acuerdo con la ubicación de las comunidades energéticas en Colombia (MinMinas, 2024). Para una ubicación en la ciudad de Medellín, se tiene potencial alto en irradiación solar, mientras que en recursos como el hídrico, biomasa y de velocidad del viento, es bajo o muy bajo Imagen 12 e Imagen 13.

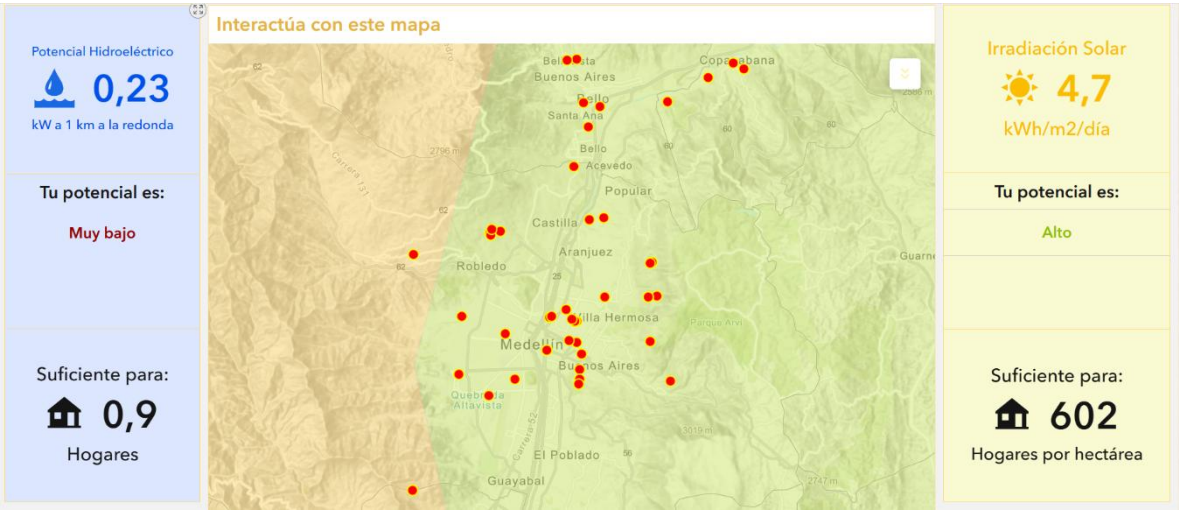

Imagen 12. Disponibilidad de recursos hídrico y solar para comunidades energéticas en Medellín. Tablero interactivo (MinMinas, 2024)

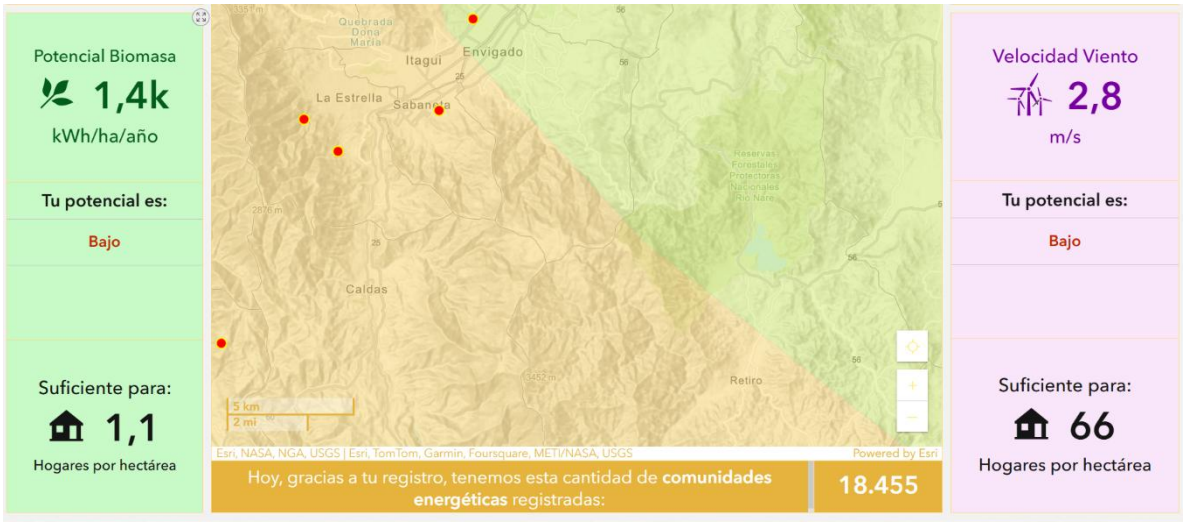

Imagen 13. Disponibilidad de recursos biomasa y velocidad del viento para comunidades energéticas en Medellín. Tablero interactivo (MinMinas, 2024).

Tras este análisis, se concluye que la implementación de paneles solares en los techos de los edificios es una opción viable.

7.1.2.2. Consumo:

Se analizan los patrones de consumo de energía de los usuarios para determinar la capacidad de generación necesaria, de acuerdo con (XM, 2024), la curva de demanda de energía en Colombia tiene tres puntos importantes:

- Amanecida (05:00 a 07:00)
- Punta uno (11:00 a 13:00)
- Punta dos (18:00 a 21:00), que es el punto de mayor consumo de potencia eléctrica en el país

La demanda de energía en Colombia tiene una tendencia que depende del tipo de día:

- De lunes a viernes, el consumo es promedio
- El sábado, el consumo es particular
- Los domingos y festivos, el consumo de energía eléctrica es similar.

Se toma una línea base de consumo de 180 kWh mes promedio por cada familia (UPME, 2019). De acuerdo con (EPM, 2024), la tarifa promedio para el mercado seleccionado de enero a noviembre 2024 fue de $874,13, es decir que, en promedio, cada familia paga COP $157.343,4 por su consumo de energía.

7.1.2.3. Aspectos técnicos:

A continuación, se presenta un análisis técnico-económico del proyecto de energía solar fotovoltaica (SFV), Se estiman parámetros clave como el área, potencia, generación y consumo de energía. Se proyecta una generación cercana al consumo, con un ahorro estimado en emisiones de CO2.

Para la comunidad energética que se ejemplifica, se calcula un consumo anual de aproximadamente 54.000 kWh, y para que la generación esperada de energía supere ligeramente el consumo estimado, con un potencial para la venta de excedentes al SIN, se requiere un área útil aproximada de 200 m^2. La irradiación solar en la región, según datos de SOLARGIS, es de aproximadamente 2230 kWh/m² al año, lo que respalda la viabilidad del proyecto.

Se instalarían entonces, 67 paneles solares con una potencia unitaria de 540 W, lo que resulta en una potencia total de 36 kWp en corriente continua.

La inversión inicial para la instalación del sistema fotovoltaico se estima en 3.5 millones de pesos COP por kWp instalado (Sunny Future, 2024). Este costo incluye la compra e instalación de paneles solares, inversores y estructuras soporte.

A continuación, se muestra en la Tabla 7-1 los parámetros básicos de la comunidad energética.

Tabla 7-1 Parámetros Básicos del proyecto solar diseñado para la comunidad energética.

PARAMÉTROS BÁSICOS DEL PROYECTO SFV DE LA COMUNIDAD ENERGÉTICA	
Área Calculada [m2]	**200**
Potencia en Paneles Solares [kW - DC]	**36,2**
Generación Esperada [kWh-Año]	**54.393**
Consumo Estimado [kWh-Año]	**54.000**
% Generación VS Consumo	**101%**
irradiación según SOLARGIS kWh/m2	**2.230**
Viviendas equivalentes de 180 kWh	**25**
Potencia estimada de cada panel [W]	**540**
Paneles por instalar [Un]	**67**
Área estimada [m2 / kWp]	**5,6**
Capacidad de estructuras [kg / m2]	**20**
Capacidad de Transformador (kVA)	**150**
Propiedad del Transformador	**100%OR**
Valor estimado VENTA Proyecto PyS	**$ 126.000.000**

De acuerdo con el diseño básico planteado, se crea un perfil de consumo y generación que se grafica a continuación, con unos excedentes estimados de alrededor del 65%.

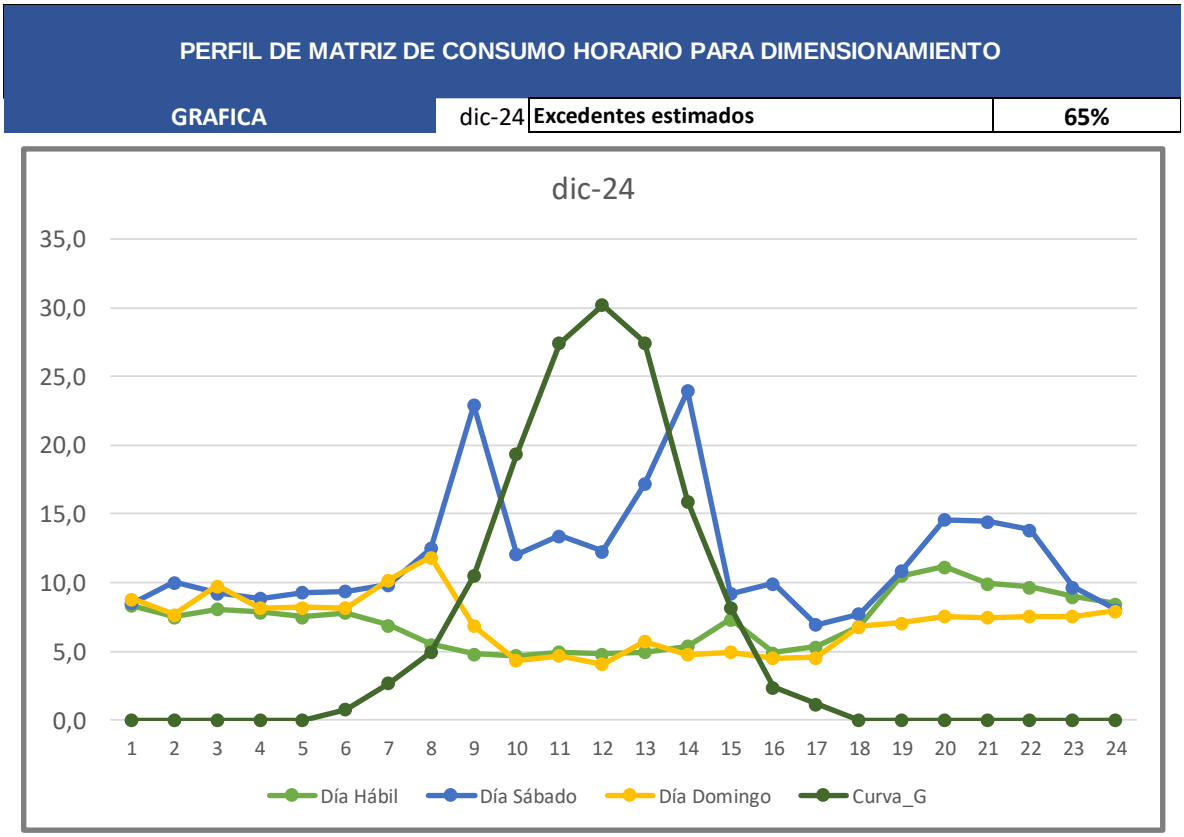

Imagen 14. Perfil de matriz de consumo horario para dimensionamiento del proyecto

El concepto del 65% de excedentes se refiere a la cantidad de energía generada por el sistema solar que no es consumida directamente por la comunidad energética en un momento dado. En el contexto de un sistema de autoconsumo, la idea principal es que la energía solar producida se utilice principalmente para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad. Sin embargo, cuando la generación solar supera el consumo inmediato, se produce un excedente.

El sistema solar está diseñado para priorizar el consumo de la energía generada localmente por los miembros de la comunidad. Esto reduce la dependencia de la red eléctrica tradicional y disminuye los costos de electricidad. Cuando la producción de energía solar es mayor que el consumo, se genera un excedente de energía. Este excedente no se desperdicia, sino que, a través de la medida bidireccional, se entrega a la red y en un período mensual de facturación, los excedentes de energía se "netean" o se compensan con el consumo convencional de la red.

Este proceso de neteo implica que si la comunidad consumió más energía de la red de la que generó en un mes, se facturará la diferencia. Si la comunidad generó más energía de la que consumió de la red, se puede recibir una compensación o un crédito en la factura.

Este sistema de balance neto busca compensar la energía exportada a la red con la energía importada.

Si durante un mes, la comunidad genera un 65% más de energía de la que consume, ese excedente se utilizará para reducir la cantidad de energía que la comunidad necesita comprar de la red. Si el excedente es mayor que el consumo de la red, la comunidad puede recibir un crédito en su factura de electricidad por esa energía que inyectó a la red, a un precio establecido por la regulación.

De acuerdo con la regulación vigente en Colombia, un AGPE que sea excedentario recibe una remuneración por sus excedentes de energía a través de un sistema de compensación en la factura de energía. Esto se establece en la Resolución CREG 030 de 2018 (CREG, 2018), la cual regula la autogeneración a pequeña escala y la generación distribuida en el país.

La remuneración de los excedentes para un AGPE se basa en la compensación de la energía inyectada a la red con la energía consumida, utilizando la misma tarifa que paga el usuario por la energía de la red restándole el margen comercial. Si hay un excedente adicional, se remunera al precio de bolsa.

En esencia, el sistema de autoconsumo con neteo mensual busca maximizar el uso de energía solar generada localmente, minimizando la dependencia de la red eléctrica y optimizando los costos para la comunidad. Los excedentes del 65% representan la energía que no se consume directamente en el momento de la generación, pero que se utiliza para compensar el consumo de energía de la red en el periodo de facturación.

La implementación de un sistema solar fotovoltaico para esta comunidad energética no solo proporcionaría beneficios económicos a través del ahorro en costos energéticos y posibles ingresos por excedentes. Este proyecto representa una alternativa viable para los usuarios residenciales del SIN, alineándose con las tendencias globales hacia energías limpias y sostenibles.

7.1.2.4. Aspectos Legales y trámites:

En Colombia, el marco legal para las comunidades energéticas aún está en desarrollo. Sin embargo, algunos aspectos legales y trámites importantes que una comunidad energética o un proyecto de generación distribuido debería considerar incluyen:

a. ***Constitución de la entidad jurídica:*** La comunidad energética debe constituirse como una entidad jurídica reconocida por la ley colombiana, como una cooperativa, asociación, corporación o empresa. Este proceso implica la elaboración de estatutos, la elección de una junta directiva y la inscripción en los registros correspondientes. (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023).

b. ***Conexión a la red y permisos:*** La comunidad energética debe obtener permisos y licencias del operador de red para conectarse al sistema eléctrico. Esto incluye cumplir con los códigos de red, las especificaciones técnicas y los requisitos de seguridad. (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021). Es necesario presentar un plan de conexión que detalle la capacidad de generación, los equipos utilizados y los puntos de interconexión.

c. ***Cumplimiento de la regulación:*** Las comunidades energéticas deben cumplir con la normativa vigente en materia de energía, incluyendo la Ley 1715 de 2014 y sus decretos reglamentarios (Caro Acevedo, 2022) La regulación define los roles y responsabilidades de los diferentes actores del mercado energético, incluyendo los autogeneradores y las comunidades energéticas.

d. ***Trámites administrativos:*** Es necesario registrarse ante las autoridades competentes, como la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023). Se deben obtener los permisos ambientales y de construcción necesarios para el desarrollo de la infraestructura energética. La comunidad energética debe cumplir con las obligaciones fiscales y tributarias correspondientes.

7.1.3. Diseño del Modelo de Comunidad Energética:

En esta sección, se describe la creación de una comunidad energética transaccional (Nivel III) con un modelo de autoconsumo colectivo y excedentes. El objetivo principal es promover la participación equitativa de todos los miembros en la generación y gestión de la energía, aprovechando las ventajas del autoconsumo colectivo y la posibilidad de obtener ingresos por la venta de excedentes a la red.

a. ***Tipo de Comunidad y nivel:*** Se ha elegido el modelo de autoconsumo colectivo con excedentes para esta comunidad energética (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023), (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021). Este modelo permite a los miembros de la comunidad compartir la energía generada por una instalación de energía renovable, generalmente ubicada en un espacio común, y vender el excedente de energía a la red eléctrica.
   La comunidad operará como una Comunidad Transaccional (Nivel III) (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023). Esto significa que los miembros de la comunidad compartirán los recursos energéticos provenientes de la autogeneración o generación distribuida, y se encontrarán ubicados en la misma zona.

b. ***Participación:*** Se implementará un mecanismo de participación equitativo para todos los miembros de la comunidad (MinMinas, 2023). Esto asegurará que todos los miembros tengan voz y voto en la toma de decisiones y que los beneficios se distribuyan de forma justa.
   De acuerdo con (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023), la participación activa de los miembros se fomentará a través de:

   - Asambleas periódicas para discutir temas relevantes para la comunidad.
   - Talleres educativos sobre temas energéticos (MinMinas, 2024).

- Canales de comunicación efectivos para compartir información y facilitar la interacción entre los miembros (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021).

c. ***Gobernanza:*** Se establecerá una junta directiva responsable de la toma de decisiones y la gestión de la comunidad (Cárdenas Álvarez, y otros, 2021) (Molina Castro , Buitagro , Téllez , Giraldo, & Zapata, 2023). La junta directiva estará compuesta por miembros de la comunidad elegidos democráticamente y sus funciones incluirán:

- Definir la estrategia a largo plazo de la comunidad.
- Administrar los recursos financieros.
- Supervisar la operación y el mantenimiento de la instalación de energía.
- Representar a la comunidad ante terceros.

7.1.4. Financiación del Proyecto:

Para hacer realidad el proyecto de la comunidad energética, se puede revisar un escenario ideal donde los miembros tienen el dinero del proyecto completo. Sin embargo, este escenario no siempre se da, por lo que se ha definido un plan de financiación que combina los aportes de los miembros, la búsqueda de financiación externa y un modelo de negocio para el reparto de beneficios.

a. ***Aportes de los Miembros:*** Se solicitará a cada miembro de la comunidad una contribución inicial para financiar la instalación de los paneles solares. El monto de esta contribución se determinará en asamblea, buscando un equilibrio entre la capacidad de aporte de los miembros y la necesidad de asegurar un capital inicial sólido. La transparencia será fundamental en este proceso, informando a los miembros sobre el destino de sus aportes y los costos detallados del proyecto.

b. ***Financiamiento Externo:*** Se explora la posibilidad de obtener financiación de entidades bancarias o programas gubernamentales de apoyo a las energías renovables. Se analizarán las líneas de crédito especializadas en proyectos de energías renovables ofrecidas. También se investigarán las convocatorias de subsidios o programas de incentivos disponibles a nivel nacional. La búsqueda de financiación externa permitirá reducir la carga financiera sobre los miembros de la comunidad y acelerar la implementación del proyecto.

c. ***Modelo de Negocio:*** Se define un esquema de reparto de los beneficios generados por la venta de los excedentes de energía. Este esquema se basará en los siguientes principios:

- ***Equidad:*** Los beneficios se distribuirán de forma proporcional a la contribución inicial de cada miembro al proyecto.

- ***Transparencia:*** Se llevará una contabilidad detallada de los ingresos y gastos de la comunidad, y se informará a los miembros periódicamente sobre el estado financiero del proyecto.
- ***Reinversión:*** Una parte de los beneficios se destinará a un fondo de reserva para el mantenimiento de la instalación y la futura expansión del proyecto.
- ***Beneficios sociales:*** Se considerará la posibilidad de destinar una parte de los beneficios a proyectos sociales o ambientales que beneficien a la comunidad en general.

7.1.5. Operación y Mantenimiento:

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de generación de energía solar y la satisfacción de los usuarios, se implementará un plan de operación y mantenimiento que incluye:

a. ***Monitoreo:*** Se establece un sistema de monitoreo para verificar el funcionamiento de los paneles solares y el consumo de energía de los usuarios. Este sistema permite detectar anomalías en el sistema, como fallos en los paneles solares o consumos anormales, además de realizar un seguimiento del rendimiento del sistema y la producción de energía y obtener información valiosa para la toma de decisiones, como la optimización del consumo de energía o la planificación de futuras expansiones.

b. ***Mantenimiento:*** Se debe contratar un servicio de mantenimiento preventivo y correctivo para los paneles solares. Este servicio incluye inspecciones regulares para detectar posibles daños o deterioros en los paneles, limpieza de los paneles para asegurar su máxima eficiencia, reparación o reemplazo de componentes defectuosos, actualización del software del sistema de monitoreo.

Los costos de mantenimiento serán asumidos por los usuarios, se considera un porcentaje del costo total del sistema fotovoltaico como referencia para los gastos de mantenimiento. Esto permitirá un balance más preciso de ingresos y egresos para la comunidad energética.

Costos de Mantenimiento:
En el análisis financiero de la comunidad energética, se debe incluir un costo de mantenimiento anual, estimado como un porcentaje del costo total de la instalación del sistema solar fotovoltaico. Aunque las fuentes no especifican un porcentaje exacto, es una práctica común en el sector usar un rango del 1% al 3% del costo inicial del sistema como referencia.
El costo inicial del sistema fotovoltaico se estima en **COP $126.000.000**, usando un rango de 1% a 3% del costo inicial, el costo anual de mantenimiento estaría entre **COP $1.260.000 y COP $3.780.000**. Este costo cubriría inspecciones regulares, limpieza de los paneles, reparaciones menores y reemplazo de componentes, asegurando la eficiencia y vida útil del sistema.

7.1.6. Transacción de Energía:

En una comunidad energética, las transacciones de energía pueden funcionar de diversas maneras, permitiendo un uso eficiente y colaborativo de la energía generada. A continuación, se explican las dos principales transacciones de energía propuesta para la comunidad energética:

a. ***Autoconsumo:*** Los usuarios de la comunidad consumen la energía generada por los paneles solares. Esta es la forma más directa de beneficiarse de la energía renovable, reduciendo la dependencia de la red eléctrica tradicional.

b. ***Excedentes:*** La energía excedente, es decir, la energía generada que no es consumida por la comunidad se puede vender a la red de distribución (Caro Acevedo, 2022). Esta venta se realiza a través de un comercializador de energía o un agregador, quienes actúan como intermediarios entre la comunidad y la red.

En Colombia, la figura del Generador Distribuido permite la venta de excedentes de energía a la red. Al ser un sistema solar de menos de 100 kWp, la remuneración de los excedentes se realiza mediante un sistema de compensación en la factura de energía.

Según la Resolución CREG 030 de 2018 (CREG, 2018), que regula la autogeneración a pequeña escala y la generación distribuida en Colombia, los excedentes de energía se reconocen como créditos de energía para el usuario. Estos créditos se descuentan del valor total de la factura de energía. El precio de la energía utilizada para calcular la compensación corresponde a la tarifa que paga el usuario por la energía consumida de la red.

Los excedentes menores o iguales a la energía importada de la red se permutan por la energía importada. Por la energía permutada, el comercializador cobra al usuario el costo de comercialización. Los excedentes que sobrepasan la energía importada se liquidan al precio horario de Bolsa de Energía.

Sin embargo, la regulación actual presenta algunas barreras para la consolidación de comunidades energéticas bajo esta figura, como la obligatoriedad de constituirse como Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios (E.S.P.) (Ramírez Tovar, España Forero, Duque Restrepo, & Giraldo Quiroz, 2023).

7.1.7. Evaluación del Impacto Financiero:

Para evaluar el impacto financiero que tendría para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional de Colombia su cambio a una comunidad energética, es necesario analizar los costos y beneficios asociados a este cambio.

a. ***Costos:***

- ***Inversión inicial:*** La instalación de un sistema solar fotovoltaico requiere una inversión inicial significativa. Como ya se mencionó, la inversión inicial se estima en 3.5 millones de pesos COP por kWp instalado, lo que se traduce en una inversión total de 126 millones de pesos COP para un sistema de 36 kWp.

- ***Mantenimiento:*** Los paneles solares requieren un mantenimiento regular para asegurar su eficiencia a largo plazo. Los costos de mantenimiento incluyen la limpieza de los paneles, la inspección de los componentes y la reparación o reemplazo de piezas defectuosas. El costo inicial del sistema fotovoltaico se estima en **COP $126.000.000**, usando un rango de 1% a 3% del costo inicial, el costo anual de mantenimiento estaría entre **COP $1.260.000 y COP $3.780.000**.
- ***Costos de operación:*** La comunidad energética deberá asumir costos de operación, como la gestión de la comunidad, la facturación y la administración de los excedentes de energía.
- ***Establecer un fondo de reserva:*** Se sugiere crear un fondo de reserva con parte de los ingresos para cubrir los gastos de mantenimiento, posibles reparaciones imprevistas y futuras expansiones del sistema, podría ser un porcentaje de lo que se paga actualmente por energía.
- ***Monitoreo continuo:*** Es crucial realizar un monitoreo constante del sistema para detectar fallas o pérdidas de eficiencia, lo que permitirá optimizar el mantenimiento y maximizar los ingresos. Esto podría llegar a tener un costo asociado sobre todo administrativo por análisis de datos y gestión de la energía.
- ***Transparencia:*** Es necesario llevar una contabilidad detallada de todos los ingresos y egresos de la comunidad energética y presentar reportes periódicos a sus miembros, lo que también puede acarrear costos administrativos.
- ***Medición:*** Para abordar el proceso de medición y la entrega de excedentes a las familias en la comunidad energética, se deben considerar tanto la regulación de la generación distribuida en Colombia como la propuesta de medición inteligente por usuario.

i. **Medición de la Generación y Entrega de Excedentes bajo el Enfoque de Generación Distribuida:**

La medición de la generación total del sistema solar fotovoltaico es un punto crucial. Se realiza a través de un medidor bidireccional instalado en el punto de conexión del sistema con la red de distribución. Este medidor registra tanto la energía generada por el sistema como la energía consumida de la red. Como ya se explicó, bajo la regulación de generación distribuida, los excedentes se manejan desde en neteo de energía o compensación en factura a precio de bolsa, si el sistema es excedentario.

En caso de que el sistema sea excedentario, el ingreso obtenido por la venta de excedentes a precio de bolsa podría destinarse a un fondo para gastos asociados a la operación y mantenimiento del sistema.

Este enfoque es relativamente simple de implementar, ya que se basa en la infraestructura de medición existente y la regulación vigente para autogeneradores a pequeña escala. Al realizar un solo punto de medición, se evitan costos adicionales asociados a la instalación y gestión de múltiples medidores individuales. Sin embargo, la distribución de los beneficios por excedentes, aunque podría destinarse a un fondo común, no refleja el aporte individual de cada usuario en la generación de energía y, por lo tanto, podría percibirse como menos equitativo. Los usuarios pueden percibir un menor incentivo para optimizar su consumo de energía, ya que el

beneficio de los excedentes se diluye entre la comunidad y no se ve reflejado individualmente en sus facturas, básicamente no habría una gestión eficiente por cada usuario.

i. **Propuesta de Medición Inteligente por Usuario y Distribución Equitativa:**

Esta propuesta implica la instalación de medidores inteligentes en cada uno de los 25 hogares de la comunidad. Estos medidores no solo registrarían el consumo de cada hogar, sino también su contribución individual a la generación del sistema fotovoltaico. La generación total del sistema SFV se divide equitativamente entre los 25 hogares. De esta manera, se asigna a cada hogar una cuota proporcional de la energía generada, independientemente de su consumo individual. Cada hogar realiza su propio neteo individual con la red. Este neteo compara la energía consumida de la red con la cuota proporcional de energía generada asignada a cada hogar. Si un hogar consume más energía de la red de la que se le asignó como cuota, se factura la diferencia. Si un hogar genera más energía de la asignada como cuota, este excedente se puede compensar en Factura, aplicando el mismo mecanismo de compensación de la regulación, donde el excedente se remunera al precio de la tarifa de consumo y los excedentes adicionales al precio de bolsa o acumular en un Fondo, parte de los excedentes individuales podrían destinarse a un fondo común para operación y mantenimiento.

Con este sistema, cada usuario recibe un beneficio directo y proporcional a su contribución al proyecto, incentivando a un consumo eficiente y a una participación activa en la gestión de la energía. Al ver el impacto directo en su factura, los usuarios estarán más motivados a reducir su consumo de energía y a gestionar su propia energía, teniendo un mayor control sobre su consumo y los beneficios que obtiene del sistema, pudiendo tomar decisiones más informadas sobre sus patrones de uso.

La implementación de un sistema de medición inteligente individual es más compleja y costosa, ya que requiere la instalación y gestión de 25 medidores adicionales. El costo de adquisición, instalación, y mantenimiento de los medidores inteligentes por usuario incrementa la inversión inicial y los costos operativos

ii. Análisis Comparativo

A continuación, se hace un análisis comparativo de las dos propuestas de medición y entrega de excedentes: la generación distribuida con neteo grupal y la medición inteligente por usuario con neteo individual. La Tabla 7-2 presenta las características principales de cada método para facilitar la toma de decisiones de la comunidad.

Tabla 7-2. análisis comparativo de las dos propuestas de medición y entrega de excedentes: la generación distribuida con neteo grupal y la medición inteligente por usuario con neteo individual.

Característica	Generación Distribuida (Neteo Grupal)	Medición Inteligente por Usuario (Neteo Individual)
Medición de la Generación	Un solo medidor bidireccional para la generación total del sistema SFV.	Medidores inteligentes individuales en cada hogar, registrando consumo y contribución a la generación.
Distribución de la Generación	No se divide la generación. Los excedentes se netean con el consumo total de la comunidad y el excedente se compensa a precio de bolsa	La generación total se divide equitativamente entre los 25 hogares.
Neteo	Neteo entre la energía generada total y la energía consumida total de la red. El excedente, si existe, se compensa a precio de bolsa y va a un fondo para gastos de la comunidad.	Neteo individual por cada hogar comparando su cuota de generación asignada con su consumo de la red. El excedente, si existe, se puede compensar a precio de la tarifa y los adicionales a precio de bolsa o destinarlo a un fondo.
Transparencia y Equidad	Baja transparencia en la distribución de beneficios puede percibirse como menos equitativo.	Alta transparencia y equidad, cada usuario recibe un beneficio proporcional a su participación, incentivando la eficiencia.
Incentivo Individual	Menor incentivo individual para optimizar el consumo de energía.	Mayor incentivo individual para reducir el consumo y participar en la gestión de la demanda.
Complejidad de la Implementación	Simple, se basa en la infraestructura y regulación existente.	Más complejo, requiere la instalación de 25 medidores individuales y un sistema de gestión de datos más sofisticado.
Costos	Menores costos iniciales y de gestión.	Mayores costos iniciales y de gestión debido a la necesidad de medidores inteligentes y la gestión de datos.
Regulación	Se adapta bien a la regulación actual de autogeneración distribuida.	Requiere un marco regulatorio que permita la medición neta individual y el balance de energía en comunidades energéticas.

La elección entre ambos enfoques depende de las prioridades de la comunidad. Si se busca una solución simple y de bajo costo, el modelo de generación distribuida con neteo grupal puede ser una opción adecuada, aunque con menos transparencia. Sin embargo, si se prioriza la transparencia, la equidad y el incentivo al consumo eficiente, la propuesta de medición inteligente por usuario y neteo individual puede ser más apropiada, a pesar de su mayor complejidad y costo. En este escenario, es esencial la creación de un marco legal que permita esta clase de mediciones.

b. Beneficios:

- ***Ahorro en la factura de electricidad***: La comunidad energética podrá reducir significativamente su factura de electricidad, ya que la energía generada por el sistema solar fotovoltaico reemplazará la energía comprada a la red. Cada familia podría experimentar un ahorro significativo en sus facturas eléctricas. Esto se traduce en una reducción directa en los costos operativos:

- **Ahorro mensual por familia:**

  Para el análisis del ahorro mensual por familia, se considerarán dos esquemas principales: Generación Distribuida con Neteo Grupal y Medición Inteligente por Usuario con Neteo Individual**.**

  A continuación, se presenta una tabla comparativa del ahorro mensual por familia bajo cada esquema:

Tabla 7-3. análisis comparativo de los ahorros obtenidos bajo las propuestas de medición y entrega de excedentes: la generación distribuida con neteo grupal y la medición inteligente por usuario con neteo individual.

Característica	**Generación Distribuida (Neteo Grupal)**	**Medición Inteligente por Usuario (Neteo Individual)**
Costo actual por familia	COP $157.343,47	COP $157.343,47
Ahorro estimado	Depende del excedente total generado por la comunidad y el precio de bolsa. El ahorro se destina a un fondo común para gastos de la comunidad.	Depende del consumo individual y la cuota de generación asignada. El excedente individual se puede compensar a precio de la tarifa y los adicionales a precio de bolsa o destinarlo a un fondo.
Cálculo del ahorro	El excedente se compensa a precio de bolsa, y el ahorro se	Cada hogar realiza su propio neteo individual, comparando su cuota de

	utiliza para cubrir los gastos de la comunidad.	generación asignada con su consumo de la red. El ahorro se refleja directamente en la factura de cada usuario.
Ejemplo de ahorro mensual	Si el excedente total genera un ahorro de COP $1.000.000 y hay 25 familias, el ahorro promedio por familia sería de COP $40.000, que se destinaría al fondo común.	Si una familia consume menos energía de la red que su cuota de generación asignada, podría eliminar prácticamente su gasto mensual en electricidad. Por ejemplo, si su cuota cubre los 180 kWh de consumo, su ahorro sería de COP $157.343,47.
Incentivo al consumo eficiente	Menor incentivo individual para optimizar el consumo, ya que el beneficio se diluye entre la comunidad.	Mayor incentivo individual para reducir el consumo, ya que el ahorro se refleja directamente en la factura.

- ***Ingresos por la venta de excedentes:*** La comunidad energética podrá vender los excedentes de energía a la red, se estima que el excedente podría representar alrededor del 65% de la generación total. Generando, pero que, es a través de un sistema de compensación en la factura de energía.

- ***Incentivos gubernamentales:*** En Colombia existen incentivos gubernamentales para la instalación de sistemas de energía solar. Estos incentivos pueden incluir subsidios, exenciones fiscales y acceso a financiamiento preferencial.

La evaluación del impacto financiero del cambio a una comunidad energética para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Colombia revela un panorama complejo y multifacético. Si bien se han presentado condiciones ideales que sugieren beneficios económicos significativos, es fundamental reconocer que existen muchos costos asociados a la administración y operación de estas comunidades que no se han considerado en detalle.

Uno de los principales desafíos son los vacíos regulatorios e institucionales, que pueden representar barreras significativas para la implementación efectiva de estos proyectos. La falta de un marco normativo claro puede generar incertidumbre y limitar la capacidad de las comunidades para maximizar sus beneficios económicos. Además, el proceso burocrático puede complicar la obtención de permisos y licencias necesarias para operar, lo que podría retrasar o incluso impedir el desarrollo del proyecto.

Es importante señalar que las condiciones presentadas son óptimas y pueden no reflejar la realidad de todas las comunidades. Por ejemplo, si el área disponible para la instalación de paneles solares es propiedad de un solo usuario, este podría cobrar un valor por el uso del espacio, lo que incrementaría los costos para los demás miembros. Asimismo, si los usuarios

no cuentan con recursos económicos suficientes, podrían verse obligados a asumir el costo de la financiación del proyecto, lo que afectaría su viabilidad financiera.

Además, existen múltiples escenarios que podrían modificar el estudio inicial. Por ejemplo, variaciones en el consumo energético, cambios en las tarifas eléctricas o fluctuaciones en los costos de instalación pueden influir en los resultados financieros esperados.

Por último, los incentivos tributarios que podrían beneficiar a la comunidad dependerán del estatus legal de la misma y de su constitución como entidad jurídica. La posibilidad de acceder a estos incentivos podría ser crucial para mejorar la sostenibilidad financiera del proyecto, pero su implementación requerirá un esfuerzo conjunto por parte de todos los miembros.

En conclusión, aunque el modelo de comunidad energética presenta oportunidades atractivas para reducir costos y promover el uso de energías renovables, es esencial abordar las barreras administrativas y regulatorias, así como considerar los diversos escenarios financieros que podrían impactar su éxito. La planificación cuidadosa y la colaboración entre los miembros serán clave para navegar estos desafíos y maximizar los beneficios potenciales de esta transición energética.

7.2. Propuestas para Viabilizar las Comunidades Energéticas en Colombia

Con el fin de superar las barreras identificadas y aprovechar las oportunidades existentes, se proponen las siguientes estrategias para viabilizar las comunidades energéticas en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia:

7.2.1. Desarrollo de un Marco Regulatorio Específico:

Es fundamental crear un marco regulatorio claro y conciso que defina las comunidades energéticas, establezca sus roles y responsabilidades, y facilite su participación en el mercado energético.

Se debe clarificar el proceso de conexión a la red para proyectos de generación distribuida liderados por comunidades energéticas, simplificando los trámites y reduciendo los costos asociados.

La nueva regulación debe promover la autonomía de las comunidades energéticas, permitiéndoles gestionar sus propios recursos energéticos y comercializar sus excedentes de energía.

7.2.2. Implementación de Incentivos Económicos:

Es crucial establecer incentivos económicos para la creación y operación de comunidades energéticas, como subsidios a la inversión, exenciones fiscales y tarifas de remuneración atractivas para la energía generada.

Se pueden explorar mecanismos de financiación específicos para proyectos comunitarios, como líneas de crédito con tasas de interés preferenciales o fondos de capital semilla para iniciativas en etapas tempranas.

7.2.3. Fortalecimiento Institucional:

Se debe fortalecer la capacidad institucional de las entidades responsables de la transición energética, brindándoles los recursos y herramientas necesarias para promover y regular las comunidades energéticas de manera efectiva.

Es importante crear una ventanilla única para la gestión de trámites relacionados con las comunidades energéticas, simplificando la interacción con las diferentes entidades gubernamentales.

7.2.4. Fomento de la Participación Ciudadana:

Se deben implementar programas de capacitación y sensibilización para informar a la sociedad civil sobre las comunidades energéticas y sus beneficios.

Es crucial fortalecer las capacidades de las comunidades para que puedan liderar sus propios proyectos energéticos, brindándoles acceso a información técnica, asistencia legal y apoyo en la gestión de proyectos.

7.2.5. 5. Promoción de la Innovación Tecnológica:

Se debe fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías que faciliten la integración de las comunidades energéticas al Sistema Interconectado Nacional, como sistemas de almacenamiento de energía, plataformas de gestión inteligente y herramientas de control de la demanda.

7.2.6. Aprendizaje de las Mejores Prácticas Internacionales:

Colombia puede aprender de las experiencias exitosas de otros países en la implementación de comunidades energéticas, adaptando las mejores prácticas a su contexto particular.

Se pueden establecer programas de cooperación internacional para el intercambio de conocimientos y la transferencia de tecnología en el ámbito de las comunidades energéticas.

7.3. Impacto Esperado

La implementación de estas estrategias se espera que tenga un impacto positivo en el desarrollo de las comunidades energéticas en Colombia, contribuyendo a:

- Democratizar el acceso a la energía, especialmente en zonas rurales o marginadas.
- Aumentar la participación ciudadana en la transición energética.
- Promover la sostenibilidad ambiental, al fomentar el uso de energías renovables.
- Fortalecer las economías locales, al generar empleo y oportunidades de inversión.
- Mejorar la resiliencia del sistema energético, al diversificar las fuentes de generación y aumentar la flexibilidad de la red.

Las comunidades energéticas representan una oportunidad única para transformar el sector energético en Colombia, creando un modelo más justo, sostenible e inclusivo. Para aprovechar al máximo este potencial, es fundamental superar las barreras existentes y crear un entorno favorable para su desarrollo.

Es necesario un esfuerzo conjunto por parte del gobierno, las empresas, la academia y la sociedad civil para impulsar la transición hacia un sistema energético más democrático y sostenible, donde las comunidades energéticas desempeñen un papel protagónico.

El siguiente capítulo, Capítulo 8, sintetizará los hallazgos y reflexiones surgidos a lo largo del trabajo, enfatizando la necesidad de implementar estrategias que faciliten la creación y sostenibilidad de las comunidades energéticas.

Capítulo 8. Conclusiones.

Este capítulo se sintetizan los hallazgos y reflexiones surgidos a lo largo del trabajo, enfatizando la necesidad de implementar estrategias que faciliten la creación y sostenibilidad de estas comunidades. A través de un enfoque integral, se busca no solo promover la generación de energía a nivel local, sino también contribuir al desarrollo social y económico de las comunidades del país.

El trabajo se ha estructurado en torno a objetivos específicos que permiten abordar de manera sistemática los desafíos y oportunidades que enfrentan las comunidades energéticas. En primer lugar, se ha caracterizado el marco regulatorio e institucional aplicable, analizando ejemplos de otros países que han avanzado en este ámbito. Esto es fundamental, ya que la regulación adecuada puede ser un catalizador para el establecimiento de estas iniciativas en Colombia.

Asimismo, se han identificado las barreras y obstáculos que limitan la implementación efectiva de comunidades energéticas. Estos incluyen no solo aspectos regulatorios, sino también desafíos institucionales y financieros que requieren atención urgente. La evaluación del impacto financiero para los usuarios que opten por formar parte de una comunidad energética también ha sido un componente clave, permitiendo vislumbrar los beneficios económicos potenciales que podrían derivarse de este cambio.

Las comunidades energéticas no solo representan una alternativa viable para diversificar la matriz energética del país, sino que también son una oportunidad para fortalecer el tejido social y fomentar la participación de los ciudadanos en la gestión energética. Al empoderar a las comunidades locales, se busca promover un modelo más inclusivo y sostenible que responda a las necesidades específicas de cada región.

En este sentido, se enfatiza la importancia de articular esfuerzos entre el gobierno, las instituciones educativas y las organizaciones comunitarias para garantizar que las comunidades energéticas no solo se establezcan, sino que también sean sostenibles a largo plazo.

8.1. Conclusiones generales del Trabajo Final

A partir del análisis realizado, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- Existe un creciente interés global por las comunidades energéticas como un modelo para democratizar el acceso a la energía, promover la sostenibilidad y fortalecer las economías locales.
- Los países analizados, Reino Unido, Noruega, Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda, han implementado diversos enfoques regulatorios e institucionales para fomentar el desarrollo de comunidades energéticas.
- Colombia aún carece de un marco regulatorio específico para las comunidades energéticas, lo que genera incertidumbre y limita su desarrollo.

- La falta de incentivos económicos, la complejidad de los procesos de conexión a la red y las barreras administrativas son algunos de los principales obstáculos que enfrentan las comunidades energéticas en Colombia.
- Se identifican varios obstáculos que dificultan el desarrollo de las comunidades energéticas en Colombia, incluyendo:
  - Falta de incentivos económicos.
  - Procesos complejos de conexión a la red.
  - Barreras administrativas.
  - Vacíos regulatorios e institucionales.
  - Procesos burocráticos para la obtención de permisos.
  - Posibles costos adicionales por el uso de áreas para paneles solares.
  - Limitaciones financieras de los usuarios.
  - Incertidumbre sobre variaciones en el consumo, tarifas eléctricas y costos de instalación.
  - Dependencia de la constitución legal para acceder a incentivos tributarios.
- A pesar de los desafíos, existen iniciativas comunitarias exitosas en Colombia que demuestran el potencial del modelo de comunidades energéticas en el país.
- Es fundamental crear un marco regulatorio claro y conciso que defina las comunidades energéticas, establezca sus roles y responsabilidades y facilite su participación en el mercado energético. Este marco debe clarificar el proceso de conexión a la red, promover la autonomía de las comunidades energéticas y permitirles gestionar sus recursos y comercializar excedentes.
- Se deben establecer incentivos económicos para la creación y operación de comunidades energéticas, como subsidios a la inversión, exenciones fiscales y tarifas de remuneración atractivas para la energía generada. También es necesario explorar mecanismos de financiación específicos para proyectos comunitarios.
- Es crucial fortalecer la capacidad institucional de las entidades responsables de la transición energética, proporcionándoles los recursos y herramientas necesarios. Se debe crear una ventanilla única para la gestión de trámites relacionados con las comunidades energéticas.
- Se deben implementar programas de capacitación y sensibilización para informar a la sociedad civil sobre las comunidades energéticas y sus beneficios. También es necesario fortalecer las capacidades de las comunidades para que lideren sus propios proyectos energéticos.
- Se debe fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías que faciliten la integración de las comunidades energéticas al Sistema Interconectado Nacional, como sistemas de almacenamiento de energía y plataformas de gestión inteligente.
- Colombia puede aprender de las experiencias exitosas de otros países adaptando las mejores prácticas a su contexto.
- La implementación de estas estrategias se espera que tenga un impacto positivo en el desarrollo de las comunidades energéticas en Colombia, contribuyendo a democratizar el acceso a la energía, aumentar la participación ciudadana, promover la sostenibilidad ambiental y fortalecer las economías locales.
- Se necesita un esfuerzo conjunto por parte del gobierno, las empresas, la academia y la sociedad civil para impulsar la transición hacia un sistema energético más

democrático y sostenible, donde las comunidades energéticas jueguen un papel protagónico

8.2. Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos

8.2.1. Objetivo específico 1

"Caracterizar marcos regulatorios e institucionales aplicables a comunidades energéticas en países seleccionados."

En el Capítulo 5 se describe el interés global en comunidades energéticas y la diversidad de enfoques regulatorios en varios países, estableciendo la base para la caracterización, y se sugiere aprender de las mejores prácticas internacionales, indicando cómo otros países han abordado la regulación de las comunidades energéticas.

- El análisis de países como el Reino Unido, Noruega, Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda revela que existen diversos enfoques regulatorios e institucionales para fomentar el desarrollo de comunidades energéticas. Esto indica que no hay un modelo único y que las regulaciones deben adaptarse al contexto local.
- A diferencia de los países analizados, Colombia aún no cuenta con un marco regulatorio específico para las comunidades energéticas, lo que genera incertidumbre y limita su desarrollo. Esta carencia se identifica como un obstáculo importante para el avance de este modelo en el país.
- Se concluye que es fundamental crear un marco regulatorio claro y conciso que defina las comunidades energéticas, establezca sus roles y responsabilidades y facilite su participación en el mercado energético. Este marco debe abordar aspectos como la conexión a la red, la autonomía de las comunidades y la comercialización de excedentes de energía.
- El estudio identificó que la falta de un marco regulatorio específico es una de las principales barreras para el desarrollo de comunidades energéticas en Colombia, señalando la necesidad de superar este obstáculo para su viabilidad.
- Colombia puede aprender de las experiencias exitosas de otros países en la implementación de comunidades energéticas, adaptando las mejores prácticas a su contexto particular.

8.2.2. Objetivo específico 2

"Identificar barreras, obstáculos institucionales y regulatorios que enfrentan las comunidades energéticas para su establecimiento y operación en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia."

En el Capítulo 6 se identifica la falta de un marco regulatorio específico y la falta de incentivos económicos como obstáculos para las comunidades energéticas, además de las barreras de conexión a la red y los trámites administrativos que deben enfrentar las comunidades energéticas. Describiendo la necesidad de que las comunidades se constituyan como entidades jurídicas, lo que implica un proceso que puede ser complejo, además de los vacíos regulatorios e institucionales, los procesos burocráticos y la falta de incentivos económicos como una de las barreras.

- Se identifica la ausencia de un marco regulatorio claro y específico para las comunidades energéticas en Colombia como una de las principales barreras. Esta falta de regulación genera incertidumbre y dificulta su desarrollo.
- La normatividad vigente señala que los procesos complejos de conexión a la red son un obstáculo significativo. Esto incluye la necesidad de cumplir con códigos de red, especificaciones técnicas y requisitos de seguridad, lo cual puede ser un proceso burocrático y costoso.
- Se mencionan barreras administrativas que dificultan el establecimiento y la operación de las comunidades energéticas. Esto incluye la necesidad de registrarse ante las autoridades competentes y obtener permisos ambientales y de construcción.
- Las comunidades energéticas deben constituirse como una entidad jurídica reconocida por la ley colombiana, lo cual implica la elaboración de estatutos, la elección de una junta directiva y la inscripción en los registros correspondientes. Este proceso puede ser complejo y requerir recursos adicionales.
- La falta de incentivos económicos es otra barrera identificada. Esto incluye la ausencia de subsidios a la inversión, exenciones fiscales y tarifas de remuneración atractivas para la energía generada, lo que puede desalentar la creación de estas comunidades.
- Se identifican barreras financieras como la necesidad de una inversión inicial significativa, y los posibles costos asociados al uso de áreas para la instalación de paneles solares. También se considera la posibilidad de que los usuarios no cuenten con recursos suficientes. Además, la complejidad de obtener financiación externa puede ser un obstáculo.
- La regulación actual presenta limitaciones para la consolidación de comunidades energéticas, como la obligatoriedad de constituirse como Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios (E.S.P.), que puede ser un obstáculo para la conformación de comunidades más pequeñas.
- Se identifican vacíos regulatorios e institucionales que generan incertidumbre y limitan la capacidad de las comunidades para maximizar sus beneficios económicos.
- La obtención de permisos y licencias necesarias para operar puede ser un proceso burocrático complejo, lo que podría retrasar o incluso impedir el desarrollo del proyecto.

8.2.3. Objetivo específico 3

"Evaluar el impacto financiero que tendría para un grupo de usuarios del Sistema Interconectado Nacional de Colombia su cambio a comunidad energética".

En el Capítulo 7 se describen los costos asociados al proyecto como la inversión inicial, el mantenimiento, la operación, el fondo de reserva, el monitoreo, la transparencia y la medición, explicando el mecanismo de medición de la generación y entrega de excedentes, así como el costo y la gestión asociados y presentando un análisis comparativo de las propuestas de medición y entrega de excedentes. De manera adicional, se detallan los beneficios económicos como el ahorro en la factura de electricidad, los ingresos por la venta de excedentes, e incentivos gubernamentales. Finalmente, se resume los desafíos y las oportunidades de las comunidades energéticas, enfatizando la necesidad de considerar costos asociados a la administración y operación, vacíos regulatorios, condiciones óptimas versus reales y la necesidad de colaboración para el éxito.

- Se concluye que las comunidades energéticas tienen el potencial de reducir significativamente la factura de electricidad de los usuarios. Al generar su propia energía a través de sistemas solares fotovoltaicos, las familias pueden reemplazar la energía comprada a la red, lo que se traduce en ahorros sustanciales. En el ejemplo planteado, se estima que las familias podrían eliminar prácticamente su gasto mensual en electricidad.
- La posibilidad de vender los excedentes de energía a la red representa una oportunidad para obtener ingresos adicionales. Aunque la remuneración se realiza a través de un sistema de compensación en la factura de energía, esto genera un beneficio económico para la comunidad. Se estima que los excedentes podrían ser alrededor del 65% de la generación total.
- La inversión inicial para la instalación de un sistema solar fotovoltaico es considerable. En el ejemplo se estima un costo de 3.5 millones de pesos COP por kWp instalado, lo que resulta en una inversión total de 126 millones de pesos COP para un sistema de 36 kWp. Este alto costo inicial puede ser una barrera para algunas comunidades.
- Además de la inversión inicial, las comunidades energéticas deben considerar los costos de mantenimiento del sistema, que se estiman entre el 1% y el 3% del costo inicial del sistema fotovoltaico, y los costos de operación, como la gestión de la comunidad, la facturación y la administración de los excedentes de energía.
- La forma en que se mide y se distribuye la energía tiene un impacto financiero importante. Se comparan dos enfoques:
    - La medición total de la energía y la compensación grupal de los excedentes puede ser más simple, pero puede ser percibida como menos equitativa y podría no incentivar el uso eficiente de la energía a nivel individual.
    - La medición inteligente por usuario con neteo individual, aunque más compleja y costosa, permite una distribución equitativa de los beneficios e incentiva un consumo eficiente de energía. Con este sistema, cada usuario recibe un beneficio directo y proporcional a su contribución al proyecto,

incentivando a un consumo eficiente y a una participación activa en la gestión de la energía.

- Los vacíos regulatorios pueden limitar la capacidad de las comunidades para maximizar sus beneficios económicos. La falta de un marco normativo claro puede generar incertidumbre y dificultar la obtención de permisos y licencias.
- Las condiciones presentadas en el análisis son óptimas y pueden no reflejar la realidad de todas las comunidades. Factores como la propiedad del área para la instalación de paneles solares, la capacidad económica de los usuarios y las variaciones en los costos energéticos pueden influir en los resultados financieros.
- Se considera fundamental establecer un fondo de reserva con parte de los ingresos para cubrir los gastos de mantenimiento, posibles reparaciones imprevistas y futuras expansiones del sistema.
- Es necesario llevar una contabilidad detallada de todos los ingresos y egresos de la comunidad energética y presentar reportes periódicos a sus miembros, lo que puede acarrear costos administrativos.

8.2.4. Objetivo general

"Proponer estrategias para viabilizar las comunidades energéticas en el Sistema Interconectado Nacional de Colombia."

En el numeral 7.2 se presentan propuestas para viabilizar las comunidades energéticas en Colombia como el desarrollo de un marco regulatorio específico, la implementación de incentivos económicos y el fortalecimiento institucional, además del fomento de la participación ciudadana, la promoción de la innovación tecnológica y el aprendizaje de las mejores prácticas internacionales.

En el numeral 7.3 se expone el impacto esperado de las estrategias propuestas.

Finalmente, en el numeral 8.1 se resumen las conclusiones y resaltan la necesidad de estrategias integrales para la creación y sostenibilidad de las comunidades energéticas, enfatizando la necesidad de articular esfuerzos entre el gobierno, las instituciones educativas y las organizaciones comunitarias.

- Se concluye que es fundamental crear un marco regulatorio claro y conciso que defina las comunidades energéticas, establezca sus roles y responsabilidades, y facilite su participación en el mercado energético. Este marco debe clarificar el proceso de conexión a la red para proyectos de generación distribuida liderados por comunidades energéticas, simplificando los trámites y reduciendo los costos asociados. La nueva regulación debe promover la autonomía de las comunidades energéticas, permitiéndoles gestionar sus propios recursos energéticos y comercializar sus excedentes de energía.
- Se destaca la necesidad de establecer incentivos económicos para la creación y operación de comunidades energéticas. Esto incluye subsidios a la inversión,

exenciones fiscales y tarifas de remuneración atractivas para la energía generada. Se deben explorar mecanismos de financiación específicos para proyectos comunitarios, como líneas de crédito con tasas de interés preferenciales o fondos de capital semilla.

- Es crucial fortalecer la capacidad institucional de las entidades responsables de la transición energética. Esto implica brindarles los recursos y herramientas necesarias para promover y regular las comunidades energéticas de manera efectiva. Se debe crear una ventanilla única para la gestión de trámites relacionados con las comunidades energéticas, simplificando la interacción con las diferentes entidades gubernamentales.
- Se enfatiza la importancia de implementar programas de capacitación y sensibilización para informar a la sociedad civil sobre las comunidades energéticas y sus beneficios. También es crucial fortalecer las capacidades de las comunidades para que puedan liderar sus propios proyectos energéticos, brindándoles acceso a información técnica, asistencia legal y apoyo en la gestión de proyectos.
- Se debe fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías que faciliten la integración de las comunidades energéticas al Sistema Interconectado Nacional. Esto incluye sistemas de almacenamiento de energía, plataformas de gestión inteligente y herramientas de control de la demanda.
- Se propone que Colombia aprenda de las experiencias exitosas de otros países en la implementación de comunidades energéticas. Se pueden establecer programas de cooperación internacional para el intercambio de conocimientos y la transferencia de tecnología en este ámbito.
- La implementación de estas estrategias se espera que tenga un impacto positivo en el desarrollo de las comunidades energéticas en Colombia, contribuyendo a democratizar el acceso a la energía, aumentar la participación ciudadana, promover la sostenibilidad ambiental, fortalecer las economías locales y mejorar la resiliencia del sistema energético.

8.3. Trabajo Futuro

A partir de las conclusiones del trabajo y considerando los aspectos que quedaron fuera de su alcance, se pueden derivar las siguientes recomendaciones para futuros trabajos o investigaciones:

Análisis Detallado de Modelos de Medición Inteligente: Profundizar en el análisis de la implementación de sistemas de medición inteligente individual en comunidades energéticas. Esto incluiría un estudio de costos-beneficios detallado, considerando diferentes tecnologías de medición, la infraestructura necesaria, y el impacto en la gestión de la demanda por parte de los usuarios. Se podría investigar cómo esta medición individual afecta el comportamiento del consumidor y su eficiencia energética.

Estudio Comparativo de Modelos de Gobernanza: Investigar diferentes modelos de gobernanza para comunidades energéticas, más allá de la junta directiva propuesta. Se podría explorar modelos cooperativos, asociativos, o basados en la participación directa de los

miembros, analizando cómo cada uno afecta la toma de decisiones, la distribución de beneficios y la sostenibilidad a largo plazo de la comunidad.

Evaluación del Impacto Socioeconómico: Realizar un estudio más amplio del impacto socioeconómico de las comunidades energéticas en Colombia. Esto podría incluir el análisis del impacto en la creación de empleo local, el desarrollo de habilidades técnicas en las comunidades, y la reducción de la pobreza energética, especialmente en áreas rurales o marginadas.

Análisis de la Viabilidad de Almacenamiento de Energía: Investigar la viabilidad técnica y económica de incorporar sistemas de almacenamiento de energía en comunidades energéticas. Esto incluiría el análisis de diferentes tecnologías de almacenamiento (baterías, bombeo hidroeléctrico, etc.), su costo, su vida útil, y su impacto en la gestión de los excedentes de energía y en la estabilidad de la red.

Desarrollo de Modelos de Negocio Innovadores: Explorar modelos de negocio innovadores para comunidades energéticas, más allá del autoconsumo y la venta de excedentes. Esto podría incluir la prestación de servicios energéticos a otros usuarios, la participación en mercados de flexibilidad de la red, o el desarrollo de proyectos de energía comunitaria que integren otras fuentes renovables, analizando el impacto financiero de estas alternativas.

Análisis de la Integración de Vehículos Eléctricos: Estudiar la integración de vehículos eléctricos en las comunidades energéticas, considerando su impacto en la demanda de energía, la necesidad de infraestructura de carga, y la posibilidad de usar las baterías de los vehículos como almacenamiento de energía.

Estudio de Barreras Regulatorias Específicas: Realizar un análisis profundo de las **barreras regulatorias específicas** que enfrentan las comunidades energéticas en Colombia, más allá de la falta de un marco regulatorio general. Esto podría incluir el análisis detallado de los procesos de conexión a la red, los requisitos para la constitución legal de las comunidades, las implicaciones de la regulación vigente sobre autogeneración y generación distribuida, e identificar soluciones para simplificar y agilizar estos procesos.

Propuesta de un Marco Regulatorio Específico: Desarrollar una propuesta concreta para un marco regulatorio específico para comunidades energéticas en Colombia. La propuesta debe considerar la particularidad del contexto colombiano y que promueva la autonomía de las comunidades, la simplificación de trámites, y la creación de incentivos económicos.

Evaluación de la Percepción Ciudadana: Investigar la percepción y el nivel de conocimiento de la ciudadanía sobre las comunidades energéticas, identificando barreras culturales y sociales que puedan dificultar su adopción. Esto podría incluir estudios de opinión, encuestas, y grupos focales en diferentes regiones del país.

Diseño de Programas de Capacitación: Desarrollar programas de capacitación específicos para comunidades energéticas, abordando aspectos técnicos, legales, financieros y de gestión.... Estos programas deberían ser adaptados a las necesidades de las comunidades locales y promover la participación activa de sus miembros.

Estos trabajos futuros permitirían profundizar el conocimiento sobre las comunidades energéticas en Colombia, abordando aspectos que quedaron fuera del alcance de esta investigación, lo que contribuiría a una implementación más efectiva y sostenible de este modelo energético en el país.

Capítulo 9. Referencias

Fundación Técnica Industrial. (2022). Las comunidades energéticas se abren paso en la producción y distribución de energía. *Técnica Industrial, nº 332*.

Jiménez Martínez, M., España F, J. M., Giraldo Quiroz, J., & Ramírez Tovar, A. M. (2023). Desarrollo de proyectos comunitarios de energía mediante esquemas de generación distribuida en Iberoamérica. *ENERLAC. Volumen VII. Número 2.* , ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522(digital).

Moreno Castillo, L., & Villanueva, C. (2022). *Universidad Externado de Colombia*. Obtenido de Universidad Externado de Colombia: https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/1533e7f3-0c7c-4a88-b850-7c4a1bc80814/content

Presidencia de La República. (2 de Marzo de 2024). *Presidencia de a República*. Obtenido de Presidencia de a República: https://petro.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/La-estrategia-Comunidades-Energeticas-ya-tiene-mas-de-1500-solicitudes-en-todo-el-pais-231127.aspx

Zhang , Y., Robu, V., Cremers, S., Norbu, S., Couraud, B., Andoni, M., . . . Poor, H. (2024). Modelling the formation of peer-to-peer trading coalitions and prosumer participation incentives in transactive energy communities.

ACCE. (10 de MARZO de 2024). *ACCE*. Obtenido de ACCE: https://acce.com.co/

ACOLGEN. (26 de 02 de 2024). *ACOLGEN*. Obtenido de ACOLGEN: https://acolgen.org.co/portfolio/el-mercado-de-la-energia-electrica-en-colombia-caracteristicas-evolucion-e-impacto-sobre-otros-sectores

Agudo, A. (17 de enero de 2022). *El Periódico de la energía*. Obtenido de El Periódico de la energía: https://elperiodicodelaenergia.com/el-papel-de-los-prosumidores-en-la-generacion-distribuida-el-futuro-de-la-energia/#google_vignette

Aguilar Abaunza, D. (2023). La Ley para los Prosumidores de Energía El caso de Holanda, Nueva Zelanda y Colombia.

Alonso , À., De la Hoz, J., Martín , H., Coronas, S., & Mata, J. (2021). Individual vs. Community: Economic Assessment of Energy Management Systems under Different Regulatory Frameworks. *Energies* .

Amigos de la tierra. (3 de mayo de 2024). *Amigos de la tierra*. Obtenido de https://www.tierra.org/comunidades-energeticas/crew-energy-el-poder-en-las-bases-reino-unido/

ASE. (10 de Marzo de 2024). *Grupo ASE*. Obtenido de Grupo ASE: https://www.grupoase.net/agregador-energetico-2024/

Askeland, M., Backe , S., & Byskov , K. (2019). Zero energy at the neighbourhood scale: Regulatory challenges regarding billing practices in Norway. *IOP Publishing*.

ATA. (08 de febrero de 2021). *ATA Electric*. Obtenido de ATA Electric: https://www.ataelectric.com/que-es-es-la-creg-038

Barrera , F., Escobar, A., Maiguashca , M., & Rudnick, H. (2019). Documento Foco 5: Foco 5: Institucional y Regulatorio. *Misión de transformación energética*.

BBVA. (10 de Marzo de 2024). *BBVA*. Obtenido de BBVA: https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-las-comunidades-energeticas-y-como-funcionan/

Berka, A. L., MacArthurb, J. L., & Gonnellic, C. (2020). Explaining inclusivity in energy transitions: Local and community energy in Aotearoa New Zealand. *Elsevier*.

BMC. (10 de marzo de 2024). *Bolsa Mercantil de Colombia*. Obtenido de Bolsa Mercantil de Colombia: https://www.bmcbec.com.co/publicaciones/posts/noticias/noticias/precio-promedio-de-energia-en-bolsa-en-colombia-bajo-41-en

Bragagnolo, S., & Vaschetti, J. (Junio de 2022). *Gestión de la demanda en las redes inteligentes. Perspectiva y control desde el usuario y la distribuidora.* Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000300159

Burgio, A., Jasiński, M., & Leonowicz, Z. (2024). Editorial: Enabling technologies and business models for energy communities.

Campos , I., Pontes, L. G., Marín Gonzalez, E., Swantje, G., Hall , S., & Holstenkamp , L. (2020). Regulatory challenges and opportunities for collective renewable energy prosumers in the EU.

Cárdenas Álvarez, J. P., JanGeorge, Giraldo Quiroz, J., Estrada Walker, J. A., España Forero, J. M., & Ortega Arango, S. (2021). REDEFINIENDO LASCOMUNIDADES ENERGÉTICASPARA UNA TRANSICIÓN JUSTA. *Una visión crítica sobre la Comunidad Solar La Estrecha en Medellín, Colombia*.

Caro Acevedo, E. A. (2022). Propuestas regulatorias para la inclusión de las redes inteligentes en Colombia, aportando al desarrollo de las ciudades inteligentes en articulación con las energías renovables.

CENER. (10 de Marzo de 2024). *CENER*. Obtenido de CENER: https://www.cener.com/introduccion-a-las-microrredes/

CEPAL. (Marzo de 2024). *CEPAL*. Obtenido de Acerca de Desarrollo Sostenible: https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible

Chalaye , P., Sturmberg, B., Ransan-Cooper, H., Lucas-Healey, K., Russell, W., Hendriks, J., . . . Shorten, P. (2023). Does site selection need to be democratized? A case study of grid-tied microgrids in Australia. *Energy Policy*.

CIER. (2017). *REVISTA CIER*.

CIGRE. (ABRIL de 2021). *CIGRE*. Obtenido de CIGRE: http://www.cigrecolombia.org/Documents/Documentos-t%C3%A9cnicos/DT%20JWG%20C6.C5.4.%20Regulaci%C3%B3n%2C%20normativa%20y%20nuevos%20mercados%20en%20microrredes%20en%20el%20sector%20el%C3%A9ctrico%20colombiano.pdf

CNO. (10 de marzo de 2024). *Consejo Nacional de Operaciones*. Obtenido de Consejo Nacional de Operaciones: https://www.cno.org.co/

Colombia, I. e. (07 de 03 de 2024). *Invierta en Colombia*. Obtenido de investincolombia: https://investincolombia.com.co/es/sectores/energia/energia-renovable

Congreso, R. (11 de julio de 1994). Congreso de la República. *Diario Oficial No. 41.294.*

Congreso, R. (11 de julio de 1994). Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. *Dirario Oficial No. 41.294.*

Congreso, R. (13 de mayo de 2014). *Congreso de la República.* Obtenido de Congreso de la República: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353

Congreso, R. (10 de julio de 2021). *Congreso de la República.* Obtenido de Congreso de la República: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326

Congreso, R. (2022). *República de Colombia*. Obtenido de República de Colombia: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=199883

Correa Henao, G. J. (2014). REFLEXIONES EN TORNO AL MECANISMO DE COMERCIALIZACIÓN EN EL MERCADO . *Quid N° 23*, 55-66.

CREG 119. (2007). *CREG.* Obtenido de CREG: https://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/c63f06a9114e1a150525785a007a6fa2

CREG. (22 de DICIEMBRE de 1995). *CREG*. Obtenido de CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0094_1999.htm

CREG. (01 de JULIO de 1997). *CREG.* Obtenido de CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0108_1997.htm

CREG. (21 de Diciembre de 2007). *CREG.* Obtenido de CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0119_2007.htm

CREG. (ABRIL de 2008). *Cartilla Transmisión de energía.* Obtenido de Cartilla Transmisión de energía: https://creg.gov.co/public_html/info/creg/media/tmp/pdf71030.pdf

CREG. (17 de 11 de 2011). *COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, CREG*. Obtenido de COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0156_2011.htm

CREG. (26 de DICIEMBRE de 2011). *CREG.* Obtenido de CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0156_2011.htm

CREG. (DICIEMBRE de 2014). *CREG*. Obtenido de CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0180_2014.htm

CREG. (20 de Marzo de 2014). *CREG*. Obtenido de CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0038_2014.htm

CREG. (22 de Agosto de 2017). *CREG*. Obtenido de CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/ru_creg_ee.htm

CREG. (26 de Febrero de 2018). *CREG*. Obtenido de CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0030_2018.htm

CREG. (7 de Octubre de 2021). *CREG*. Obtenido de CREG: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm

CREG. (20 de diciembre de 2022). *CREG*. Obtenido de CREG: https://creg.gov.co/publicaciones/7819/estructura-del-sector/

CREG. (10 de marzo de 2024). *Comsión de Regulación de Energía y Gas*. Obtenido de Comsión de Regulación de Energía y Gas: https://creg.gov.co/

CrewEnergy. (2023 de mayo de 2024). *CrewEnergy*. Obtenido de CrewEnergy: https://www.crewenergy.london/who-we-are.html

Cuatrecasas, L. R. (enero de 2023). *Universidad Politécnica de Cataluña · Barcelona Tech - UPC*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cataluña · Barcelona Tech - UPC: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/384559/TFG_Ribera_Cuatrecasas_Lucas.pdf?isAllowed=y&sequence=2

De la Hoz, J., Alonso, À., Coronas, S., Martín , H., & Matas, J. (2020). Impact of Different Regulatory Structures on the Management of Energy Communities. *Energies 2020*.

El Colombiano. (04 de abril de 2022). *El Colombiano*. Obtenido de El Colombiano: https://www.elcolombiano.com/negocios/que-efectos-tendra-la-guerra-entre-rusia-y-ucrani-en-colombia-para-la-industria-energetica-OC17154930

Endesa Fundación. (2024). *Generación distribuida*. Obtenido de Generación distribuida: https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generacion-distribuida

Enel. (marzo de 2024). *Enel*. Obtenido de Enel: https://www.enel.com.co/es/empresas/enel-generacion/normatividad/resolucion-creg-038/resolucion-creg-038.html

Energy.gov. (13 de 05 de 2024). *Energy.gov*. Obtenido de Energy.gov: https://www.energy.gov/scep/community-energy-programs

Enlaza. (26 de 02 de 2024). *Enlaza - Grupo Energía Bogotá*. Obtenido de Enlaza - Grupo Energía Bogotá: https://www.enlaza.red/conoce-a-enlaza/nuestro-negocio/que-es-la-transmision-de-energia

EPM. (23 de Noviembre de 2024). *EPM*. Obtenido de EPM: https://www.epm.com.co/clientesyusuarios/energia/tarifas-energia.html

Factor Energía. (10 de marzo de 2024). *Factor Energía*. Obtenido de Factor Energía: https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo-electrico/como-funcionan-las-comunidades-energeticas/

Fagan, M. (2006). Una Explicación de la Reforma del Sector Eléctrico en los Estados Unidos. *Derecho y sociedad*, 96-104.

Finanzas Carbono. (24 de Octubre de 2024). *Finanzas Carbono*. Obtenido de Finanzas Carbono: https://finanzascarbono.org/sistemas-de-comercio-de-permisos-de-emision-en-nueva-zelanda-y-australia-%C2%BFhacia-un-mercado-integrado/

FUNCENER. (10 de Marzo de 2024). *FUNCENER*. Obtenido de FUNCENER: https://funcener.org/generacion-distribuida-como-factor-democratizador-del-mercado-energetico/

Fundación Endesa. (10 de marzo de 2024). *Fundación Endesa*. Obtenido de Fundación Endesa: https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generacion-distribuida

García Bernal, N. (Diciembre de 2020). Actividad de Comercialización de Electricidad en el Reino Unido. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*.

Google Scholar. (23 de marzo de 2024). *Google Scholar*. Obtenido de Google Scholar: https://scholar.google.com/

Gupta , R., Zahiri , S., & Morey, J. (marzo de 2023). Enhancing User Engagement in Local Energy Initiatives Using.

Gutiérrez Rico, A. (2024). Los desafíos de la regulación para la implementación de las comunidades energéticas en Colombia. *Universidad Externado de Colombia*.

Heilmann , J., Wensaas , M., Crespo del Granado , P., & Hashemipour , N. (2022). Trading algorithms to represent the wholesale market of energy communities.

Hive Power. (06 de 05 de 2024). *HIVE POWER*. Obtenido de HIVE POWER: https://www.hivepower.tech/es/blog/renewable-energy-in-norway-what-you-should-know

Hoffmann, I. (2023). enewable Energy Communities – A New Model for Neighbourhoods?

ICEX. (2012). *El mercado de energía solar en Australia*. Sidney: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Sidney.

ICEX. (19 de octubre de 2024). *El mercado de la energía renovable en el Reino Unido*. Obtenido de Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Londres: https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/069/documentos/2022/12/em-energia-renovable/EM_El%20mercado%20de%20la%20energ%C3%ADa%20renovable%20en%20Reino%20Unido%202022-rev.pdf

ISA Intercolombia. (23 de 02 de 2024). *ISA Intercolombia* . Obtenido de ISA Intercolombia : https://www.isaintercolombia.com/sistema-electrico-colombiano/

Kemp, N., Siraj, M., & Tsiro, E. (2024). ELEKTRA: Empowering prosumers with distributed prosumer. *Simulation Modelling Practice and Theory* .

Kemp, N., Siraj, M., & Tsiropoulou, E. E. (2024). ELEKTRA: Empowering prosumers with distributed prosumer grouping and game-theoretic energy procurement.

Kerstens, A., & Greco , A. (2023). From Buildings to Communities: Exploring the Role of.

Lawrence, D. E., España, J. M., & Ortega , S. (2022). Comunidades de energía para una transición energética: una revisión documental de los elementos, retos y tendencias del autoconsumo comunitario. *USBmed*, 13–24.

Lazcano Moldes, A. (2014). ANÁLISIS DEL MERCADO ELÉCTRICO EN ESCANDINAVIA NORD POOL. *FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES*.

Liu, C., Yang, R., Wang , K., & Zhang, J. (2023). Community-Focused Renewable Energy Transition with Virtual Power Plant in an Australian City—A Case Study. *Buildings* .

Maldet , M., Schwabeneder, D., Lettner, G., Loschan, C., & Corinaldesi, C. (2024). Local sustainable communities: Sector coupling and community optimization in decentralized energy systems.

Maldet, M., Revheim , F. H., Schwabeneder, D., Lettner, G., Crespo Del Granado, P., Saif, A., . . . Shafi , K. (2022). Trends in local electricity market design: Regulatory barriers and the role of.

Maldet, M., Revheim, F. H., Schwabeneder, D., Lettner, G., & Crespo del Granado, P. (2024). Trends in local electricity market design: Regulatory barriers and the role of grid tariffs.

Marín Torres, J. R., Valencia Llanos, J. A., & Insuasti Avendaño, D. D. (2024). MARCO REGULATORIO COLOMBIANO REFERENTE A ZNI Y FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA ELÉCTRICA. *Mundo Eléctrico*, 9. Obtenido de IPSE: https://ipse.gov.co/documento_prensa/documento/documentos_de_%20investigacion/Art%C3%ADculo%20Mundoel%C3%A9ctrico.pdf

Mendez Sánchez, J., & Fernández Gómez , J. (mayo de 2022). *Orkestra*. Obtenido de Orkestra: https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/220045-Comunidades-energ%C3%A9ticas.pdf

Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (09 de Diciembre de 2013). Decreto 2860. Bogotá, Colombia.

MinMinas . (12 de Noviembre de 2023). *MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA* . Obtenido de MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA : https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2._Diagn%C3%B3stico_base_para_la_TEJ.pdf

MinMinas. (Junio de 2023). *Actualización del Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052*. Bogotá DC.

MinMinas. (2023). Informe de Estadísticas del Sector Eléctrico Colombiano. *Informe de Estadísticas del Sector Eléctrico Colombiano*. Bogotá, Colombia.

MinMinas. (noviembre de 2023). *MinMinas.* Obtenido de MinMinas: https://www.minenergia.gov.co/documents/11069/ABC-ComunidadesEnergeticas-2023.pdf

MinMinas. (10 de marzo de 2024). *Ministerio de Minas y Energía*. Obtenido de Ministerio de Minas y Energía: https://www.minenergia.gov.co/es/

MinMinas. (26 de noviembre de 2024). *Ministerio de Minas y Energía*. Obtenido de Ministerio de Minas y Energía: https://www.minenergia.gov.co/es/comunidades-energeticas/

MinMinas. (10 de marzo de 2024). *MinMinas*. Obtenido de MinMinas: https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/

Mohammadi, N. (2023). Investigation of Community Energy Business Models from an Institutional Perspective: Intermediaries and Policy Instruments in Selected Cases of Developing and Developed Countries. *Sustainability*, 5, 8423. https://doi.org/10.3390/su15108423.

Mohseni, S., & Brent, A. (2022). Game-Theoretic Sectoral Demand Response Procurement in Multi-Energy Microgrid Planning. *IEEE Power & Energy Society General* .

Molina Castro , J., Buitagro , L., Téllez , S., Giraldo, S., & Zapata, J. (2023). COMUNIDADES ENERGÉTICAS: MODELOS PARA EL EMPODERAMIENTO DE LOS USUARIOS EN COLOMBIA. *ENERLAC*, 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital).

OFEGM. (03 de MAYO de 2024). *The Office of Gas and Electricity Markets OFEGM*. Obtenido de The Office of Gas and Electricity Markets OFEGM: https://www.ofgem.gov.uk/publications/riio-ed2-final-determinations

Ojeda, L. (14 de diciembre de 2018). *El perdiódico de la energía*. Obtenido de El perdiódico de la energía: https://elperiodicodelaenergia.com/el-agregador-de-la-demanda-la-nueva-figura-del-mercado-electrico-que-empoderara-al-consumidor/

Orozco, G. A. (2023). *Uniersidad Externado de Colombia.* Obtenido de Uniersidad Externado de Colombia: https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/48272727-9b1a-4b36-a482-e572d5a7227a/content

Ourworldindata. (06 de 05 de 2024). *ourworldindata*. Obtenido de ourworldindata: https://ourworldindata.org/energy/country/norway

Pedrero , R. A., & Del Granado, P. C. (2023). Assessing the impact of energy communities on retailers' balancing positions.

Portafolio. (08 de marzo de 2022). Estas son las firmas que lideran el negocio de distribución de energía. *Estas son las firmas que lideran el negocio de distribución de energía*.

Proxima energía . (10 de Marzo de 2024). *Proxima energía* . Obtenido de Proxima energía : https://www.proximaenergia.com/diferencia-entre-inversion-generacion-distribuida-y-comunidades-energeticas/

Ramírez Tovar, A. M., España Forero, J. M., Duque Restrepo, L., & Giraldo Quiroz, J. (2023). *EIA.* Obtenido de BARRERAS REGULATORIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN COLOMBIA: https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/1a3e5e6f-37a1-416d-8bbe-f248138ddd24/content

Rincón, T. B. (2020). *Univerisidad Nacional De Colombia*. Obtenido de Univerisidad Nacional De Colombia: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78193/1053834162.2020.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Roberts, R., Brent, A., & Hinkley, J. (2021). Reviewing the impacts of community energy initiatives in New Zealand. *KOTUITUI: NEW ZEALAND JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES ONLINE*.

SANDC. (3 de Mayo de 2024). *S&C Electric Company*. Obtenido de S&C Electric Company: https://www.sandc.com/es/gridtalk/2019/august/15/riio-2-la-confiabilidad-y-la-transicion-de-la-energia/

Santos, E. (25 de MAYO de 2003). *Consejo Nacional de Electricidad.* Obtenido de Consejo Nacional de Electricidad: https://www.ariae.org/sites/default/files/2017-05/Experiencia%20en%20la%20interconexión%20electrica%20Ecuador-Colombia%20.pdf

Sciullo, A., Gilcrease, G. W., Perugin, M., Padovan, D., Curli, B., Gregg, J. S., . . . Muiste, M. (2022). Exploring Institutional and Socio-Economic Settings for the Development of Energy Communities in Europe. *Energies*.

Scopus. (s.f.). *Scopus*. Obtenido de Scopus: https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic

Sen, H., Jingb, W., Yangyangb, F., Wangdab, Z., Hinkelman, K., Kaiser, R. M., . . . Vrabie, D. (2021). An open-source virtual testbed for a real Net-Zero Energy Community. *Sustainable Cities and Society*.

SER Colombia. (02 de 2023). La Asociación de Energías Renovables Colombia – SER Colombia.

Sunny Future. (30 de diciembre de 2024). *sunnyfuture.co*. Obtenido de sunnyfuture.co: https://www.sunnyfuture.co/precio-de-paneles-solares-en-colombia/

Superservicios. (10 de marzo de 2024). *Super Intendencia de Servicios Públicos*. Obtenido de Super Intendencia de Servicios Públicos: https://www.superservicios.gov.co/Empresas-vigiladas/Energ%C3%ADa-y-gas-combustible/Energ%C3%ADa/Unidad-de-Monitoreo-de-Mercados-de-Energ%C3%ADa-y-Gas-Natural/Mercado-de-energ%C3%ADa-mayorista-Informes-hist%C3%B3ricos

Tierra, A. d. (Noviembre de 2023). *Amigos de la tierra*. Obtenido de Amigos de la tierra: https://www.tierra.org/comunidades-energeticas/

UPME. (Abril de 2019). *Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Perdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética.* Obtenido

de UPME: https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance_energia_util/BEU-Residencial.pdf

UPME. (2024 de Marzo de 2024). *Unidad de Planeación Minero Energética*. Obtenido de Unidad de Planeación Minero Energética: https://www1.upme.gov.co/

Vatia S.A. E.S.P. (10 de MARZO de 2024). *Vatia S.A. E.S.P.* Obtenido de Vatia S.A. E.S.P.: https://vatia.com.co/contrato-de-condiciones-uniformes/

Vernay, A.-L., Sebi, C., & Arroyo, F. (2023). Energy community business models and their impact on the energy transition: Lessons learnt from France.

Vertigan , M., Yarrow , G., & Morton, E. (2015). *Review of Governance Arrangements for Australian Energy Markets* . Australia: © Commonwealth of Australia 2015 .

White , L., Riley , B., Wilson, S., Markham , F., O'Neill , L., Klerck, M., & Davis , V. N. (2023). Geographies of regulatory disparity underlying Australia's energy transition. *nature energy*.

Wokur, P. (2022). Community Energy in the United Kingdom: beyond or between the Market and the State? *Revue Française de Civilisation Britannique*.

Wright , S., Frost , M., Wong , A., & Parton, K. (2022). Australian Renewable-Energy Microgrids: A Humble Past, a Turbulent Present, a Propitious Future. *Sustainability*, 2585.

XM. (10 de Marzo de 2024). *XM*. Obtenido de XM: https://www.xm.com.co/transacciones/cargo-por-confiabilidad/precio-de-bolsa-y-escasez

XM. (22 de Noviembre de 2024). *XM*. Obtenido de XM: https://www.xm.com.co/consumo/historicos-de-demanda

Zhang , Y., Robu , V., Cremers, S., Norbu, S., & Couraud, B. (3 de mayo de 2024). Modelling the formation of peer-to-peer trading coalitions and prosumer.

Zhang , Y., Robu, V., Cremers, S., Norbu, S., Couraud, B., Andoni , M., . . . Poor, H. (2023). Modelling the formation of peer-to-peer trading coalitions and prosumer participation incentives in transactive energy communities. *ELSEVIER*.