Aceleración de Fuentes No Convencionales de Energías Renovables en Colombia: Estrategias basadas en Experiencias Latinoamericanas

Andrés Mauricio Cristancho Juliao

Juan Camilo Santamaría Forero

Sandra Milena Tejada Castaño

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia de Proyectos

Bogotá D.C., Colombia

2026

Aceleración de Fuentes No Convencionales de Energías Renovables en Colombia: Estrategias basadas en Experiencias Latinoamericanas

Andrés Mauricio Cristancho Juliao

Juan Camilo Santamaría Forero

Sandra Milena Tejada Castaño

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magíster en Gerencia de Proyectos

Director:

Miguel Ángel González Curbelo

Modalidad:

Monografía

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia de Proyectos

Bogotá D.C., Colombia

2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C., 2026

Sandra Milena Tejada Castaño:

A Dios, a Victoria y a Ricardo. ¡Gracias Totales!

Juan Camilo Santamaria Forero:

A mis sobrinos, Sebas, Tomás y Juan Pablo.

Andrés Mauricio Cristancho Juliao:

A mi esposa.

Agradecimientos

Un reconocimiento especial a nuestro director de Trabajo de Grado, el profesor Miguel Ángel González Curbelo, por su invaluable guía, paciencia y rigor académico durante todo el proceso.

Resumen

La transición energética en Colombia enfrenta el desafío de acelerar la incorporación de otras fuentes renovables que permitan reducir la dependencia de la generación hidroeléctrica y de combustibles fósiles, fortaleciendo la seguridad y sostenibilidad del sistema eléctrico. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un plan de acción estratégico que acelere la participación de las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER) como la solar, la eólica, la biomasa y la geotermia en la matriz energética colombiana, a partir del análisis de las barreras nacionales y de las experiencias implementadas en países líderes de Latinoamérica.

La investigación se estructuró en cuatro (4) fases: i) diagnóstico del estado actual de las FNCER en Colombia, ii) comparación de políticas y modelos latinoamericanos, iii) formulación de estrategias y iv) diseño de un plan de acción estratégico. La integración de los hallazgos permitió identificar barreras técnicas, financieras, normativas y socioambientales, y analizar la aplicabilidad de buenas prácticas regionales al contexto colombiano.

Como resultado, se formularon siete (7) estrategias orientadas al fortalecimiento de la gobernanza institucional, el almacenamiento energético, la geotermia, la bancabilidad de proyectos, la participación ciudadana, la infraestructura eléctrica y las capacidades técnicas del talento humano, las cuales sustentaron un plan de acción dirigido al Ministerio de Minas y Energía.

Se concluyó que la aceleración de las FNCER requiere una intervención integral basada en la articulación institucional, la planificación estratégica y la adaptación de experiencias exitosas, proporcionando una hoja de ruta para fortalecer la transición energética y diversificar la matriz eléctrica nacional.

Palabras clave: Transición energética, FNCER, Gobernanza institucional, Política energética, Diversificación de la matriz energética, Bancabilidad de proyectos FNCER.

Abstract

The energy transition in Colombia faces the challenge of accelerating the integration of other renewable energy sources that will reduce dependence on hydroelectric power and fossil fuels, thereby strengthening the security and sustainability of the electric power system. In this context, the present study aimed to develop a strategic action plan to accelerate the participation of Non-Conventional Renewable Energy Sources (NCRES) such as solar, wind, biomass, and geothermal in the Colombian energy matrix, based on an analysis of national barriers and experiences implemented in leading Latin American countries.

The research was structured in four (4) phases: i) diagnosis of the current state of NCRES in Colombia, ii) comparison of Latin American policies and models, iii) formulation of strategies, and iv) design of a strategic action plan. The integration of findings made it possible to identify technical, financial, regulatory, and socio-environmental barriers and to analyze the applicability of regional best practices to the Colombian context.

As a result, seven (7) strategies were formulated aimed at strengthening institutional governance, energy storage, geothermal energy, project bankability, citizen participation, electrical infrastructure, and the technical capacities of human talent. These strategies underpinned an action plan directed at the Ministry of Mines and Energy.

It was concluded that the acceleration of NCRES requires a comprehensive intervention based on institutional coordination, strategic planning, and the adaptation of successful experiences, providing a roadmap to strengthen the energy transition and diversify the national electricity matrix.

Keywords: Energy transition, NCRES, Institutional governance, Energy policy, Energy matrix diversification, NCRES project bankability.

Tabla de Contenidos

Pág.

Lista de Figuras 10

Lista de Tablas 11

Introducción 12

Objetivos....16

Objetivo general 16

Objetivos específicos 16

Justificación 17

Marco Teórico....21

Transición energética y sostenibilidad global....21

Matriz energética de Colombia, su dependencia hidroeléctrica y la transición a las FNCER 22

Características técnicas de las FNCER....23

Energía solar 23

Energía de biomasa....25

Energía geotérmica 26

Vertimientos de energía 28

Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías (BESS) 29

Aspectos regulatorios en la adopción de FNCER....29

Marco normativo internacional de apoyo a las FNCER 29

Legislación colombiana vigente sobre las FNCER....30

Roles institucionales en las FNCER....31

Financiación de FNCER....32

Mecanismos de financiación a pequeña y gran escala de las FNCER....32

Incentivos tributarios las FNCER 33

Aspectos socioambientales y de aceptación social *33*

Impactos socioambientales de las FNCER 34

Conflictos con comunidades locales y pueblos indígenas. 34

Percepción social sobre energías renovables y la problemática NIMBY 34

Hipótesis 36

Variables 37

Metodología 40

Enfoque de la investigación *40*

Diseño de la investigación *40*

Fases de la investigación *41*

Fase 1. Diagnóstico del estado actual de las FNCER en Colombia 41

Fase 2. Comparación de políticas y modelos en América Latina 42

Fase 3. Propuesta de estrategias técnicas, financieras, normativas y socioambientales 42

Fase 4. Plan de acción para la aceleración de las FNCER en Colombia 43

Resultados y Discusión 45

Diagnóstico del estado actual de las FNCER en Colombia *45*

Participación de las FNCER en la generación de energía eléctrica en Colombia 45

Evolución de la Capacidad Efectiva Neta 47

Identificación de las principales barreras técnicas 51

Identificación de las principales barreras financieras 53

Identificación de las principales barreras normativas 54

Identificación de las principales barreras socioambientales 55

Comparación de políticas y modelos en América Latina *60*

Caso Brasil 60

Caso Chile 61

Caso Uruguay 62

Caso Argentina 63

Caso Nicaragua, Costa Rica, El Salvador y México 64

Propuesta de estrategias para fortalecer la implementación de FNCER en Colombia *67*

Fortalecimiento de la gobernanza institucional para el desarrollo de las FNCER 67

Integración del almacenamiento energético como habilitador de la transición energética 70

Aprovechamiento del potencial geotérmico para diversificar la matriz energética 73

Mecanismos financieros para fortalecer la bancabilidad de proyectos FNCER 75

Fortalecimiento de la participación ciudadana en proyectos FNCER 77

Fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para facilitar la integración de las FNCER 80

Fortalecimiento de las capacidades técnicas del talento humano para apoyar la transición energética 82

Integración de hallazgos y fundamentación de las estrategias propuestas 85

Plan de acción para la aceleración de las FNCER en Colombia *86*

Creación de agencia nacional de proyectos FNCER 87

Lineamientos para la incorporación de sistemas BESS en proyectos FNCER 89

Promover la geotermia como nueva tecnología de FNCER en Colombia 91

Fortalecimiento de la bancabilidad nacional 92

Fortalecimiento de la participación ciudadana en proyectos FNCER 94

Fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para la integración de FNCER 96

Fortalecimiento de capacidades técnicas del talento humano para la transición energética 98

Conclusiones 101

Referencias 103

Anexos.....121

Anexo 1: Plan de acción detallado para la creación de agencia nacional de proyecto FNCER 121

Anexo 2: Plan de acción detallado de los lineamientos para la incorporación de sistemas BESS en proyectos FNCER.....134

Anexo 3: Plan de acción detallado para promover la geotermia como nueva tecnología de FNCER en Colombia 144

Anexo 4: Plan de acción detallado para el fortalecimiento de la bancabilidad nacional 151

Anexo 5: Plan de acción detallado para el fortalecimiento de la participación ciudadana en proyectos FNCER.....161

Anexo 6: Plan de acción detallado del fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para la integración de FNCER 170

Anexo 7: Plan de acción detallado del fortalecimiento de capacidades técnicas del talento humano para la transición energética.....176

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1. *Comparación de la intensidad de los fenómenos de El Niño en tres periodos distintos.* 19

Figura 2. *Esquema del efecto fotoeléctrico*....24

Figura 3. *Estructura general de un sistema eólico.* 25

Figura 4. *Recursos de biomasa*....26

Figura 5. *Esquema general de una central geotérmica.* 27

Figura 6. *Evolución anual de la participación en la matriz de generación en Colombia.* 46

Figura 7. *Evolución anual de la Capacidad Efectiva Neta en Colombia.* 48

Figura 8. *Evolución de las FNCER presentes en la matriz de generación de Colombia.* 49

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. *Regulación aplicable a las FNCER en Colombia.* 31

Tabla 2. *Comparación de políticas y modelos en Latinoamérica* 66

Tabla 3. *Integración entre diagnóstico, referentes latinoamericanos y estrategias propuestas* 86

Tabla 4. *Matriz de implementación de la estrategia Creación de agencia nacional de proyectos FNCER* 88

Tabla 5. *Matriz de implementación de la estrategia Lineamientos para la incorporación de sistemas BESS en proyectos FNCER* 90

Tabla 6. *Matriz de implementación de la estrategia Promover la geotermia como nueva tecnología de FNCER en Colombia* 92

Tabla 7. *Matriz de implementación de la estrategia Fortalecimiento de la bancabilidad nacional*.....94

Tabla 8. *Matriz de implementación de la estrategia Fortalecimiento de la participación ciudadana en proyectos FNCER* 96

Tabla 9. *Matriz de implementación de la estrategia Fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para la integración de FNCER* 98

Tabla 10. *Matriz de implementación de la estrategia Fortalecimiento de capacidades técnicas para la transición energética*.....100

Introducción

Colombia ha adoptado la Agenda 2030 de las Naciones Unidas como marco orientador para su desarrollo, comprometiéndose a cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7, que busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (Organización de las Naciones Unidas, s.f.). Entre sus metas nacionales se destacan el incremento de la capacidad instalada proveniente de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (en adelante, FNCER) y la mejora en la eficiencia energética, acciones que se articulan con la transición hacia una matriz diversificada y baja en emisiones (Departamento Nacional de Planeación, s.f.). Este compromiso internacional, incorporado en los planes y políticas energéticas, constituye un antecedente fundamental para la presente investigación, ya que orienta la formulación de estrategias para acelerar la participación de tecnologías como solar, eólica, biomasa y geotermia en la matriz eléctrica colombiana.

En el año 2024, según la International Energy Agency [IEA] (2025), la demanda mundial de energía experimentó un incremento del 2,2 %, reflejando una tendencia sostenida de crecimiento impulsada por diversos factores económicos y por las necesidades crecientes de los sistemas productivos y sociales. En este contexto global, la región de América Latina no fue ajena a dichos cambios, evidenciándose un aumento significativo en la demanda de gas natural, particularmente en países como Brasil y Colombia. De acuerdo con la Organización Latinoamericana y Caribeña de Energía (OLACDE) (2024), la Agencia Nacional de Petróleo [ANP] (2024) informó que la producción media de petróleo y gas natural de Brasil alcanzó en 2023 el récord de 4,344 Mbep/día, un 11,69 % más que en 2022, llegando por primera vez a una producción media superior a los cuatro millones de barriles diarios. Asimismo, menciona que la oferta primaria de energía de Colombia “está conformada principalmente por petróleo y gas

natural con participaciones del 41 % y 27 % respectivamente". Este comportamiento estuvo relacionado con condiciones climáticas adversas, ya que ambos países atravesaron intensos periodos de sequía que limitaron de manera considerable la disponibilidad de generación hidroeléctrica.

La alta dependencia de Colombia respecto a la generación hidroeléctrica constituye uno de los principales retos en materia de seguridad energética, ya que esta fuente continúa siendo el pilar del sistema eléctrico nacional y, al mismo tiempo, una de las más vulnerables frente a los impactos derivados de la variabilidad climática. Por ejemplo, en el año 2025 la participación de las centrales hidroeléctricas representó el 80,68 % de la matriz de generación del país (XM, s. f.), situación que, si bien ha permitido contar con un modelo relativamente limpio en términos de emisiones, también ha expuesto al sistema a riesgos significativos en periodos de sequía prolongada. En este sentido, el Plan Energético Nacional 2020-2050 (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2021) establece que, en los escenarios de planeación a largo plazo, se proyecta una reducción de la participación de esta tecnología hasta alcanzar un 37,4 % para el año 2050, en concordancia con los lineamientos de diversificación de la matriz energética y con las políticas orientadas a fortalecer la incorporación de energías renovables no convencionales tales como solar, eólica, biomasa y geotérmica. Se estima que la participación en 2050 de los energéticos se distribuirá de la siguiente manera: 1) petróleo y derivados con 41,9 %; 2) carbón mineral con 6,4 %; 3) gas natural con 21,4 %; 4) biomasas, residuos y biocombustibles con 10,8 %; 5) FNCER con 7,8 %; 6) hidroenergía con 10,6 %; y 7) nuclear con 1,2 %. Dichas proyecciones reflejan el propósito de mitigar la vulnerabilidad estructural del sistema eléctrico colombiano y garantizar una transición energética ordenada, resiliente y sostenible.

La transición energética se ha consolidado como una de las principales estrategias de Colombia para enfrentar los efectos de la crisis climática, enmarcada dentro de una política pública que busca avanzar hacia un modelo energético más sostenible y resiliente (Procuraduría General de la Nación [PGN], 2024), y así poder enfrentar los retos que se tienen en esta materia y llegar al cumplimiento de los objetivos propuestos en la política pública. En Colombia, mediante la Ley 1715 del 13 de mayo de 2014, se inicia la política de Estado sobre la regulación de las energías renovables no convencionales del sistema energético nacional. Esta ley pretende promover el desarrollo y la utilización de las FNCER en Colombia, creando el marco legal y los instrumentos para el aprovechamiento de la energía renovable. Es allí donde se crea el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) para financiar, gestionar y ejecutar planes, programas y proyectos alineados con el uso de FNCER en Colombia y la gestión eficiente de la energía.

En el año 2018, mediante el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), se declaró de importancia estratégica la “Política de crecimiento verde”, definiendo siete (7) acciones orientadas a impulsar el aumento de la productividad y de la competitividad económica del país, asegurando el uso sostenible del capital natural y la inclusión social. En el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 se dispusieron incentivos para apalancar el desarrollo y uso de las FNCER.

La Ley 2099 del 10 de julio de 2021 incluye el hidrógeno verde y la geotermia como FNCER y el hidrógeno azul como una fuente no convencional de energía, modificando parcialmente la Ley 1715 de 2014, fortaleciendo el FENOGE y ampliando su fuente de recursos y proyectos de financiación, entre otros aspectos.

Con lo anterior, se plantea: ¿Qué estrategias técnicas, financieras, normativas y socioambientales pueden implementarse en Colombia para acelerar la participación de

las FNCER en la matriz energética y cómo estas contribuirían a reducir la dependencia hidroeléctrica?

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un plan de acción estratégico que acelere la participación de las FNCER (solar, eólica, biomasa y geotermia) en la matriz energética de Colombia, frente a su dependencia de la generación hidroeléctrica.

Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual de la participación de FNCER en la matriz energética de Colombia, considerando las principales barreras técnicas, regulatorias, financieras y socioambientales que limitan su expansión.
- Comparar políticas, modelos de implementación y resultados en países líderes de Latinoamérica que han diversificado su matriz energética más allá de las hidroeléctricas.
- Proponer estrategias técnicas, financieras, normativas y socioambientales para acelerar el despliegue de FNCER en Colombia, considerando su viabilidad en función de las condiciones geográficas, institucionales y socioeconómicas del país.
- Diseñar un plan de acción estratégico dirigido al Ministerio de Minas y Energía para acelerar la integración de las FNCER en Colombia, sustentado en las estrategias formuladas a partir del diagnóstico nacional y del análisis comparativo de experiencias latinoamericanas.

Justificación

El Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia, Potencia Mundial de la Vida”, en su eje de transformación “economía productiva para la vida y acción climática”, establece como meta explícita incorporar 2.000 MW de capacidad operativa generada a partir de FNCER, tales como solar, eólica, biomasa y geotermia (DNP, 2022). Esta directriz soporta la necesidad de dinamizar el despliegue de energías no convencionales como una prioridad estratégica del gobierno colombiano y proporciona el soporte político que sustenta y legitima la investigación propuesta tendiente a acelerar la participación de las FNCER en la matriz eléctrica nacional.

A pesar de las metas ambiciosas del Plan Nacional de Desarrollo y la existencia de incentivos legislativos que se mantienen vigentes (como las Leyes 1715 y 2099), la diversificación de la matriz energética en Colombia sigue siendo moderada, mostrando una alta dependencia de la generación hidroeléctrica, lo cual la hace vulnerable frente a la variabilidad climática y eventos extremos como el fenómeno de El Niño (DNP, 2022). Esta brecha entre los compromisos estratégicos y los resultados efectivos justifica la necesidad de investigar y desarrollar un plan integral de gestión que permita transitar efectivamente hacia una matriz más diversificada y resiliente.

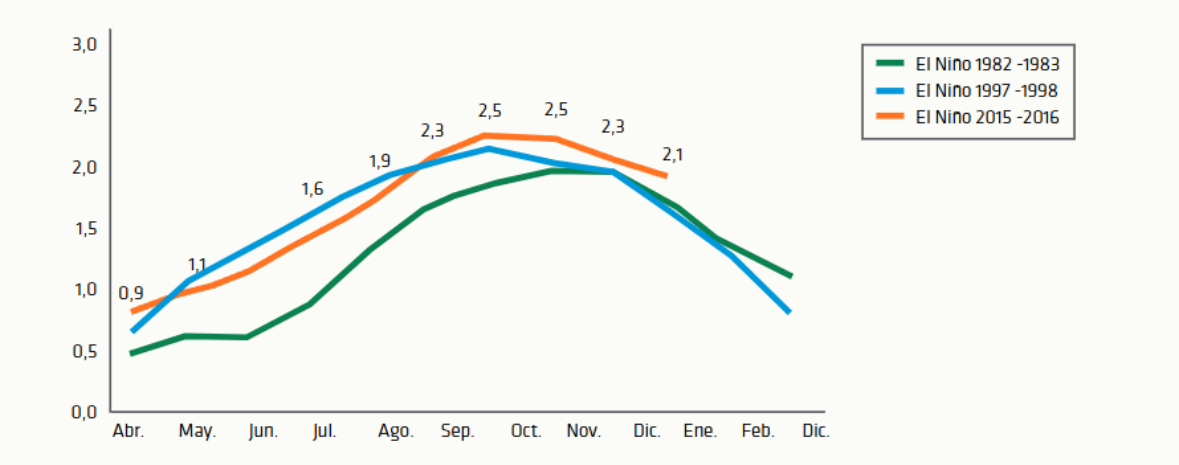
En complemento a lo anterior, si bien el Plan Indicativo de Expansión de la Generación 2023–2037 elaborado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2024) establece escenarios con participación creciente de energías no convencionales, evidencia que dicha expansión podría ser insuficiente para contrarrestar los impactos asociados con la alta dependencia de las fuentes hidroeléctricas. Esta limitada diversificación pone en riesgo la estabilidad del sistema eléctrico frente a eventos climáticos extremos y subraya la urgencia de desarrollar estrategias de gestión de proyectos robustas que permitan acelerar el despliegue de tecnologías limpias en la

matriz energética nacional. Sin una intervención estructurada que incorpore componentes técnicos, regulatorios y financieros, el país podría quedar rezagado en su transición energética.

Por otra parte, se han desarrollado estudios, hojas de rutas y propuestas para avanzar en la diversificación de la matriz energética, incorporar nuevas tecnologías y disminuir el consumo de energía en diferentes sectores económicos, como lo son: Plan Energético Nacional - PEN 2020–2050 (UPME, 2021), Plan de Expansión de Referencia Generación - Transmisión (UPME, anual), Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía - PROURE (MinMinas, 2021), Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética - PAI PROURE 2017–2022 (MinMinas, 2016), Hoja de Ruta de la Transición Energética (UPME, 2020), Contribución Determinada a Nivel Nacional actualizada de Colombia (MinAmbiente, 2020) y Estudios del Banco Mundial (2021) y del Banco Interamericano de Desarrollo (2022); no obstante, la mayoría han sido de carácter indicativo y a corto plazo, por lo que se hace necesario acelerar la política de transición energética para lograr cumplir con los objetivos adquiridos a nivel internacional.

En la Figura 1 se comparan los datos de los tres fenómenos de El Niño más intensos en Colombia, mediante los cuales se evidencia que este fenómeno es cada vez más fuerte. Esto indica que la sequía aumenta, que las lluvias disminuyen y que la generación de energía mediante hidroeléctricas se ve afectada considerablemente, al punto de pensar en un racionamiento de agua y luz, lo que impacta directamente la economía del país respecto al aumento de costos y disminución de producción, cambio de rutinas en la sociedad e impacto en la eficiencia laboral. En respuesta a esta problemática que puede pasar aproximadamente cada 4 años, se prioriza la necesidad de diversificar la matriz energética del país, pensando en acelerar la transición a FNCER.

Figura 1. *Comparación de la intensidad de los fenómenos de El Niño en tres periodos distintos.*



Nota. Adaptado de “El impacto de El Niño en Colombia” (p. 42), por D. Contreras, 2016, *Revista Fasecolda (*163).

El trabajo de investigación se alinea con la filosofía institucional de la Universidad Ean, al concebir el conocimiento como motor de transformación sostenible y cuya búsqueda se alinea con una gestión responsable de los recursos en beneficio de la sociedad. Por tanto, este documento académico busca aportar soluciones concretas a uno de los desafíos estructurales del país: la transición hacia un modelo energético diversificado, resiliente y ambientalmente sostenible. La propuesta de estrategias para acelerar la participación de las FNCER en Colombia responde a los principios de la Universidad Ean, como son la innovación, el emprendimiento y la sostenibilidad, los cuales fomentan la creación de valor social y económico a partir de la aplicación y gestión del conocimiento con la generación de propuestas que impulsen el progreso nacional bajo un enfoque de sostenibilidad integral.

El desarrollo de la investigación se sustenta en la complementariedad de perfiles profesionales que integran competencias técnicas, gerenciales y estratégicas, necesarias para abordar la transición energética desde una perspectiva integral. La experiencia

acumulada en ingeniería eléctrica, electrónica y civil aporta una comprensión profunda sobre los aspectos tecnológicos, de infraestructura y operativos asociados a la implementación de proyectos energéticos sostenibles. De igual manera, la formación en administración, auditoría, gestión de riesgos y regulación permite incorporar una visión analítica y de gobernanza aplicada a los marcos normativos y financieros del sector. Esta combinación de saberes técnicos y de gestión fortalece la capacidad del equipo investigador para diseñar estrategias viables y sustentadas, en coherencia con los principios de la Maestría en Gerencia de Proyectos de la Universidad Ean, los cuales promueven la integración del conocimiento interdisciplinario, la innovación aplicada y la responsabilidad social como ejes para la generación de valor de alto impacto en el desarrollo sostenible del país.

Marco Teórico

Transición energética y sostenibilidad global

La transición energética corresponde al proceso global de transformación del sistema energético basado en combustibles fósiles hacia sistemas con fuentes de energía renovables, mejoras en eficiencia energética y menor emisión de carbono. Este cambio busca minimizar el uso de recursos fósiles para la generación de energía y reducir los impactos ambientales y sociales asociados al cambio climático, alineándose con los principios de sostenibilidad (ambiental, social, económica). El término de transición energética no es nuevo; incluso Halawa (2024) menciona que, más que una idea moderna, el concepto de la transición energética puede considerarse tan antiguo como la historia de la humanidad y ha sido parte integral de la civilización humana.

La comunidad internacional ha creado acuerdos que impulsen esta transformación. El Acuerdo de París obliga a los países a fijar Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDCs), con metas de reducción de emisiones que implican una mayor adopción de energías limpias. Adicionalmente, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (especialmente los ODS 7: energía asequible y limpia; ODS 13: acción por el clima) exigen políticas coherentes para acelerar la transición energética. Estos compromisos establecen tanto obligaciones como incentivos internacionales financieros y tecnológicos para los países en desarrollo.

La diversificación de la matriz energética es importante para minimizar el impacto que causan los riesgos asociados con la variabilidad climática en la seguridad energética de un país. Por ejemplo, los países que cuentan con una alta participación de generación hidroeléctrica en su matriz energética enfrentan una amenaza a la estabilidad del sistema eléctrico ante las sequías debido al bajo nivel de los embalses. Incluir a las FNCER en el

sistema eléctrico mejora la resiliencia del sistema, reduciendo el riesgo ante eventos climáticos extremos, garantizando un suministro más estable.

No obstante, existen retos globales comunes: la intermitencia de algunas fuentes renovables, la necesidad de redes eléctricas robustas y flexibles (incluyendo redes inteligentes), almacenamiento energético, barreras institucionales y regulatorias, financiamiento, aceptación social y costos iniciales de capital elevados. También desafíos en política pública, como incentivos correctos, coordinación entre niveles de gobierno y estabilidad regulatoria, son esenciales para que la transición no solo sea técnica sino viable socialmente.

Matriz energética de Colombia, su dependencia hidroeléctrica y la transición a las FNCER

El recurso hidroeléctrico en Colombia se consolida como la principal fuente de generación de energía, manteniendo un claro predominio dentro de la matriz energética nacional. Esta tecnología continúa siendo el componente esencial del Sistema Interconectado Nacional, actuando como el soporte fundamental de la seguridad y estabilidad del suministro eléctrico del país. Según datos oficiales del aplicativo UPME (2025), la generación hidroeléctrica en operación representa el 63,71 % de la matriz energética del país. Este predominio implica que eventos de variabilidad climática como sequías o reducciones de las precipitaciones afectan significativamente la seguridad del suministro y obligan al uso adicional de generación térmica.

En la actualidad, las FNCER, como la solar, eólica, biomasa y geotermia, aunque están reguladas por la Ley 1715 de 2014, todavía tienen una participación pequeña en la generación eléctrica del país. Sin embargo, cuentan con un número creciente de proyectos en desarrollo. Por ejemplo, la energía solar fotovoltaica cerró el 2025 con una participación del 5,30% en la matriz de generación nacional (XM, s. f.). Por otro lado, la

energía eólica apenas cuenta con 0,25 % del Sistema Interconectado Nacional con proyectos en pruebas (UPME, 2025).

La UPME estima que, para 2037, la participación de FNCER (solar, eólica, biomasa) podría subir significativamente, llegando a un rango entre 37 % y 45 % de la matriz de generación, mientras que la hidráulica y las térmicas verían reducida su participación (UPME, s.f.). Este cambio implicaría reducir la dependencia hidroeléctrica, lo que aumentaría la resiliencia del sistema ante la variabilidad climática.

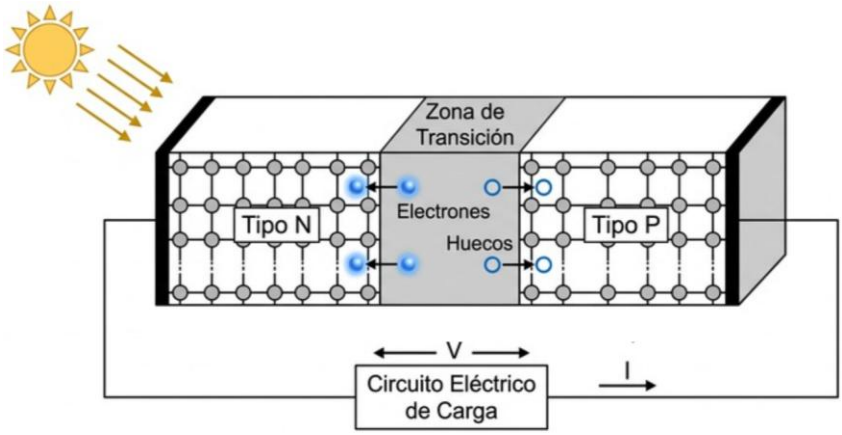
Características técnicas de las FNCER

Energía solar

La energía solar fotovoltaica se basa en la conversión directa de la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico, un proceso en el cual los fotones transfieren su energía a electrones en un material semiconductor, principalmente silicio cristalino. Al incidir la radiación, se generan pares electrón-hueco en el semiconductor. El campo eléctrico interno de la unión p-n, presente en una región delgada llamada zona de transición, separa estas cargas, desplazando los electrones hacia el lado n y los huecos hacia el lado p (Marques Lameirinhas et al., 2022). Esta separación de cargas produce una diferencia de potencial entre ambos lados de la unión, dando lugar al voltaje característico del efecto fotoeléctrico. Lo anterior se muestra en la Figura 2.

El componente fundamental es la celda fotovoltaica, estructurada a partir de una unión p–n. A nivel de sistema, mediante conexiones en serie y paralelo, las celdas se agrupan en módulos fotovoltaicos que a su vez son conectados a inversores para convertir la corriente continua en corriente alterna. Los inversores gestionan el sistema con algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), que buscan aumentar la potencia de salida de manera efectiva (SeyedShenava et al., 2025).

Figura 2. *Esquema del efecto fotoeléctrico.*



Nota. Figura generada mediante inteligencia artificial con Oreate, adaptada de Marques Lameirinhas et al. (2022).

Los sistemas fotovoltaicos destacan por su modularidad, escalabilidad y eficiencia, adaptándose desde pequeñas instalaciones hasta plantas a gran escala, aunque su rendimiento depende de factores como la temperatura, la orientación y la irradiancia (Marques Lameirinhas et al., 2022).

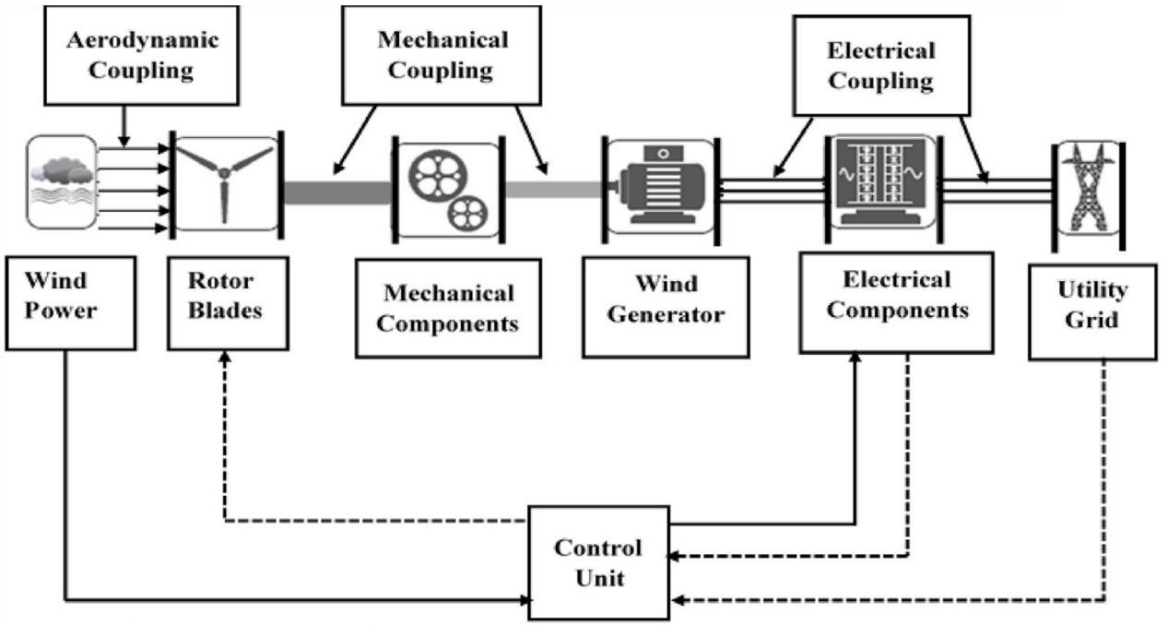
Energía eólica

La energía eólica se basa en la conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica mediante aerogeneradores. Cuando el viento incide sobre las palas del rotor, se genera una fuerza aerodinámica que provoca su rotación, transformando la energía del flujo de aire en energía mecánica. Esta energía es posteriormente convertida en electricidad a través de un generador acoplado al eje del rotor (Dhir, 2024). La eficiencia máxima de esta tecnología es del 59,3 % según la ley de Betz (Khosravi et al., 2018).

Desde el punto de vista técnico, las turbinas eólicas se componen principalmente de la torre, el rotor y la góndola, donde se encuentran el generador y los sistemas de transmisión. La caja de engranajes es un elemento central del diseño mecánico, ya que convierte las bajas velocidades del rotor en velocidades más altas para el generador. El

movimiento del eje del generador, impulsado por la turbina, produce energía eléctrica, cuyo suministro se regula mediante estrategias de control y supervisión adecuadas (Desalegn et al., 2022). La Figura 3 muestra la estructura general de un sistema eólico.

Figura 3. *Estructura general de un sistema eólico.*



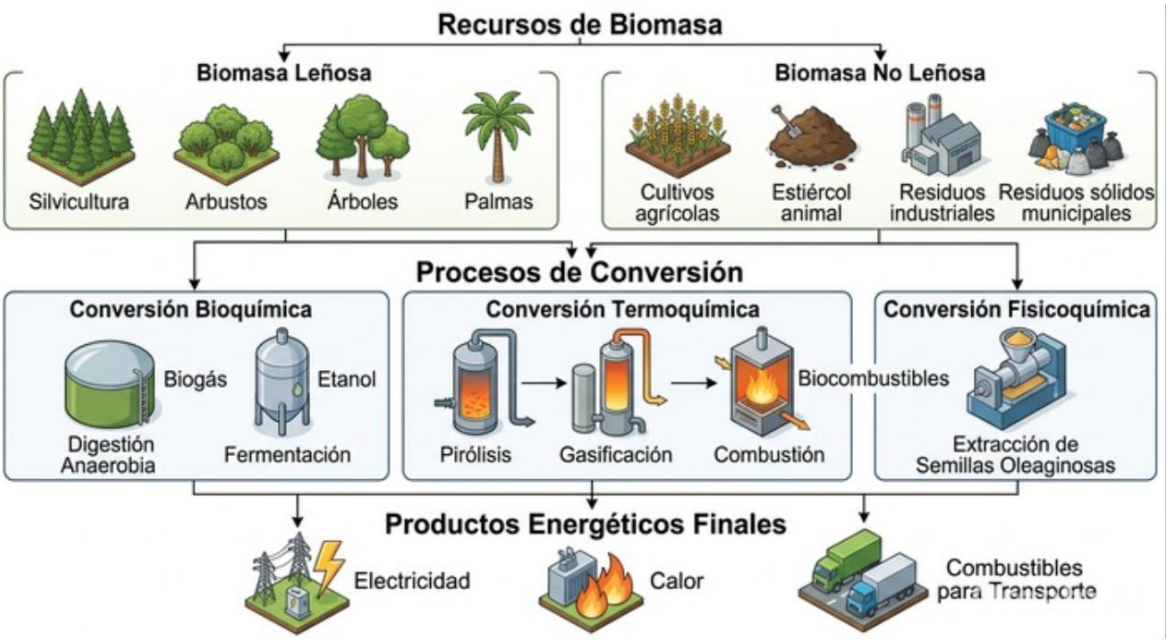
Nota. Tomado de (Desalegn et al., 2022).

Energía de biomasa

La energía de biomasa se fundamenta en la conversión de materia orgánica en energía útil mediante procesos bioquímicos, termoquímicos o fisicoquímicos. La conversión bioquímica comprende principalmente la digestión anaerobia, que produce biogás, y la fermentación, orientada a la obtención de etanol. Por su parte, la conversión termoquímica incluye procesos como la pirólisis, la gasificación, la combustión y el procesamiento hidrotérmico, mediante los cuales la biomasa se transforma en energía o combustibles intermedios. Finalmente, la conversión fisicoquímica se basa principalmente en la extracción, donde las semillas oleaginosas son trituradas para obtener aceites aprovechables energéticamente (Adams et al., 2018).

Los recursos de biomasa se clasifican en biomasa leñosa, no leñosa, residuos bioprocesados y combustibles procesados, provenientes de la silvicultura, los cultivos agrícolas y energéticos, los residuos industriales, el estiércol animal y los residuos sólidos municipales y aguas residuales. En esta clasificación, los residuos forestales como arbustos, árboles y palmas corresponden a biomasa leñosa, mientras que los residuos industriales, el estiércol animal y los desechos domésticos se consideran biomasa no leñosa (Balopi et al., 2025). La Figura 4 muestra un esquema gráfico de lo mencionado anteriormente.

Figura 4. *Recursos de biomasa.*



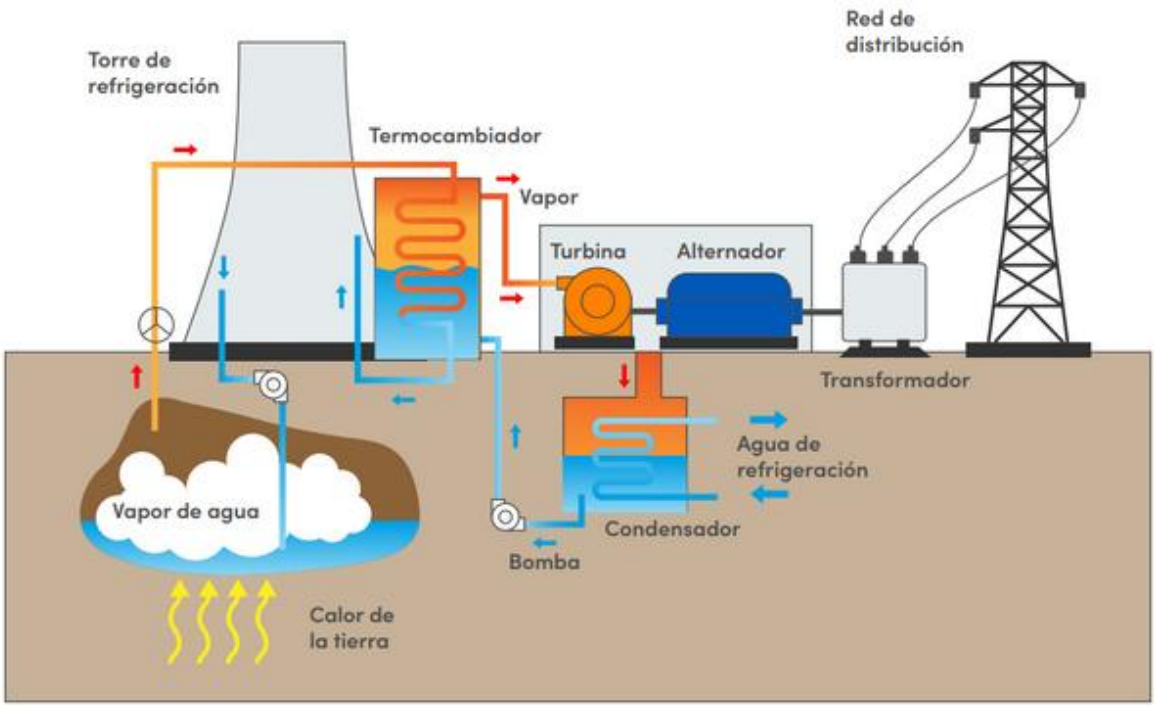
Nota. Figura elaborada mediante inteligencia artificial con Oreate, utilizando instrucciones definidas por el autor y fundamentadas en los planteamientos de Adams et al. (2018) y Balopi et al. (2025).

Energía geotérmica

La energía geotérmica se basa en el aprovechamiento del calor interno de la Tierra, mediante la extracción de fluidos como agua o vapor desde reservorios profundos. Las

centrales geotérmicas operan de forma similar a las centrales térmicas de vapor, donde se utiliza el calor interno de la Tierra para calentar agua u otro fluido de trabajo. Este fluido, al alcanzar altas temperaturas, se vaporiza y es conducido hacia la superficie, donde impulsa una turbina acoplada a un generador para producir electricidad. Posteriormente, el vapor se enfría, se condensa y el fluido es reinyectado al subsuelo, cerrando el ciclo para su recalentamiento continuo (Nkinyam et al., 2025). La Figura 5 muestra el esquema general de una central de generación geotérmica.

Figura 5. *Esquema general de una central geotérmica.*



Nota. Tomado de “Energía geotérmica: una solución sostenible para el futuro energético”, por Universidad Americana de Europa [UNADE] (s.f.).

Los sistemas geotérmicos se presentan en diversos entornos geológicos, donde las temperaturas y profundidades de los reservorios varían según sus condiciones naturales.

Los sistemas hidrotermales de alta temperatura (superiores a 180 °C) suelen estar asociados a zonas con actividad volcánica reciente. Asimismo, existen sistemas de temperatura intermedia (entre 100 y 180 °C) y de baja temperatura (inferior a 100 °C), los cuales se localizan principalmente en entornos continentales (Ellabban et al., 2014).

Las fuentes de energía geotérmica se clasifican en sistemas hidrotermales, sistemas conductivos y acuíferos profundos. Los sistemas hidrotermales incluyen tipos dominados por líquidos y vapores. Los sistemas conductivos incluyen roca caliente y magma en un amplio rango de temperaturas, y los acuíferos profundos contienen fluidos circulantes en medios porosos o zonas de fractura a profundidades generalmente superiores a 3 km (Ellabban et al., 2014).

Vertimientos de energía

El vertimiento de energía es el fenómeno mediante el cual una parte de la energía potencialmente disponible no puede ser aprovechada debido a limitaciones técnicas, operativas o de infraestructura del sistema eléctrico. Históricamente, el término se utilizó en el ámbito hidroeléctrico para describir el agua que no puede pasar por las turbinas por restricciones en la capacidad de almacenamiento de los embalses o de las centrales de generación. Sin embargo, con el crecimiento de las fuentes renovables variables, como la energía solar y eólica, el concepto se ha ampliado para referirse a la energía que deja de producirse o inyectarse a la red aun cuando existe disponibilidad del recurso primario, debido a restricciones en la transmisión, congestiones de la red, insuficiente demanda o falta de capacidad de almacenamiento. Este fenómeno representa un desperdicio de recursos energéticos y genera pérdidas económicas significativas, además de limitar la eficiencia de la transición energética. En América Latina y el Caribe, OLACDE (2025) estima que durante 2024 se dejaron de aprovechar aproximadamente 53.000 GWh de energía renovable, equivalentes a cerca del 3,2 % de la generación anual de la región,

con pérdidas económicas cercanas a US$ 6.890 millones. Frente a este desafío, se han propuesto estrategias como el fortalecimiento de la planificación eléctrica, la expansión de las redes de transmisión, la gestión de la demanda, la integración regional y, especialmente, la implementación de sistemas de almacenamiento de energía, los cuales permiten capturar los excedentes de generación y utilizarlos en momentos de mayor necesidad, reduciendo así los niveles de vertimiento y favoreciendo una operación más eficiente y sostenible del sistema eléctrico.

Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías (BESS)

El almacenamiento electroquímico mediante baterías constituye una de las tecnologías más relevantes para la integración de fuentes de energía renovable y la modernización de los sistemas eléctricos. En particular, los Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS) permiten capturar los excedentes de generación, especialmente provenientes de fuentes solares y eólicas, para liberarlos en momentos de mayor demanda o menor producción, contribuyendo así a la estabilidad, flexibilidad y confiabilidad de la red eléctrica (OLACDE, 2025). Entre las diferentes tecnologías disponibles, las baterías de ion-litio predominan debido a su elevada eficiencia, rápida capacidad de respuesta, alta densidad energética y creciente competitividad económica, aunque también se desarrollan alternativas como las baterías de flujo, sodio-azufre y estado sólido.

Aspectos regulatorios en la adopción de FNCER

Marco normativo internacional de apoyo a las FNCER

En el marco de la Asamblea General de la ONU del año 2015, los líderes mundiales adoptaron los 17 ODS estableciendo un plan de acción para el año 2030 con el fin de erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de la humanidad. El ODS 7 se enfoca en el acceso a la energía limpia, asequible y no contaminante y

propone para el año 2030 aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

La regulación internacional para las FNCER se basa en acuerdos y marcos de trabajo globales, y como un gran hito se da el primer paso en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (COP21) realizada el 12 de diciembre de 2015, con la firma por parte de 193 países y la Unión Europea del Acuerdo de París, que es un tratado internacional legalmente vinculante para los miembros de la COP. Entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Asimismo, la IRENA fue creada como un organismo intergubernamental de cooperación internacional que apoya a los países en la transición energética, impulsando el uso sostenible de FNCER (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

Legislación colombiana vigente sobre las FNCER

En Colombia, la Ley 1715 de 2014 modificada mediante la Ley 2099 de 2021 (Presidencia de la República de Colombia, 2015a, 2015b) pretende el desarrollo y uso de las FNCER e impulsa la modernización del sistema energético del país. De estas leyes se desprenden decretos y resoluciones de la CREG y la UPME buscando diversificar la matriz energética, reducir la dependencia de fuentes fósiles y promover las energías limpias.

La Tabla 1 detalla los actos administrativos más relevantes para la regulación que rige el contexto de las FNCER en el país.

Tabla 1. *Regulación aplicable a las FNCER en Colombia.*

Ley	Objeto
1715 de 2014	Regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional y crea incentivos como deducción de renta, exclusión de IVA, exención de aranceles, depreciación acelerada. También promueve: autogeneración, generación distribuida, gestión eficiente de la energía.
2099 de 2021	Modifica y fortalece la Ley 1715. Amplía el alcance a: hidrógeno verde y azul, almacenamiento de energía, nuevos modelos de negocio, transición energética justa. Impulsa la modernización del sistema energético colombiano.
Decreto	**Objeto**
2143 de 2015	Reglamenta los incentivos tributarios de la Ley 1715. Procedimiento para acceder a beneficios y rol de la UPME y la DIAN.
1073 de 2015	Decreto Único Reglamentario del sector de Minas y Energía. Integra normas sobre: autogeneración, generación distribuida y FNCER.
570 de 2018	Regula: Contratación de largo plazo, subastas para proyectos FNCER, integración de renovables al mercado mayorista.
829 de 2020	Fomenta: generación distribuida, medición avanzada, nuevas formas de participación de usuarios.
2236 de 2023	Reglamenta parcialmente el artículo 235 de la Ley 2294 de 2023 del Plan Nacional de Desarrollo 2022 - 2026 en lo relacionado con las Comunidades Energéticas en el marco de la Transición Energética Justa en Colombia.
852 de 2024	Modifica los artículos 2.2.2.3.1.1, 2.2.2.3.2.2 y 2.2.2.3.2.3 del Decreto 1076 de 2015, en relación con las competencias para otorgar la licencia ambiental a los proyectos de exploración y uso de fuentes de energía alternativa virtualmente contaminantes, y se toman otras determinaciones.
1403 de 2024	Modifica el Decreto 1073 de 2015, en relación con los lineamientos de política energética en materia de autogeneración y producción marginal.
1033 de 2025	Se adiciona el capítulo 10 del Título 2 de la parte 2 del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015, Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Licencia Ambiental Solar con Diseño Optimizado -LASolar- para impulsar la transición energética justa y se dictan otras disposiciones.
Resolución	**Objeto**
CREG 030 de 2018	Autogeneración a pequeña escala y generación distribuida.
CREG 174 de 2021	Comercialización de excedentes.
CREG 075 de 2021	Almacenamiento de energía.
CREG 060 de 2019	Medición bidireccional.

Roles institucionales en las FNCER

Como se ha mencionado a lo largo del documento, el país cuenta con cinco entidades que juegan cada una un papel importante para el desarrollo de las FNCER, como lo son: Ministerio de Minas y Energía, que establece los lineamientos de política pública para la

integración de las FNCER y dicta requisitos para proyectos de autogeneración; UPME, su rol es la definición de directrices y en la evaluación de nuevas fuentes para considerarlas como FNCER; CREG, que es responsable de emitir regulaciones técnicas y económicas, así como de evaluar la participación de autogeneradores y productores marginales en los mecanismos del mercado y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2011) es la encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental (MinMinas, 2020; UPME, 2020; CREG, 2024; ANLA, 2011).

Financiación de FNCER

Mecanismos de financiación a pequeña y gran escala de las FNCER

La financiación e incentivos tributarios en Colombia para los proyectos de FNCER se encuentran a pequeña y gran escala, es decir, para pequeños negocios o empresas que generan mayor porcentaje de energía no convencional.

En pequeña escala se encuentran el programa Colombia Solar para economías populares y los créditos para el mejoramiento de vivienda que instalen sistemas fotovoltaicos (MinMinas, 2025; FNA, 2024).

A gran escala se encuentran mecanismos como:

i) Subastas competitivas, que corresponden al mecanismo por el cual el Estado o el comprador abre una licitación pública donde los desarrolladores de proyectos compiten entre sí ofreciendo el precio por megavatio-hora (MWh) al que están dispuestos a vender su energía (Correia et al., 2020).

ii) Subasta regulada, que es el modelo por el cual la autoridad gubernamental fija una tarifa plana o un valor estándar. El proceso no consiste en competir por ofrecer el precio más bajo, sino en cumplir con los requisitos técnicos para asegurar el régimen económico establecido (Cremades Leguina, 2021).

iii) Bonos verdes, que son un mecanismo de fondeo de las necesidades de financiación, donde actores principalmente internacionales aportan recursos al entorno de financiamiento climático con préstamos, donaciones y compra de emisiones en el mercado de capitales (Benavides et al., 2022).

iv) Power Purchase Agreement o Acuerdo de Compra de Energía (PPA por sus siglas en inglés), que es un contrato a largo plazo (de 5 a 20 años) mediante el cual un consumidor adquiere energía directamente de un desarrollador de energías renovables. Permite acceder a la electricidad a un precio prefijado sin necesidad de realizar inversiones iniciales (Enerjoin, 2025).

v) Líneas de crédito verde, que son créditos con la banca pública y privada (Bancóldex, Findeter, Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2021), CAF, Green Climate Fund) y fondos creados para la financiación y apoyo de proyectos FNCER (Bancolombia, 2022; CAF, 2020; FENOGE, 2023; MinHacienda, 2021; BID, 2021; Banco Mundial, 2022).

Incentivos tributarios las FNCER

Las Leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021 establecen los incentivos tributarios a los que se puede acceder al invertir en proyectos FNCER. Estos son:

- Exclusión de IVA en la compra de equipos, elementos, maquinaria o servicios necesarios para el proyecto.
- Deducción de renta del 50 % de la inversión realizada en el proyecto hasta por 15 años.
- Exención arancelaria en la importación de maquinaria y otros insumos necesarios para el proyecto.
- Depreciación acelerada del activo aplicable a equipos, maquinaria y obras civiles necesarias para el proyecto.

Aspectos socioambientales y de aceptación social

Impactos socioambientales de las FNCER

La implementación de las FNCER en Colombia requiere reconocer que, aunque estas tecnologías contribuyen a mitigar emisiones, también pueden generar impactos sobre ecosistemas locales. Estudios en proyectos solares en el departamento de La Guajira en Colombia muestran afectaciones a hábitats de especies endémicas y fragmentación del paisaje (Guerrero-Martín et al., 2024), mientras que en sistemas fotovoltaicos se identifican riesgos asociados a la disposición de residuos tecnológicos (Romero Pereira y Sánchez Coria, 2022). El análisis de impactos socioambientales constituye un insumo para proponer estrategias de planificación territorial que garanticen que la aceleración de renovables ocurra sin comprometer la biodiversidad, condición indispensable para la sostenibilidad de largo plazo del sistema eléctrico colombiano.

Conflictos con comunidades locales y pueblos indígenas.

El despliegue de renovables en América Latina muestra que la transición energética puede intensificar tensiones sociales si no se gestiona de manera participativa. En el departamento de La Guajira, los proyectos eólicos han enfrentado oposición de comunidades Wayuu por deficiencias en la consulta previa y percepción de exclusión en la distribución de beneficios (Murcia Baracaldo y López Cifuentes, 2023; Reuters, 2025). El integrar a las comunidades como factor clave de impulso de las FNCER es fundamental porque traslada la discusión desde los planos técnico-financiero-regulatorio al de gobernanza, requiriendo la incorporación de mecanismos de participación y legitimidad social robustos sobre los cuales pueda afianzarse su éxito.

Percepción social sobre energías renovables y la problemática NIMBY

El respaldo a las energías renovables que podría percibirse como generalizado en las comunidades convive con resistencias locales frente a proyectos cercanos, fenómeno conocido como NIMBY (“*Not in My Backyard*”). En Colombia, aunque existe un amplio

apoyo a la transición energética, comunidades rurales expresan resistencia frente a proyectos cercanos debido a preocupaciones por el paisaje, el turismo o las actividades agrícolas (Forero Bustamante, 2023; AP News, 2023). Este fenómeno, relacionado con la lógica NIMBY, implica que el éxito de la transición no depende solo de la capacidad instalada o de los incentivos fiscales, sino también de estrategias de gestión social y comunicación transparente, señalando la necesidad de contemplar estrategias comunicativas y de gestión social que legitimen la transición energética en los territorios.

Hipótesis

Hipótesis 1: Aun cuando las FNCER presentan competitividad económica frente a fuentes convencionales, la falta de instrumentos regulatorios efectivos y mecanismos de inversión masiva limita su despliegue en la matriz energética en Colombia, a diferencia de lo observado en otros países de América Latina.

Hipótesis 2: La implementación de un plan integral que considere estrategias técnicas, regulatorias y financieras, puede acelerar significativamente la participación de FNCER en la matriz energética de Colombia, reduciendo su dependencia de la generación hidroeléctrica y aportando a la sostenibilidad energética del país.

Hipótesis 3: Las barreras técnicas, regulatorias, financieras y socioambientales limitan la expansión de las FNCER en Colombia.

Variables

La primera variable corresponde a la participación de las FNCER en la matriz energética de Colombia. El World Economic Forum (2025) resalta la importancia de esta variable con el fin de promover la diversificación de la matriz energética. Esta variable se entiende como la proporción de energía eléctrica generada a partir de tecnologías FNCER como solar, eólica, biomasa y geotermia, en relación con la generación total del sistema eléctrico nacional. Se clasifica como una variable cuantitativa continua, ya que se expresa como un porcentaje que resulta de dividir la generación de energía mediante FNCER sobre la generación eléctrica total del país. Adicionalmente, esta variable puede analizarse en términos de capacidad instalada, calculada como la razón entre la capacidad instalada proveniente de FNCER y la capacidad instalada total del sistema. Para efectos de análisis, las fuentes corresponderán a los aplicativos UPME (2025) y XM (2025), que publican estadísticas oficiales de capacidad instalada y participación en la generación.

En segundo lugar, el marco regulatorio y de política pública hace referencia al conjunto de leyes, decretos, lineamientos e incentivos gubernamentales que inciden en la promoción, adopción e implementación de proyectos de FNCER en Colombia. Diversos estudios, como Rahman et al. (2025), Silveira et al. (2024), Escamilla-García et al. (2023), demuestran que esta variable desempeña un papel fundamental para promover la implementación de proyectos de FNCER. Esta variable es de tipo cualitativo nominal y el alcance de las regulaciones y políticas vigentes que facilitan o limitan la integración de estas fuentes en la matriz energética. Las fuentes de información principales serán MinMinas (2025), la Ley 1715 de 2014 y CREG (2021).

Una tercera variable es la capacidad técnica de la infraestructura, entendida como la capacidad del sistema eléctrico colombiano para integrar de manera segura y eficiente

las FNCER a la red nacional de transmisión y distribución. Esta variable se considera cuantitativa continua, ya que se mide en unidades de potencia (megavatios, MW), correspondientes a la capacidad máxima que puede manejar el sistema eléctrico para transportar generación por medio de FNCER. La importancia de lo anterior radica en que la infraestructura puede llegar a ser una limitante en la inclusión de FNCER en el sistema eléctrico (Henao y Dyner, 2020). El análisis de esta variable se basará en la disponibilidad y expansión de la infraestructura de transmisión, así como en la integración tecnológica requerida para garantizar la confiabilidad y calidad del servicio. La fuente de datos primaria será UPME (2024) y los reportes técnicos de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) para fines comparativos.

La cuarta variable es la viabilidad financiera y los mecanismos de inversión, definida como el conjunto de alternativas económicas y esquemas financieros que promueven la inversión privada y pública en proyectos de FNCER. Esta variable es de carácter cuantitativo continuo y se puede evaluar mediante indicadores como la tasa interna de retorno (TIR) promedio de proyectos renovables, la comparación del costo nivelado de energía (LCOE) de FNCER frente a proyectos hidroeléctricos o térmicos y la disponibilidad de instrumentos de financiamiento especializados como bonos verdes o fondos de inversión climática (Viscidi y Yépez-García, 2020). La información necesaria para su análisis puede obtenerse de fuentes como Benavides y Cabrales (2024).

Otra variable clave es la aceptación socioambiental, la cual se refiere al nivel de aprobación o rechazo que las comunidades locales, actores sociales y ambientales manifiestan frente a la implementación de proyectos de FNCER. Esto, teniendo en cuenta que la participación de la comunidad promueve la aceptación social de los proyectos de energías renovables (Mamat et al., 2025). Esta variable es cualitativa ordinal y se mide en función de la ocurrencia y el número de conflictos socioambientales

documentados, así como de percepciones comunitarias frente a los impactos sociales, culturales y ambientales derivados de los proyectos. La información puede obtenerse a partir de bases de datos de conflictos socioambientales elaboradas por el Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz (INDEPAZ) e informes de organizaciones ambientales.

Metodología

Enfoque de la investigación

La investigación adoptó un enfoque metodológico mixto con predominio del análisis documental, integrando información cuantitativa proveniente de indicadores oficiales del sector energético e información cualitativa derivada de la revisión de literatura científica, documentos institucionales y experiencias internacionales, con el propósito de comprender de manera integral las condiciones que afectan la implementación de las FNCER en Colombia y sustentar la formulación de estrategias y acciones para fortalecer su expansión.

El diseño metodológico se articuló en cuatro (4) fases principales, donde cada una se relacionó con un objetivo específico de la investigación, garantizando el cumplimiento de cada una de manera secuencial.

Diseño de la investigación

El diseño metodológico es de tipo descriptivo-exploratorio con componente comparativo.

- Descriptivo, porque se caracteriza la situación actual de la matriz energética, sus barreras y limitaciones, así como las condiciones que favorecen la incorporación de FNCER.
- Exploratorio, porque se aborda un tema relativamente nuevo en el contexto colombiano, como lo es la aceleración de FNCER a gran escala como complemento a la generación hidroeléctrica.
- Comparativo, debido a que permite revisar y contrastar modelos de implementación aplicados en países de América Latina, a fin de identificar buenas prácticas y posibles adaptaciones para Colombia.

La naturaleza del diseño responde al objetivo de proponer un plan integral que articule evidencia documental, análisis comparativo de experiencias internacionales y revisión de información técnica e institucional para formular estrategias aplicables al contexto colombiano.

Fases de la investigación

El estudio correspondió a uno de tipo aplicado, en la medida en que se buscó generar resultados prácticos que pudieran aportar insumos útiles al sector energético colombiano y al Ministerio de Minas y Energía. La finalidad no se limitó a la producción de conocimiento teórico, sino a la formulación de estrategias viables que contribuyen a reducir la dependencia hidroeléctrica y a consolidar una transición energética sostenible y resiliente.

La investigación se llevó a cabo en cuatro (4) fases. Cada fase se desarrolló mediante una estrategia de revisión documental y análisis de información secundaria proveniente de fuentes científicas, técnicas e institucionales, lo que permitió integrar evidencia cuantitativa y cualitativa para sustentar las conclusiones y propuestas de la investigación.

Fase 1. Diagnóstico del estado actual de las FNCER en Colombia

En la primera fase, se realizó un análisis descriptivo de la participación actual de las FNCER en la generación eléctrica nacional y la Capacidad Efectiva Neta (CEN) definida como la máxima potencia neta que una planta de generación puede entregar al sistema en condiciones normales de operación y se calcula como la capacidad nominal instalada menos los consumos propios requeridos para su funcionamiento. Se recopilaron datos estadísticos de fuentes oficiales como el operador del Sistema Interconectado Nacional XM, la UPME y el Ministerio de Minas y Energía, complementados con reportes de IRENA. Se calcularon indicadores como la participación porcentual de FNCER en la generación eléctrica, la capacidad instalada por tecnología y la evolución de estas

variables. Este análisis se complementó con la identificación de las principales barreras técnicas, financieras, normativas y socioambientales reportadas en la literatura científica reciente (Henao y Dyner, 2020; Escamilla-García et al., 2023).

Fase 2. Comparación de políticas y modelos en América Latina

En la segunda fase, se llevó a cabo un análisis comparativo de casos de países de América Latina que han logrado diversificar su matriz energética más allá de las hidroeléctricas. Esto se realizó bajo criterios de avance regulatorio, inclusión de energías renovables y disponibilidad de información pública.

Se realizó una revisión profunda de artículos de investigación en bases de datos como Scopus y Web of Science, incluyendo artículos sobre políticas de energías renovables y transición energética (Ramos et al., 2015; Viscidi y Yépez-García, 2020; Mundaca y Richter, 2015). Asimismo, se revisaron informes del BID y de la IEA. La técnica de comparación empleó una matriz de aspectos regulatorios y de política pública, en la que se evaluaron incentivos fiscales, esquemas de subastas, tarifas de respaldo, bonos verdes y participación comunitaria. Los resultados obtenidos permitieron identificar buenas prácticas, mecanismos transferibles y lecciones aprendidas que posteriormente sirvieron como insumo para la formulación de las estrategias propuestas en la tercera fase de la investigación.

Fase 3. Propuesta de estrategias técnicas, financieras, normativas y socioambientales

La tercera fase estuvo orientada a la formulación de estrategias para fortalecer la implementación de las FNCER en Colombia mediante un proceso de integración de los resultados obtenidos en las fases anteriores. Para ello, se relacionaron las barreras identificadas en el diagnóstico nacional con las buenas prácticas y experiencias exitosas observadas en países de América Latina, evaluando su pertinencia y viabilidad técnica, regulatoria, financiera e institucional para el contexto colombiano.

Este proceso permitió formular siete (7) estrategias que responden de manera directa a las principales limitaciones identificadas y constituyen la base para la construcción del plan de acción desarrollado en la fase siguiente.

Como mecanismo de integración metodológica, se elaboró una matriz de síntesis que relacionó las barreras identificadas en el diagnóstico nacional con las experiencias latinoamericanas analizadas y las estrategias formuladas, garantizando la trazabilidad entre las diferentes fases de la investigación y proporcionando el fundamento para la construcción del plan de acción estratégico.

Fase 4. Plan de acción para la aceleración de las FNCER en Colombia

En la última fase se formuló un plan de acción estratégico dirigido al Ministerio de Minas y Energía de Colombia, orientado a proponer medidas que contribuyan a acelerar el desarrollo de las FNCER en el país. La construcción de este plan se fundamentó en los resultados obtenidos durante las fases previas de la investigación, particularmente en el diagnóstico del estado actual de las FNCER en Colombia, el análisis comparativo de experiencias latinoamericanas y la identificación de las principales barreras y oportunidades para la transición energética nacional. A partir de estos insumos y de las siete (7) estrategias formuladas en la fase anterior, se diseñó un conjunto de objetivos, actividades específicas, responsables, recursos, indicadores, niveles de prioridad y niveles de ejecución, con el propósito de ofrecer una hoja de ruta para su implementación.

Con el fin de facilitar la planificación y orientar la toma de decisiones, cada actividad fue clasificada de acuerdo con un nivel de prioridad y un nivel de ejecución. El nivel de prioridad establece el grado de importancia y urgencia de las acciones dentro del plan, diferenciándolas en alta, media o baja según su contribución al cumplimiento de los objetivos estratégicos y su capacidad para superar barreras críticas que limitan el

desarrollo de las FNCER. De esta manera, las actividades de prioridad alta corresponden a aquellas cuya implementación resulta fundamental para habilitar o impulsar las demás acciones, mientras que las de prioridad media y baja representan iniciativas complementarias que pueden desarrollarse de manera progresiva conforme avance la ejecución del plan.

Por su parte, el nivel de ejecución define la secuencia lógica en la que deben desarrollarse las actividades de cada estrategia, garantizando que aquellas identificadas como nivel 2, 3 o 4 cuenten previamente con los insumos técnicos, regulatorios o institucionales generados por las etapas anteriores. Esta clasificación no representa un grado de importancia, sino una relación de dependencia entre actividades, permitiendo que la implementación se realice de forma ordenada, coherente y sustentada en resultados previamente consolidados.

La asignación de ambos parámetros se realizó mediante un análisis de dependencia funcional y relevancia estratégica para cada actividad propuesta. En el caso del nivel de prioridad, se evaluó el impacto potencial de las acciones sobre la aceleración de las FNCER, la necesidad de atender barreras estructurales y su efecto habilitador sobre otras iniciativas del plan. En cuanto al nivel de ejecución, se analizaron las relaciones de precedencia entre actividades, identificando aquellas que generan la información, regulación o capacidades necesarias para el desarrollo de las etapas posteriores. Este enfoque metodológico permitió estructurar un plan de acción técnicamente consistente, con una secuencia de implementación lógica y orientada a maximizar la efectividad de las estrategias propuestas para fortalecer la transición energética en Colombia.

Resultados y Discusión

Diagnóstico del estado actual de las FNCER en Colombia

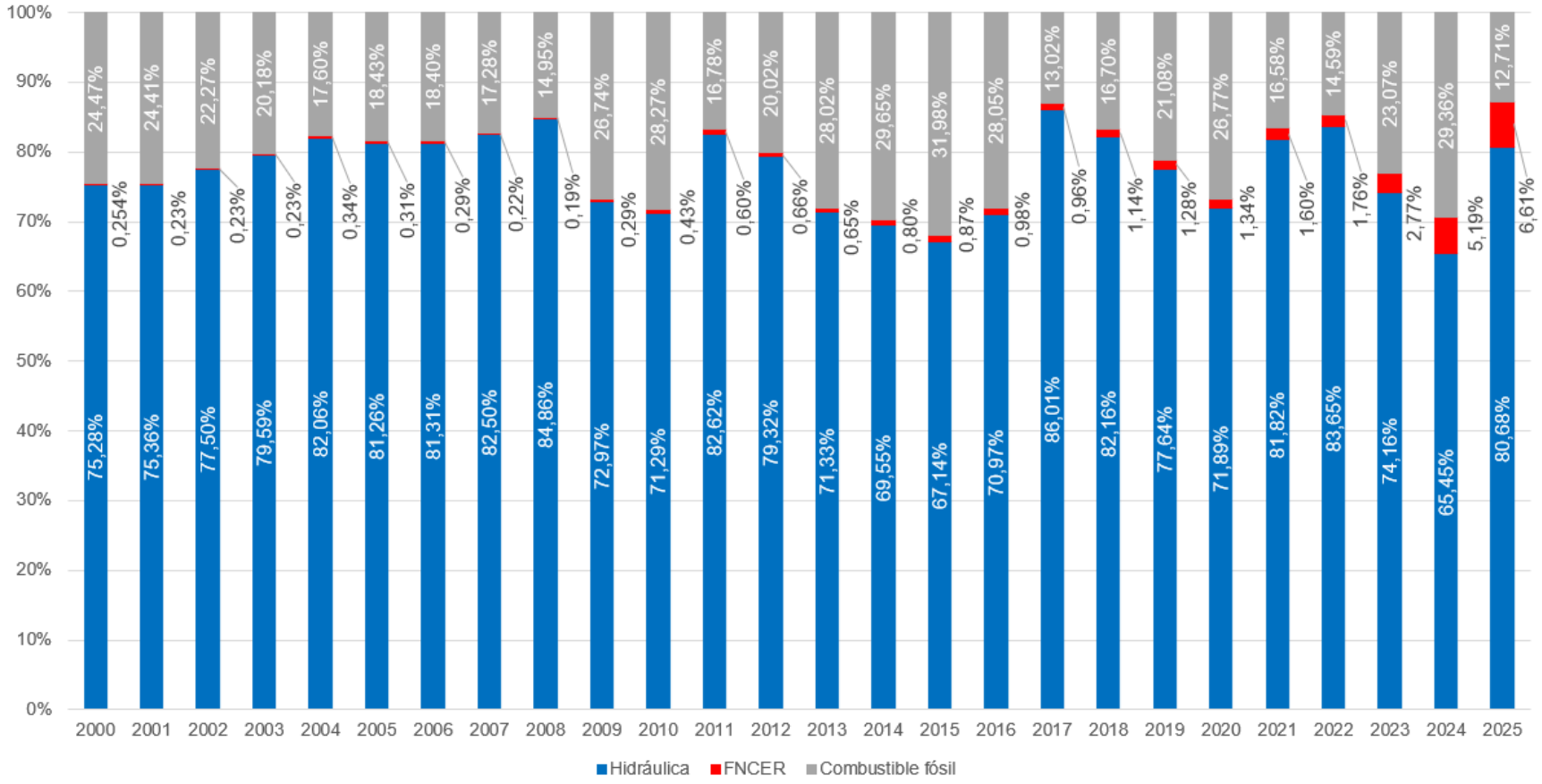
Participación de las FNCER en la generación de energía eléctrica en Colombia

La Figura 6 muestra la evolución anual (2000-2025) de la participación porcentual de las principales categorías de la matriz de generación eléctrica en Colombia: i) generación hidráulica, ii) FNCER y iii) generación a partir de combustibles fósiles. Dentro del grupo de FNCER, se consideraron aquellas tecnologías con participación en la matriz de generación durante el período de estudio, específicamente la energía solar, eólica y la biomasa.

La Figura 6 evidencia la marcada predominancia de la generación hidráulica en la matriz de generación durante el período analizado, con participaciones que oscilan entre 65,45 % en el año 2024 y 86,01 % en el año 2017, con un promedio de participación de 77,25 % en estos 26 años. Estos resultados muestran que, históricamente, la generación de energía eléctrica en el país ha dependido principalmente de la energía hidráulica, la cual ha sido la fuente dominante dentro de la matriz de generación nacional.

En contraste, la participación de las FNCER se mantuvo por debajo del 1 % hasta 2017. A partir de dicho año se observa una tendencia ligeramente creciente, superando el 2 % en 2023 y alcanzando el 6,61 % en 2025; lo que evidencia un proceso reciente de expansión y mayor integración de estas tecnologías en el sistema eléctrico colombiano.

Figura 6. *Evolución anual de la participación en la matriz de generación en Colombia.*



Nota. Adaptado del reporte “Generación Real del Sistema Interconectado Nacional - SIN”, por XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P.

Evolución de la Capacidad Efectiva Neta

Con el propósito de evaluar la evolución en la incorporación de proyectos de generación al sistema eléctrico, se analiza la CEN como indicador de referencia.

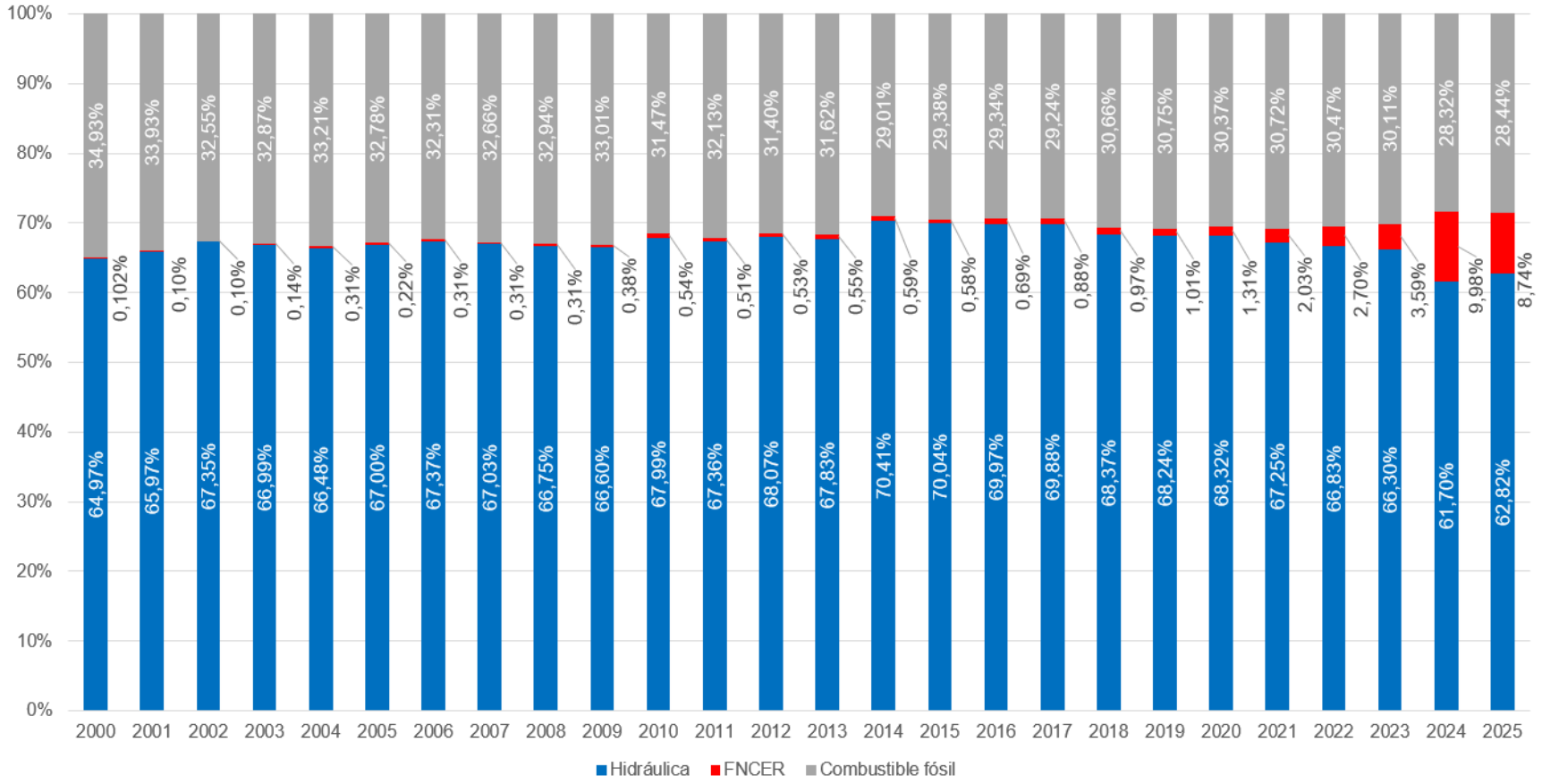
La Figura 7 presenta la evolución de la CEN en Colombia, según su tipo de fuente de generación: hidráulica, FNCER y combustibles fósiles. Esta representación permite identificar las variaciones de la CEN disponibles en cada segmento y analizar su contribución relativa al sistema eléctrico nacional a lo largo del período de estudio.

Durante el periodo de análisis, la CEN de las hidroeléctricas presenta un máximo del 70,41 % en 2014 y, desde entonces, se observa una reducción gradual en su peso relativo, llegando al 61,70 % en 2024 y cerrando el 2025 con el 62,82 %. Esta disminución porcentual no implica necesariamente una reducción en términos absolutos, sino una pérdida de participación frente al crecimiento más dinámico de otras fuentes de generación.

Por otro lado, las FNCER muestran una participación menor al 1 % hasta el año 2018. Posteriormente, se evidencia un crecimiento progresivo hasta llegar al 9,98 % en 2024. Aunque en 2025 se registró una leve disminución a 8,74 %, la tendencia general confirma una expansión estructural de estas tecnologías dentro de la matriz energética del país.

En términos porcentuales, los resultados evidencian una transición gradual en la composición de la CEN del sistema eléctrico colombiano. Aunque la matriz continúa siendo predominantemente hidráulica, su participación relativa ha disminuido en los últimos años como consecuencia del crecimiento de las FNCER. De manera paralela, la participación de las plantas en combustibles fósiles presenta una reducción moderada pero sostenida en el horizonte de largo plazo.

Figura 7. *Evolución anual de la Capacidad Efectiva Neta en Colombia.*



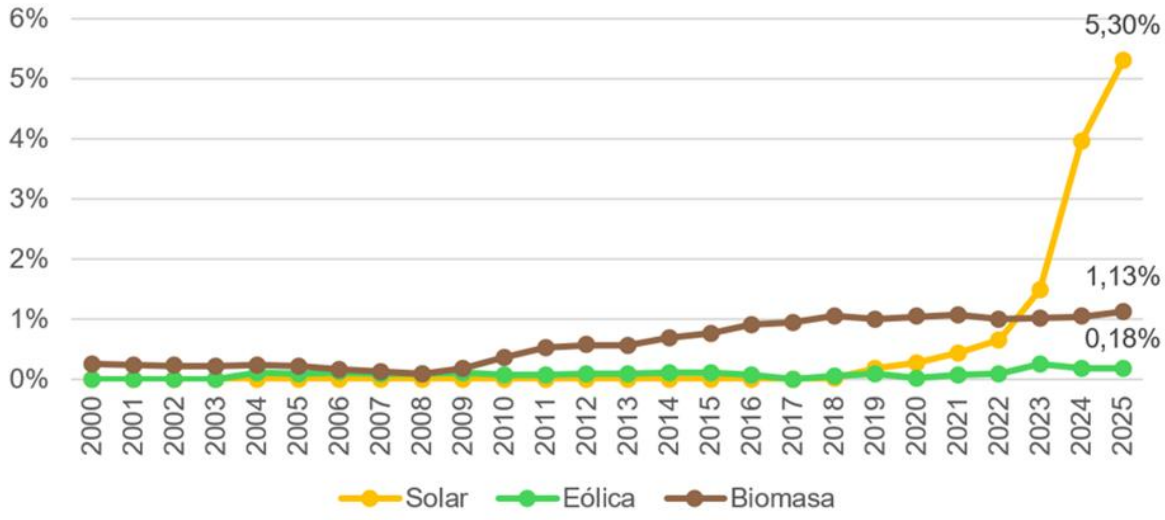
Nota. Adaptado del reporte “CEN por tipo fuente natural y despacho”, por XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P.

En conjunto, estos hallazgos reflejan que, aunque existe un proceso de diversificación de la matriz energética nacional, este avanza de manera lenta, con una integración gradual de tecnologías renovables no convencionales y una disminución moderada de la dependencia de las fuentes tradicionales. La limitada velocidad de este cambio estructural plantea la necesidad de implementar medidas más contundentes que aceleren la transición energética, de modo que Colombia pueda cumplir de manera efectiva con los compromisos internacionales adquiridos en materia de sostenibilidad y descarbonización del sector eléctrico.

FNCER en Colombia

Dentro de la matriz de generación eléctrica de Colombia, las FNCER presentes corresponden a energía solar, eólica y biomasa. La Figura 8 ilustra la participación relativa de cada una de estas fuentes dentro de la matriz, permitiendo observar su contribución específica al sistema eléctrico nacional a lo largo del período de estudio.

Figura 8. *Evolución de las FNCER presentes en la matriz de generación de Colombia.*



Nota. Adaptado del reporte “Nivel de contratación con FNCER por mecanismo de adjudicación”, por XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P.

A principios de este milenio, la biomasa era la única FNCER que existía en la matriz de generación nacional. Con una CEN de 13 MW, representaba el 0,102 % de la capacidad total y generaba el 0,254 % de la energía del país. Desde el año 2016, la biomasa se mantiene con una participación relativamente estable, oscilando entre el 0,91 % y el 1,13 % en 2025.

La energía eólica comenzó a incorporarse a la matriz de generación eléctrica nacional en 2004, registrando una participación inicial de 0,104 %. A lo largo del período analizado, su contribución ha permanecido relativamente baja, alcanzando apenas un 0,18 % en 2025, lo que evidencia una integración lenta de esta tecnología dentro del sistema eléctrico colombiano.

La energía solar comenzó a participar en la matriz a partir de 2017, con un valor inicial de 0,008 %. Desde entonces, mostró un crecimiento acelerado, alcanzando un 3,97 % en 2024 y un 5,30 % en 2025. Esto refleja una expansión significativa y más dinámica de esta tecnología en comparación con la eólica y la biomasa, destacando su creciente relevancia en la diversificación de la generación eléctrica nacional.

Aunque Colombia ha identificado un importante potencial para el aprovechamiento de la energía geotérmica, esta tecnología aún no forma parte de la matriz de generación eléctrica nacional, ya que no existen centrales geotérmicas en operación comercial dentro del país. No obstante, se han desarrollado iniciativas piloto orientadas a evaluar su viabilidad técnica y económica. Entre ellas se destaca un proyecto de pequeña escala ubicado en el departamento de Casanare, liderado por una empresa petrolera canadiense con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, y el Ministerio de Minas y Energía. Este proyecto cuenta con una capacidad instalada de 100 kW, una producción estimada de 72.000 kWh al mes y una inversión cercana a los $4.700 millones de pesos.

En general, los datos porcentuales evidencian que la incorporación de las FNCER ha sido lenta y concentrada principalmente en la energía solar en los últimos años. A pesar de los incrementos significativos observados en 2024 y 2025, la participación de estas tecnologías sigue siendo limitada en relación con la generación total del país, lo que resalta la necesidad de implementar políticas y estrategias más agresivas que aceleren la diversificación de la matriz eléctrica y fortalezcan el proceso de transición energética en Colombia.

Identificación de las principales barreras técnicas

En su Reporte Integral de Sostenibilidad, Operación y Mercado 2024 (XM, 2025), XM identifica seis retos clave para la transición energética en Colombia. A partir de un análisis detallado de estos retos, se han definido las siguientes barreras técnicas, las cuales reflejan los principales desafíos que enfrenta el sistema eléctrico nacional para incorporar de manera confiable y eficiente fuentes de energía renovable y garantizar la estabilidad, resiliencia y flexibilidad de la red.

A. i. Flexibilidad y resiliencia del parque generador

La intermitencia de la generación solar y eólica exige que el sistema eléctrico mantenga una capacidad de respuesta rápida ante variaciones de oferta y demanda, especialmente a través de plantas hidráulicas con almacenamiento. La dificultad de coordinar estas fuentes para mantener la estabilidad de frecuencia y voltaje durante eventos climáticos extremos constituye una barrera técnica crítica para la integración masiva de energías renovables.

A. ii. Expansión y confiabilidad de generación y transmisión

La limitación en la capacidad de infraestructura de generación y transmisión retrasa la atención de incrementos de demanda sin comprometer la confiabilidad del sistema. La necesidad de compatibilizar nuevas instalaciones con la red existente y gestionar cargas

crecientes constituye una barrera técnica que dificulta la incorporación eficiente de nueva capacidad eléctrica.

A. iii. Capacidad y actualización de la red de transporte y distribución

La infraestructura actual de transmisión y distribución enfrenta barreras técnicas derivadas de su capacidad limitada para soportar mayores niveles de demanda y variabilidad de generación. La actualización de equipos y la optimización de flujos de carga son esenciales para garantizar la estabilidad de la operación, constituyendo un desafío técnico para la transición energética.

A. iv. Adaptación del mercado eléctrico a generación variable

La operación del mercado eléctrico debe ajustarse a la integración de fuentes renovables intermitentes. La falta de mecanismos técnicos que permitan coordinar la respuesta de la demanda y la oferta en tiempo real, así como garantizar la prestación de servicios complementarios esenciales, constituye una barrera técnica que limita la eficiencia operativa y la estabilidad del sistema.

A. v. Integración de tecnologías de operación y de información

La incorporación de tecnologías de operación y tecnologías de información enfrenta barreras técnicas relacionadas con la comunicación y coordinación entre sistemas de control, monitoreo y gestión de datos. La ausencia de plataformas integradas y de redes de comunicación robustas restringe la capacidad del sistema para reaccionar ante fluctuaciones en generación y demanda, afectando la confiabilidad y resiliencia de la red.

A. vi. Gestión y aplicación del conocimiento técnico

La transición energética requiere consolidar la capacidad del sistema para identificar, aplicar y transferir conocimiento técnico especializado. La ausencia de mecanismos que faciliten la aplicación directa de saberes avanzados en operación, mantenimiento y

optimización de la red limita la confiabilidad y eficiencia del sistema, constituyendo una barrera técnica crítica.

Identificación de las principales barreras financieras

La transición hacia FNCER en el SIN está condicionada por restricciones financieras que afectan su viabilidad. Factores como el alto costo de capital y la limitada financiación de largo plazo inciden en la bancabilidad de los proyectos. Asimismo, la baja profundidad del mercado financiero dificulta la movilización de inversión. A continuación, se presentan las principales barreras financieras identificadas.

B. i. Alto costo de capital como restricción estructural en proyectos FNCER del SIN

Los resultados evidencian que el costo promedio ponderado de capital (WACC) constituye una restricción estructural para la expansión de FNCER, debido a su incidencia directa sobre el costo nivelado de energía (LCOE). La literatura técnica confirma que el WACC es el principal determinante financiero del LCOE en tecnologías renovables intensivas en CAPEX, dado que pequeñas variaciones en la tasa de descuento generan cambios desproporcionados en el costo final de generación (IRENA, 2024). Datos recientes sobre costo de capital en economías emergentes reportan rangos típicos entre 8 % y 12 %, significativamente superiores a los de economías con menor prima de riesgo (Steffen et al., 2025), condición consistente con el perfil de riesgo de Colombia. En el contexto nacional, análisis publicados en Energy Policy muestran que mecanismos como incentivos fiscales y subastas pueden reducir los costos de inversión entre 17,1 % y 19,4 %, impactando directamente el LCOE y mejorando la viabilidad financiera (Rangel et al., 2024). Estos hallazgos confirman que, en ausencia de condiciones financieras competitivas, el WACC elevado incrementa el LCOE requerido para proyectos conectados al SIN, deteriora métricas de bancabilidad y ralentiza la decisión de inversión.

B. ii. Profundidad del mercado financiero e insuficiencia de instrumentos especializados

El análisis evidencia que la limitada profundidad del mercado financiero colombiano restringe la estructuración eficiente de financiamiento de largo plazo para proyectos FNCER. Según el IEA (2023), aunque el país ha avanzado en marcos regulatorios para renovables, persisten desafíos estructurales para movilizar inversión privada en infraestructura energética, particularmente en instrumentos de financiamiento de largo plazo y en la consolidación del mercado de capitales para proyectos intensivos en capital. En la misma línea, se documenta que la inversión en energías limpias en Colombia alcanzó aproximadamente USD 411 millones en 2023, mientras que las necesidades acumuladas de inversión para cumplir metas de transición podrían situarse entre USD 35 y 104 mil millones hacia 2052, evidenciando una brecha estructural de financiamiento (Arbeláez, 2025). El mismo análisis identifica barreras como altos costos de capital, dificultades para estructurar financiamiento *on-grid* y ausencia de mecanismos robustos de mitigación de riesgo, factores que elevan la percepción de riesgo y encarecen el capital requerido. En consecuencia, la insuficiencia de instrumentos financieros especializados y la limitada capacidad de absorción de riesgo del sistema financiero nacional constituyen una barrera sistémica que ralentiza el despliegue de FNCER en el país.

Identificación de las principales barreras normativas

A pesar de los avances normativos de Colombia (Leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021), persisten brechas regulatorias que obstaculizan el desarrollo de las FNCER, principalmente relacionadas con licenciamiento, comunidad, integración a la red, financiamiento y gobernanza institucional (UPME, 2024; Comisión de Regulación de

Energía y Gas - CREG, 2024; BID, 2024; Procuraduría General de la Nación, 2024). De manera general se pueden evidenciar seis retos que enfrentan los proyectos:

C. i. Disgregación de las normas, por la falta de procedimientos integrados para licenciamiento, conexión a la red y certificación de beneficios tributarios, ya que coexisten normas generales, particulares y territoriales (UPME, 2016a, 2016b, 2020, 2021).

C. ii. Tramitología y tiempos más largos de lo esperado son necesarios, como en cualquier proyecto, para cumplir paralelamente los requisitos ante las entidades como la UPME, la ANLA, la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), la CREG y los operadores de red (Congreso de la República de Colombia, 2014, 2021).

C. iii. Vacíos en materia de regulación de la remuneración y la integración al mercado mayorista de la energía obtenida de las FNCER (CREG, 2018, 2021).

C. iv. Cambios frecuentes en la legislación tributaria del país que llevan a riesgos adicionales para los proyectos a largo plazo (Congreso de la República de Colombia, 2014; Presidencia de la República de Colombia, 2015b).

C. v. La articulación, posiblemente errada, entre la normatividad ambiental y energética, pues los procesos de licenciamiento, consultas previas y conflictos con normas de orden territorial se rigen por procedimientos para proyectos de infraestructura pesada y de extracción de recursos (DNP, 2022).

C. vi. La falta de regulación para las comunidades energéticas para su operación a gran escala (Congreso de la República de Colombia, 2021).

Identificación de las principales barreras socioambientales

La implementación de FNCER en Colombia enfrenta barreras socioambientales relacionadas con la desconfianza comunitaria, los conflictos territoriales, las deficiencias en la consulta previa y las demoras en el licenciamiento ambiental. Estas problemáticas

han generado tensiones sociales y retrasos en el desarrollo de proyectos energéticos, especialmente en territorios étnicos y rurales.

D. i. Desconfianza comunitaria y distribución desigual de beneficios

La desconfianza comunitaria y la percepción de una distribución desigual de los beneficios representan una de las principales barreras socioambientales para la consolidación de las FNCER en Colombia, especialmente en territorios indígenas y rurales. González Posso y Barney (2019) y Velásquez-Muñoz y Redondo-Moscote (2023) evidencian que las comunidades perciben que los beneficios económicos de los proyectos energéticos se concentran en empresas e inversionistas, mientras las poblaciones locales continúan enfrentando pobreza y exclusión social. En La Guajira, esta situación se agrava por la limitada participación comunitaria en la gobernanza y toma de decisiones de los proyectos, generando incertidumbre sobre los beneficios reales de la transición energética (González Posso & Barney, 2019; Velásquez-Muñoz & Redondo-Moscote, 2023).

Adicionalmente, las asimetrías de información entre empresas y comunidades fortalecen escenarios de desconfianza social y percepción de inequidad. González Posso y Barney (2019) señalan que los mecanismos de compensación económica presentan bajos niveles de transparencia y limitada participación comunitaria, dificultando la legitimidad social de los proyectos FNCER. De manera complementaria, Velásquez-Muñoz y Redondo-Moscote (2023) destacan que las comunidades Wayúu demandan una distribución más equitativa de los beneficios económicos, sociales y ambientales derivados del aprovechamiento energético de sus territorios.

D. ii. Conflictos territoriales y afectación a comunidades étnicas

Los conflictos territoriales y la afectación a comunidades étnicas constituyen una de las principales barreras socioambientales para la expansión de las FNCER en Colombia,

debido a que gran parte del potencial energético renovable se localiza en territorios habitados por comunidades indígenas y rurales. González Posso y Barney (2019) y Velásquez-Muñoz y Redondo-Moscote (2023) evidencian que las comunidades Wayúu perciben que la implementación de proyectos eólicos puede generar fragmentación territorial, afectación cultural y transformación de sus dinámicas ancestrales de movilidad y ocupación del territorio. En este contexto, las comunidades consideran que la pérdida o intervención de sus territorios representa una amenaza directa para su identidad cultural y permanencia como pueblo indígena (González Posso & Barney, 2019).

Adicionalmente, la expansión de proyectos FNCER ha incrementado las tensiones relacionadas con el uso del suelo, la planeación territorial y la coexistencia entre actividades energéticas y prácticas tradicionales de las comunidades étnicas. La UPME (2025) reconoce que existen preocupaciones comunitarias asociadas a impactos sobre recursos naturales, biodiversidad y acceso al agua, así como conflictos derivados de instrumentos de ordenamiento territorial desactualizados y procesos insuficientes de articulación territorial. De manera complementaria, Velásquez-Muñoz y Redondo-Moscote (2023) destacan que las comunidades demandan una mayor inclusión de sus visiones culturales y territoriales dentro de la planificación energética, con el fin de evitar escenarios de conflictividad social y resistencia frente a los proyectos FNCER.

D. iii. Deficiencias en consulta previa y participación comunitaria

La consulta previa y la participación comunitaria se han consolidado como elementos determinantes para la viabilidad social de los proyectos FNCER en Colombia. No obstante, distintos estudios muestran que estos procesos continúan presentando limitaciones relacionadas con el acceso a la información, la cobertura de las consultas y la inclusión efectiva de las comunidades étnicas en la toma de decisiones. González Posso y Barney (2019) señalan que, en varios proyectos desarrollados en La Guajira, las

comunidades indígenas manifestaron no contar con información técnica y financiera suficiente para comprender el alcance real de las iniciativas energéticas. De manera similar, Velásquez-Muñoz y Redondo-Moscote (2023) identifican que la limitada participación comunitaria ha contribuido a fortalecer percepciones de exclusión social y desconfianza frente a los promotores de proyectos renovables.

La UPME (2025) reconoce que los procedimientos asociados a la consulta previa presentan dificultades operativas y administrativas que afectan el desarrollo de los proyectos energéticos. Entre las principales problemáticas identificadas se encuentran los retrasos en los trámites, la falta de estandarización de criterios y la insuficiente articulación entre entidades territoriales y actores comunitarios. Estas condiciones no solo generan incertidumbre para los desarrolladores de proyectos, sino que también favorecen escenarios de conflictividad social, judicialización y resistencia territorial. En consecuencia, el fortalecimiento de mecanismos de diálogo intercultural y participación efectiva emerge como una condición indispensable para garantizar una transición energética socialmente legítima y territorialmente sostenible en Colombia.

D. iv. Demoras en permisos y licenciamiento ambiental

La ANLA, en el año 2022, fortaleció los lineamientos técnicos y ambientales aplicables a proyectos FNCER, con el propósito de garantizar un desarrollo energético compatible con la sostenibilidad ambiental y social. Estos lineamientos enfatizaron la necesidad de realizar evaluaciones integrales de impactos sobre biodiversidad, recurso hídrico, paisaje y comunidades, así como la implementación de medidas de manejo, compensación y monitoreo ambiental. Asimismo, la ANLA promovió un enfoque de evaluación acumulativa y estratégica de impactos, alineado con las políticas nacionales de transición energética y desarrollo sostenible, buscando equilibrar la expansión de las energías

renovables con la protección de los ecosistemas y los territorios (ANLA, 2022; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

De acuerdo con el tablero de control de FNCER creado por la ANLA y el listado de proyectos presentados ante la mencionada entidad entre el año 2018 y agosto del 2022 se presentaron 32 proyectos de los cuales 15 obtuvieron licenciamiento ambiental con una duración promedio del trámite de 7 meses, mientras que entre septiembre de 2022 y marzo de 2026 se presentaron 31 proyectos de los cuales, 28 obtuvieron licenciamiento en un plazo promedio de 8,5 meses. Lo cual presenta que, aunque la ANLA fortaleció los lineamientos, el tiempo en la obtención de la licencia fue mayor (ANLA, 2026).

Cabe la pena resaltar del listado proyectos FNCER de ANLA tres proyectos que tuvieron demoras en la obtención de las licencias ambientales que son: Parque Solar CELSIA Chicamocha ubicado en el departamento de Santander (Expediente LAV0027-00-2018 y Licencia Ambiental mediante resolución 1786 de 2019), el Parque Solar Córdoba 1 (Chinú 350 MW) ubicado en los departamentos de Córdoba y Sucre (Expediente LAV0063-00-2023 y Licencia Ambiental mediante resolución 750 de 2025) y los Parques Eólicos Las Camelias ubicados en la Guajira (Expediente LAM9338-00 y Licencia Ambiental mediante resolución 2329 de 2025), con tiempos mayores a un año, y en el caso específico de Las Camelias casi de dos años. Al realizar un análisis de las resoluciones otorgadas, entre las principales causas para la demora se destacan la necesidad de complementar estudios de impacto ambiental, requerimientos relacionados con biodiversidad y uso del suelo, análisis de impactos acumulativos, procesos de consulta y relacionamiento con comunidades, así como solicitudes de información adicional por parte de la autoridad ambiental.

Comparación de políticas y modelos en América Latina

América Latina funciona como un laboratorio energético al lograr implementar múltiples enfoques de diversificación basados en recursos propios de la región y marcos regulatorios diversos. La OLACDE (2025) y Magadum et al. (2025) destacan que la región combina una matriz altamente renovable con un potencial aún no explotado en generación solar y eólica. Este contexto regional no es solo un referente comparativo, sino la base para identificar qué modelos regulatorios, técnicos y financieros pueden trasladarse al caso colombiano, evitando errores y replicando aciertos.

Caso Brasil

El caso brasileño demuestra cómo un país puede transformar su matriz mediante la integración de subproductos agrícolas y la expansión acelerada de la energía solar y eólica. De acuerdo con lo indicado por la OLACDE (2025) en su informe “Panorama energético de América Latina y el Caribe 2025”, Brasil cuenta, al cierre del año 2024, con 204.872 MW que corresponde al 86,68 % de su capacidad instalada de generación eléctrica renovable, en la cual se destaca la energía solar 48.468 MW que equivale al 20,51 %, eólica con 29.550 MW que representa 12,50 % y Biomasa con 19.931 MW con 7,16 %. Según Diniz et al. (2023), Brasil ha enfrentado retrasos constructivos y limitaciones de transmisión que afectaron la entrada en operación de proyectos adjudicados.

Brasil fue el país de la región más representativo en la implementación de subastas renovables, el cual las integró en una arquitectura institucional articulada entre la Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), la Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), la Empresa de Pesquisa Energética (EPE) y el Ministerio de Minas y Energía. En complemento, se articuló el mecanismo de subasta con PPAs (*Power Purchase Agreements*) y con el financiamiento del Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico

e Social (BNDES). Las subastas redujeron el riesgo de ingresos mediante contratos estables de largo plazo y al mejorar el acceso a financiamiento competitivo para proyectos renovables, mientras que los PPAs disminuyeron la exposición al mercado spot y mejoraron la bancabilidad (Tolmasquim et al., 2021).

Desde la perspectiva normativa, se resalta la creación de la ANEEL, mediante la Ley 9.427 del 26 de abril de 1996. Esta agencia es la responsable de regular y supervisar la producción, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en el país.

Caso Chile

Chile es uno de los casos más emblemáticos en cuanto al crecimiento de la generación mediante tecnología solar, según lo indican Cacciuttolo et al. (2024). Lo anterior se generó por las condiciones geográficas del norte chileno que cuenta con altos niveles de radiación y que fueron determinantes para la concentración de grandes proyectos en Atacama y regiones aledañas, favoreciendo economías de escala y la viabilidad técnica de instalaciones a gran escala.

En cuanto a cifras, según la OLACDE (2025) en su informe “Panorama energético de América Latina y el Caribe 2025”, Chile cuenta, al cierre del año 2024, con 23.391 MW que corresponden al 67,23 % de su capacidad instalada de generación eléctrica renovable, en la cual se destaca la energía solar, con 10.786 MW, que equivale al 31,00 %, y la eólica, con 4.701 MW, que representa 13,51 %. Inicialmente, como lo señalan Diniz et al. (2023) y Dutra y Szklo (2008), se identificó que Chile comenzó a experimentar congestión de red y fenómenos de restricciones técnicas asociados a la rápida expansión solar en determinadas zonas del sistema eléctrico. Por lo anterior, se reconocieron como factores clave la integración y actualización de la red eléctrica, así como las ampliaciones de transmisión y conectividad entre regiones (Gonzales et al., 2022).

Respecto a los mecanismos de financiación, se destaca la aplicación de subastas en un mercado altamente liberalizado, competitivo y abierto a la inversión extranjera, la cual facilitó una rápida expansión en la generación de energía fotovoltaica y una reducción significativa de los precios adjudicados, donde lo público se enfocó en programas de inversión sostenible y emisión de bonos verdes soberanos (Stringer & Ramírez-Melgarejo, 2024).

Como aspecto relevante, se observó que, mediante la Ley 20.257 de 2008, modificada en el año 2013, sobre las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), Chile obligó a las empresas generadoras eléctricas con capacidad instalada superior a 200 MW a comercializar un 10 % de energía proveniente de ERNC.

Por otro lado, Chile se ha consolidado como el principal referente de Latinoamérica en la incorporación de sistemas de almacenamiento de energía, al combinar un marco regulatorio favorable, incentivos de mercado e integración del almacenamiento en la planificación del sistema eléctrico. Chile contaba con una capacidad instalada de 1.105 MW en sistemas de almacenamiento BESS a julio de 2025 (OLACDE, 2025), consolidándose como el país líder en la región, mientras que México, segundo en el ranking regional, registraba 192 MW.

Caso Uruguay

Uruguay es uno de los países que más han transformado su matriz energética en la última década. La OLACDE (2025) en su informe “Panorama energético de América Latina y el Caribe 2025”, indica que Uruguay cuenta, al cierre del año 2024, con 4.122 MW que corresponde al 77,79 % de su capacidad instalada de generación eléctrica renovable, en la cual se destaca la energía eólica con 1.516 MW que representa 28,62 %, biomasa 731 MW, con el 13,80 % y solar 336 MW que equivale al 6,35 %.

Asimismo, consolidó uno de los modelos más exitosos mediante contratos respaldados por la empresa estatal Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas, conocida como UTE, proporcionando estabilidad contractual y confianza inversionista (Corrêa et al., 2022).

Mediante la Ley 16.832 de 1997, se creó una política pública fuerte, con metas a corto, mediano y largo plazo en planificación y contratos estatales, que ofrecieron certidumbre a los inversionistas y facilitaron la entrada masiva de capital privado (Corrêa et al., 2022). Lo anterior permitió establecer reglas claras en el diseño del mercado que redujeron la incertidumbre y determinaron factores clave para atraer inversión en países en desarrollo (Del Río, 2017).

Caso Argentina

Argentina ejemplifica cómo la estabilidad y el diseño de las políticas públicas determinan la trayectoria de las energías renovables en la región. De acuerdo con lo establecido por la OLACDE (2025) en su informe “Panorama energético de América Latina y el Caribe 2025”, Argentina cuenta, al cierre del año 2024, con 16.312 MW que corresponden al 37,07 % de su capacidad instalada de generación eléctrica renovable, en la cual se destaca la energía eólica con 4.319 MW que representa 9,82 % y solar con 1.673 MW que equivale al 3,80 %.

En Argentina, el programa RenovAr, creado mediante la Ley 27.191 de 2015, logró una incorporación acelerada de proyectos renovables, a partir de sucesivas rondas de licitaciones que añadieron hasta 4 GW a la capacidad instalada, apalancada en inversión privada, donde se advierte que la continuidad del impulso depende de la estabilidad macroeconómica y de mecanismos de financiamiento sostenibles (Barrera et al., 2022; Banco Mundial, 2017).

En relación con la financiación de los proyectos renovables, Argentina implementó uno de los modelos más representativos de financiamiento a través de garantías, mediante el programa RenovAr, respaldado por garantías soberanas y apoyo del Banco Mundial a través del Fondo de Garantía para Energías Renovables (FODER) (Barrera et al., 2022), que logró de manera primigenia atraer inversión internacional y reducir parcialmente la percepción de riesgo regulatorio. Asimismo, implementaron PPAs dolarizados para mitigar parcialmente el riesgo cambiario y atraer financiamiento internacional en un contexto de elevada volatilidad macroeconómica (Barrera et al., 2022).

Como lo indican Barrera et al. (2022), en el caso argentino se observó que la dependencia de financiamiento externo incrementó la vulnerabilidad frente a crisis cambiarias y restricciones fiscales, deteriorando la sostenibilidad financiera de proyectos adjudicados.

Caso Nicaragua, Costa Rica, El Salvador y México

Aunque países como Nicaragua, Costa Rica y El Salvador tienen una capacidad instalada de generación eléctrica menor que la de Colombia, resulta importante destacar la participación de la energía geotérmica dentro de sus matrices energéticas. De acuerdo con lo establecido por la OLACDE (2025) en su informe “Panorama energético de América Latina y el Caribe 2025”, Nicaragua cuenta con una capacidad instalada total de 1.627 MW, de los cuales 165 MW corresponden a energía geotérmica, lo que representa el 10,17 % del total. En el caso de Costa Rica, de una capacidad instalada de 3.625 MW, 263 MW provienen de geotermia, equivalentes al 7,24 %. De manera similar, El Salvador tiene 3.042 MW instalados, de los cuales 204 MW corresponden a esta fuente, con una participación del 6,72 %. Estos datos muestran que, aunque se trata de sistemas eléctricos más pequeños, la geotermia tiene una presencia relevante dentro de la generación eléctrica de estos países.

Por otro lado, México muestra un panorama diferente. Aunque la participación de la energía geotérmica dentro de su capacidad instalada total es relativamente baja, con 976 MW de un total de 93.536 MW, equivalentes al 1,04 %, el país se destaca por contar con la mayor capacidad instalada de energía geotérmica en América Latina en términos absolutos.

La Tabla 2 presenta los principales instrumentos regulatorios, financieros e institucionales implementados por Brasil, Chile, Uruguay, Argentina y Colombia para promover el desarrollo de las FNCER. Asimismo, se muestran los mecanismos de financiación, los niveles de capacidad instalada y los factores que han favorecido o limitado la expansión de estas tecnologías en cada país.

El análisis comparativo de Brasil, Chile, Uruguay y Argentina evidencia que no existe un único mecanismo determinante capaz de resolver, por sí solo, las barreras para la implementación y expansión de las FNCER en América Latina. Lo observado en la región responde a combinaciones de instrumentos regulatorios, estabilidad institucional, mecanismos financieros, capacidad de planificación estatal, desarrollo de infraestructura eléctrica y condiciones macroeconómicas.

Brasil consolidó un modelo basado en subastas articuladas con PPAs y banca de desarrollo; Chile impulsó la expansión renovable mediante competencia privada y señales regulatorias claras; Uruguay priorizó una planificación estatal de largo plazo con estabilidad regulatoria; mientras que Argentina dependió de esquemas de garantías y financiamiento internacional para compensar riesgos macroeconómicos. En todos los casos, el fortalecimiento de las FNCER estuvo asociado a la articulación simultánea de diferentes factores y no exclusivamente a un único instrumento financiero o normativo.

La comparación de políticas y modelos implementados en Brasil, Chile, Uruguay y Argentina evidencia que el fortalecimiento de las FNCER en América Latina ha estado

asociado a estrategias integrales que combinan estabilidad regulatoria, mecanismos de financiación diversificados, planeación estatal y fortalecimiento institucional. Estas experiencias representan una oportunidad para Colombia, al permitir identificar herramientas aún poco desarrolladas en el país, como una mayor articulación entre subastas y banca de desarrollo, esquemas robustos de garantías financieras, planificación energética de largo plazo, fortalecimiento de la infraestructura de transmisión y mecanismos regulatorios que otorguen mayor certidumbre a inversionistas y comunidades.

Tabla 2. *Comparación de políticas y modelos en Latinoamérica*

Aspecto/País	Brasil	Chile	Uruguay	Argentina	Colombia
Política pública (marco normativo)	Ley 9.427 de 1996 - Regulación ANEEL	Ley 20.257 de 2008; 20.698 de 2013 - Definición de las ERNC	Ley 16.832 de 1997 - Política energética nacional	Ley 27.191 de 2015 - Programa RenovAr	Ley 1715 de 2014 - Fortalecimiento FNCER
Inversión Estatal y/o Privada	Mixto	Capital privado	Predominio estatal	Capital privado	Mixto
Mecanismos de financiación	Subastas, banca nacional, PPA	Subastas y PPA	Planificación estatal, PPA	Subastas, PPA dolarizados, Banca Multilateral	Beneficios fiscales, subastas, PPA
Capacidad instalada (solar + eólica + biomasa)	40,17 %	46,01 %	48,77 %	13,97 %	10,28 %
Factores de éxito	Estabilidad normativa y regulatoria. Articulación y bancabilidad estatal. Múltiples mecanismos de financiación.	Estabilidad regulatoria, fomento a la competencia, riesgo país.	Planificación estratégica y estatal, estabilidad regulatoria y riesgo país.	Marco inicial regulatorio sólido. Apoyo banca multilateral.	Incentivos tributarios atractivos. Rol articulador del estado en etapa inicial.
Limitaciones	Restricciones técnicas en transmisión por expansión acelerada.	Dependencia de las decisiones del mercado (privadas), congestión de red y restricciones técnicas del sistema eléctrico.	Baja competencia e inversión privada/extranjera.	Riesgo país y cambiario, incertidumbre regulatoria	Dependencia de incentivos, consulta previa, licenciamiento ambiental, riesgo país.

De manera complementaria, la experiencia regional demuestra que incluso los modelos más fortalecidos enfrentaron limitaciones relevantes relacionadas con restricciones de transmisión, congestión de red, dependencia de capital externo, incertidumbre regulatoria o vulnerabilidad macroeconómica. Lo anterior confirma que la transición energética requiere enfoques integrales y adaptativos, capaces de responder a las particularidades institucionales, económicas y técnicas de cada país, que permitan la identificación crítica de mecanismos transferibles y lecciones aprendidas que fortalezcan la expansión de las FNCER bajo criterios de sostenibilidad financiera, estabilidad regulatoria y viabilidad técnica de largo plazo.

Propuesta de estrategias para fortalecer la implementación de FNCER en Colombia

En esta fase se integran los hallazgos obtenidos en las etapas previas de la investigación identificando las acciones con mayor potencial para acelerar el despliegue de las FNCER en Colombia. A partir del análisis de las barreras existentes y de las experiencias exitosas en países latinoamericanos, se evalúa su aplicabilidad al contexto nacional y se formulan siete (7) estrategias técnicas, financieras, normativas y socioambientales orientadas a fortalecer la implementación de las FNCER, las cuales sirven de base para la estructuración del plan de acción desarrollado en la fase siguiente.

Fortalecimiento de la gobernanza institucional para el desarrollo de las FNCER

El fortalecimiento de la gobernanza institucional constituye un elemento esencial para acelerar la implementación de las FNCER en Colombia. La coordinación efectiva entre las entidades encargadas de la planificación, regulación, licenciamiento y operación del sector eléctrico permite optimizar los procesos administrativos, reducir incertidumbres y generar condiciones propicias para el desarrollo de proyectos de transición energética. En este contexto, el análisis realizado evidencia que la consolidación de una estructura

institucional más articulada representa un factor determinante para superar las barreras que actualmente limitan el despliegue de estas tecnologías.

i. Diagnóstico de la problemática

El análisis realizado en las fases previas de la investigación permitió identificar que uno de los principales obstáculos para la aceleración de las FNCER en Colombia es la fragmentación institucional entre las entidades encargadas de la planificación energética, la regulación, el licenciamiento ambiental, la gestión territorial y la operación del sistema eléctrico. La participación de múltiples organismos en procesos como la obtención de permisos, la asignación de puntos de conexión, la aprobación de licencias y la coordinación con autoridades locales genera procedimientos complejos que prolongan los tiempos de desarrollo de los proyectos, incrementan la incertidumbre para inversionistas y promotores y dificultan la resolución oportuna de conflictos regulatorios, sociales y ambientales. Como consecuencia, se retrasa la entrada en operación de nueva capacidad FNCER y se limita la capacidad del país para avanzar de manera eficiente en el cumplimiento de sus objetivos de transición energética.

ii. Evidencia y lecciones derivadas del análisis comparativo

La comparación de políticas y modelos implementados en Latinoamérica evidenció que los países con mayor desarrollo de las FNCER han fortalecido sus estructuras institucionales mediante organismos especializados que coordinan la regulación, la planificación y la supervisión del sector energético. En particular, la experiencia de Brasil demuestra que la existencia de entidades con funciones claramente definidas y articuladas facilita la gestión de los proyectos, proporciona mayor estabilidad regulatoria y reduce la incertidumbre durante las diferentes etapas de implementación.

Más allá de las particularidades del modelo brasileño, la principal lección derivada del análisis comparativo radica en la importancia de contar con mecanismos institucionales

que integren los diferentes actores del sector, estandaricen procedimientos y permitan una coordinación eficiente entre las entidades involucradas en el desarrollo de proyectos renovables.

iii. Viabilidad para el contexto colombiano

La existencia de organismos con competencias complementarias, pero frecuentemente desarticuladas, evidencia la necesidad de establecer instrumentos que faciliten la gestión integral de los proyectos y reduzcan la duplicidad de procesos administrativos.

La adaptación de principios como la coordinación interinstitucional, la estandarización de procedimientos, el acompañamiento técnico a los desarrolladores y la articulación temprana con los territorios resulta plenamente compatible con el marco institucional colombiano. Su implementación permitiría mejorar la eficiencia administrativa, fortalecer la seguridad jurídica y generar mayores niveles de confianza para la inversión pública y privada en proyectos FNCER.

iv. Estrategia propuesta

Como resultado de la integración entre el diagnóstico nacional y las experiencias regionales analizadas, se propone la creación de una Agencia Nacional de Proyectos FNCER encargada de centralizar, coordinar y agilizar los procesos asociados al desarrollo de proyectos FNCER en Colombia. Esta entidad tendría la función de articular la gestión entre organismos como la UPME, la CREG, la ANLA, los operadores de red y las autoridades territoriales, mediante la implementación de procedimientos estandarizados que permitan reducir los tiempos relacionados con permisos, licenciamientos, puntos de conexión y demás trámites requeridos para la ejecución de los proyectos.

De manera complementaria, la agencia impulsaría mecanismos de participación comunitaria desde las etapas tempranas de formulación, fortalecería la mediación territorial y promovería lineamientos regulatorios de largo plazo que aumenten la seguridad jurídica y la confianza de los inversionistas. Asimismo, lideraría la elaboración de guías metodológicas para estandarizar la ruta administrativa de los proyectos FNCER y coordinaría planes de gestión prioritaria orientados a destrabar iniciativas estratégicas afectadas por barreras normativas, ambientales o territoriales. En conjunto, esta propuesta constituye una respuesta institucional a las limitaciones identificadas durante la investigación y busca consolidar un modelo de gobernanza más eficiente, articulado y orientado a facilitar la implementación de las FNCER, contribuyendo al cumplimiento de las metas de transición energética y diversificación de la matriz eléctrica colombiana.

Integración del almacenamiento energético como habilitador de la transición energética

La integración del almacenamiento energético constituye un elemento estratégico para fortalecer la capacidad del sistema eléctrico colombiano frente al crecimiento progresivo de las FNCER. La incorporación de estas tecnologías permite aumentar la flexibilidad operativa, optimizar el aprovechamiento de la energía generada y mejorar la confiabilidad del suministro, aspectos que adquieren especial relevancia en un escenario de transición energética caracterizado por una mayor participación de fuentes de generación variables como la solar y la eólica.

i. Diagnóstico de la problemática

El análisis realizado en las fases previas evidenció que el crecimiento de las FNCER en Colombia plantea importantes desafíos para la operación del SIN, principalmente debido a la naturaleza intermitente de tecnologías como la energía solar y eólica. La existencia de períodos de alta generación que no coinciden con los momentos de mayor

demanda, sumada a las limitaciones de capacidad de la infraestructura de transmisión, puede ocasionar vertimientos de energía y reducir el aprovechamiento efectivo de los recursos renovables disponibles.

Adicionalmente, la ausencia de mecanismos de almacenamiento limita la capacidad del sistema para gestionar estas variaciones de manera eficiente, disminuyendo su flexibilidad operativa y dificultando la incorporación de mayores niveles de generación renovable sin afectar la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

ii. Evidencia y lecciones derivadas del análisis comparativo

La revisión comparativa de las experiencias latinoamericanas mostró que varios países han comenzado a incorporar el almacenamiento energético como un componente estratégico de sus políticas de transición energética. En particular, la experiencia de Chile evidencia que el desarrollo de mecanismos regulatorios orientados a promover sistemas de almacenamiento contribuye a reducir vertimientos de energía, mejorar la estabilidad de la red y optimizar el aprovechamiento de la infraestructura eléctrica existente.

Más allá de las particularidades normativas de cada país, estas experiencias demuestran que el almacenamiento no debe entenderse únicamente como una tecnología complementaria, sino como una herramienta que incrementa la flexibilidad del sistema eléctrico y facilita la integración de mayores porcentajes de generación renovable.

iii. Viabilidad para el contexto colombiano

Las características actuales del sistema eléctrico colombiano hacen pertinente considerar la incorporación progresiva de soluciones de almacenamiento energético como parte de la política nacional de transición energética. El crecimiento proyectado de las FNCER, junto con las restricciones de evacuación existentes en algunas regiones del país, evidencia la necesidad de implementar mecanismos que permitan gestionar de

forma más eficiente la energía generada y reducir las pérdidas asociadas a vertimientos o limitaciones de la red.

Adicionalmente, el almacenamiento ofrece beneficios que trascienden la integración de energías renovables, al contribuir al balance entre oferta y demanda, incrementar la resiliencia del sistema eléctrico y optimizar las inversiones realizadas en infraestructura de generación y transmisión. Estas condiciones hacen viable su adopción gradual dentro del contexto colombiano, siempre que su implementación se acompañe de instrumentos regulatorios adecuados y de una planificación que considere la sostenibilidad técnica y económica de los proyectos.

iv. Estrategia propuesta

Como resultado del análisis realizado, se plantea la formulación de lineamientos nacionales orientados a fomentar la incorporación gradual de sistemas de almacenamiento de energía en los proyectos FNCER desarrollados en Colombia. Esta estrategia busca fortalecer la flexibilidad operativa del sistema eléctrico, mejorar el aprovechamiento de la energía renovable generada y reducir los efectos asociados a la variabilidad de tecnologías como la solar y la eólica.

En este sentido, se considera pertinente promover la instalación de capacidades de almacenamiento, procurando un equilibrio entre los beneficios técnicos para el sistema y la viabilidad económica de las inversiones. La implementación progresiva de estos lineamientos contribuiría a disminuir los vertimientos de energía, incrementar la confiabilidad del SIN y sentar las bases para el desarrollo de un mercado nacional de almacenamiento energético que respalde el proceso de transición energética en Colombia.

Aprovechamiento del potencial geotérmico para diversificar la matriz energética

La diversificación de la matriz energética constituye un elemento estratégico para fortalecer la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico colombiano. En este contexto, la energía geotérmica representa una alternativa con capacidad para complementar el desarrollo de otras FNCER, al ofrecer generación continua e independiente de las condiciones climáticas. El análisis realizado en las fases previas permite identificar que el país dispone de condiciones geológicas favorables para su aprovechamiento, pero enfrenta limitaciones normativas, financieras y técnicas que han restringido su desarrollo.

i. Potencial geotérmico y barreras para su desarrollo en Colombia

El diagnóstico efectuado durante la primera fase de la investigación evidenció que Colombia posee un importante potencial geotérmico asociado a su ubicación sobre el Cinturón de Fuego del Pacífico, estimado en aproximadamente 1.170 MW. A diferencia de fuentes renovables como la solar y la eólica, la geotermia ofrece una producción estable y permanente, lo que podría contribuir a incrementar la flexibilidad y confiabilidad del sistema eléctrico nacional.

No obstante, pese a estas ventajas, su desarrollo ha sido limitado por la ausencia de políticas públicas específicas, la elevada incertidumbre técnica durante las etapas de exploración, los altos costos iniciales de inversión y la falta de mecanismos regulatorios y financieros que incentiven la ejecución de este tipo de proyectos.

ii. Evidencia y lecciones derivadas del análisis comparativo

La revisión de experiencias en Latinoamérica mostró que países como Nicaragua, Costa Rica, El Salvador y México han logrado incorporar la energía geotérmica como un componente relevante de sus sistemas eléctricos mediante políticas de largo plazo orientadas a reducir los riesgos de exploración y promover la inversión en esta tecnología.

Los casos analizados evidencian que el respaldo institucional durante las fases iniciales, la existencia de incentivos específicos y el fortalecimiento de la investigación geológica han sido factores determinantes para el desarrollo exitoso de proyectos geotérmicos. Asimismo, demuestran que la participación del Estado en la caracterización de recursos y en la mitigación del riesgo exploratorio facilita la atracción de inversión privada y acelera la consolidación de esta fuente energética.

iii. Viabilidad para el contexto colombiano

Las condiciones geológicas del territorio colombiano, sumadas a la necesidad de diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de tecnologías sujetas a variabilidad climática, hacen que la geotermia represente una alternativa técnicamente viable y estratégicamente conveniente para el país. Su desarrollo permitiría incorporar una fuente renovable de generación continua, fortalecer la seguridad energética y aprovechar recursos naturales que actualmente permanecen subutilizados.

iv. Estrategia propuesta

Como resultado de la integración entre el diagnóstico nacional y las experiencias analizadas en Latinoamérica, se plantea impulsar el desarrollo de la energía geotérmica como una nueva alternativa FNCER estratégica para Colombia mediante la formulación de políticas públicas, incentivos regulatorios y mecanismos de financiación que promuevan la exploración y el aprovechamiento del potencial geotérmico nacional.

De manera complementaria, se considera pertinente fortalecer los programas de investigación, caracterización de recursos y desarrollo tecnológico, con el propósito de reducir la incertidumbre asociada a las etapas iniciales de los proyectos y generar condiciones que faciliten la participación de inversionistas públicos y privados. En conjunto, esta estrategia contribuiría a diversificar la matriz energética, incrementar la

resiliencia del sistema eléctrico y consolidar una transición energética más sostenible y equilibrada para el país.

Mecanismos financieros para fortalecer la bancabilidad de proyectos FNCER

El acceso a mecanismos de financiamiento adecuados constituye uno de los factores determinantes para acelerar la implementación de las FNCER en Colombia. La disponibilidad de recursos de largo plazo, la reducción de los riesgos percibidos por los inversionistas y la existencia de instrumentos financieros especializados inciden directamente en la viabilidad económica de los proyectos y en la capacidad del país para alcanzar sus objetivos de transición energética. En este contexto, el análisis desarrollado permite identificar la necesidad de fortalecer la bancabilidad del sector mediante mecanismos que faciliten la movilización de capital público y privado.

i. Diagnóstico de las barreras financieras para las FNCER

Los resultados obtenidos en las fases previas evidenciaron que una de las principales limitaciones para la expansión de las FNCER en Colombia está relacionada con las dificultades de acceso a financiamiento competitivo. El desarrollo de este tipo de proyectos requiere elevadas inversiones iniciales y periodos de recuperación de largo plazo, por lo que la disponibilidad de instrumentos financieros adecuados resulta esencial para garantizar su ejecución.

Sin embargo, persisten restricciones asociadas a la limitada oferta de crédito especializado, la insuficiencia de mecanismos de mitigación del riesgo y la incertidumbre regulatoria, factores que incrementan las exigencias de rentabilidad de los inversionistas y elevan el costo promedio ponderado de capital (WACC). Como consecuencia, proyectos técnicamente viables pueden enfrentar dificultades para alcanzar el cierre financiero o experimentar retrasos en su desarrollo debido a las condiciones actuales del mercado.

ii. Evidencia y lecciones derivadas del análisis comparativo

La comparación con las experiencias latinoamericanas permitió identificar que el fortalecimiento de la banca de desarrollo ha desempeñado un papel determinante en la expansión de las energías renovables. En particular, el modelo implementado por el Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) de Brasil evidencia cómo una entidad financiera pública especializada puede facilitar el acceso a recursos de largo plazo, reducir la percepción de riesgo y movilizar inversión privada mediante líneas de crédito preferenciales, garantías y esquemas de financiamiento complementarios.

Asimismo, el análisis regional muestra que la articulación entre banca pública, recursos multilaterales, bonos verdes y mecanismos de cobertura financiera contribuye a generar condiciones más favorables para el desarrollo de proyectos estratégicos, incrementando la confianza de los inversionistas y fortaleciendo la sostenibilidad económica de la transición energética.

iii. Viabilidad para el contexto colombiano

Las condiciones institucionales y financieras de Colombia ofrecen una base favorable para fortalecer la bancabilidad de los proyectos FNCER mediante el aprovechamiento de capacidades ya existentes. El país cuenta con entidades de desarrollo como Findeter, la Financiera de Desarrollo Nacional y Bancóldex, las cuales poseen experiencia en la estructuración y financiación de proyectos de infraestructura y pueden desempeñar un papel más activo en la movilización de recursos hacia el sector energético.

Adicionalmente, el acceso a instrumentos internacionales de financiamiento climático y la creciente disponibilidad de mecanismos como los bonos verdes representan oportunidades para complementar las fuentes tradicionales de financiación y reducir las barreras económicas que actualmente limitan la implementación de nuevos proyectos FNCER. En este sentido, el fortalecimiento de la bancabilidad constituye una medida

coherente con las necesidades identificadas durante la investigación y con las capacidades institucionales disponibles en el país.

iv. Estrategia propuesta

Como resultado del análisis realizado, se plantea fortalecer la bancabilidad nacional mediante la creación de una entidad financiera especializada que impulse el financiamiento de proyectos FNCER e infraestructura energética estratégica. Para ello, se propone promover instrumentos de financiamiento mixto que integren recursos públicos, banca multilateral y capital privado, así como fortalecer la emisión de bonos verdes y otros mecanismos de financiamiento climático orientados a proyectos con alto impacto en descarbonización y transición energética. En conjunto, estas acciones contribuirían a disminuir el costo del capital, ampliar las fuentes de financiación disponibles e incrementar la participación de inversionistas privados, fortaleciendo las condiciones económicas necesarias para acelerar el despliegue de las FNCER en Colombia.

Fortalecimiento de la participación ciudadana en proyectos FNCER

La participación ciudadana constituye un componente esencial para garantizar la sostenibilidad y legitimidad social de la transición energética. Más allá de los aspectos técnicos y económicos, el desarrollo de proyectos FNCER depende en gran medida de la construcción de relaciones de confianza entre las comunidades, las empresas promotoras y las entidades públicas. En este sentido, fortalecer los mecanismos de participación y control social permite reducir conflictos, mejorar la transparencia y favorecer condiciones más propicias para la implementación de estas iniciativas en el territorio.

i. Diagnóstico de los desafíos en la participación ciudadana

El análisis realizado en las fases previas evidenció que la aceptación social representa una de las principales barreras para la implementación de proyectos FNCER en Colombia. El crecimiento de estas tecnologías implica intervenciones directas sobre los territorios y las comunidades donde se desarrollan los proyectos, por lo que la construcción de relaciones de confianza constituye un elemento esencial para su sostenibilidad. Sin embargo, en numerosos casos los procesos de socialización se realizan de manera tardía o limitada, dificultando la apropiación de la información por parte de la población y favoreciendo la aparición de conflictos sociales derivados de percepciones de riesgo, falta de beneficios locales o insuficiente participación en la toma de decisiones.

Adicionalmente, aunque Colombia dispone de instrumentos legales para la participación ciudadana, como las veedurías contempladas en la Ley 850 de 2003, estos mecanismos no suelen incorporarse de manera sistemática en proyectos desarrollados con inversión privada, lo que limita las posibilidades de seguimiento social y de construcción de escenarios permanentes de diálogo entre las comunidades, las empresas y las entidades públicas.

ii. Evidencia y lecciones derivadas del análisis comparativo

La revisión de experiencias y casos de referencia permitió identificar que la participación organizada de la ciudadanía puede convertirse en un mecanismo eficaz para fortalecer la transparencia, la confianza institucional y la legitimidad de los proyectos de infraestructura. Estas experiencias evidencian que la participación ciudadana no debe entenderse únicamente como un mecanismo de control, sino también como una herramienta preventiva para identificar oportunamente riesgos sociales, facilitar la comunicación entre las partes involucradas y promover soluciones concertadas antes de que los conflictos afecten el desarrollo de los proyectos. En consecuencia, la

incorporación temprana de mecanismos participativos representa una práctica transferible que puede fortalecer la implementación de las FNCER en Colombia.

iii. Viabilidad para el contexto colombiano

Las características sociales y territoriales de Colombia hacen especialmente relevante fortalecer la participación ciudadana en los proyectos de transición energética. La diversidad cultural del país, la presencia de comunidades con diferentes formas de organización y la necesidad de gestionar adecuadamente los impactos sociales y ambientales exigen mecanismos que favorezcan el diálogo permanente y la construcción de confianza entre todos los actores involucrados.

Asimismo, la existencia de un marco normativo que reconoce las veedurías ciudadanas como mecanismo de control social facilita la adopción de este tipo de instrumentos sin requerir modificaciones estructurales del ordenamiento jurídico. Su aplicación específica en proyectos FNCER permitiría complementar los procesos de consulta previa, mejorar la transparencia en la gestión y reducir riesgos asociados a conflictos sociales que puedan retrasar o impedir la ejecución de las inversiones.

iv. Estrategia propuesta

Como resultado de la integración entre el diagnóstico nacional y las experiencias analizadas, se plantea fomentar la creación e implementación de veedurías ciudadanas en los proyectos FNCER desde las etapas iniciales de formulación y estructuración. La incorporación de estos mecanismos permitiría fortalecer la transparencia en la gestión de los proyectos, facilitar el seguimiento al cumplimiento de los compromisos ambientales y sociales y promover una participación más activa de las comunidades durante todo el ciclo de desarrollo de las iniciativas.

De igual manera, las veedurías podrían consolidarse como espacios permanentes de diálogo entre los promotores, las autoridades y la ciudadanía, contribuyendo a disminuir

la desinformación, fortalecer la confianza institucional y generar procesos de construcción colectiva que favorezcan la aceptación social de los proyectos energéticos.

Fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para facilitar la integración de las FNCER

El fortalecimiento de la infraestructura eléctrica constituye un componente estratégico para garantizar una transición energética sostenible en Colombia. La expansión de las FNCER requiere que el crecimiento de la capacidad de generación esté acompañado por una red de transmisión y distribución capaz de evacuar la energía producida y mantener la confiabilidad del SIN. En este sentido, la planificación coordinada entre generación e infraestructura se convierte en un requisito indispensable para aprovechar plenamente el potencial renovable del país.

i. Diagnóstico de la problemática

El análisis desarrollado en las fases previas evidenció que una de las barreras para la aceleración de las FNCER en Colombia corresponde a las limitaciones de la infraestructura eléctrica, particularmente en materia de transmisión y capacidad de conexión. La concentración de proyectos solares y eólicos en regiones con alto potencial energético ha puesto de manifiesto la existencia de cuellos de botella que dificultan el transporte de la energía generada, incrementan los tiempos de desarrollo de los proyectos y generan incertidumbre para inversionistas y promotores.

ii. Evidencia y lecciones derivadas del análisis comparativo

La revisión de las experiencias latinoamericanas permitió identificar que el fortalecimiento de la infraestructura eléctrica ha sido un elemento determinante para consolidar procesos exitosos de integración de energías renovables. En particular, el caso de Chile evidenció que la rápida expansión de la generación solar generó problemas de congestión y restricciones técnicas que hicieron necesaria la ejecución de

importantes proyectos de ampliación y modernización de la red de transmisión para garantizar el transporte de la energía y mantener la estabilidad del sistema.

De manera similar, Brasil enfrentó limitaciones asociadas al crecimiento acelerado de las FNCER, lo que puso de manifiesto la necesidad de coordinar la planificación de la infraestructura con el desarrollo de nuevos proyectos de generación. Estas experiencias demuestran que el fortalecimiento de la red eléctrica no constituye una medida complementaria, sino una condición necesaria para permitir una integración eficiente y sostenible de las energías renovables.

iii. Viabilidad para el contexto colombiano

Las condiciones actuales del sistema eléctrico colombiano hacen especialmente relevante la adopción de medidas orientadas a fortalecer la infraestructura de transmisión y distribución. El incremento esperado de proyectos FNCER, particularmente en regiones con elevado potencial solar y eólico, exige una planificación que permita anticipar las necesidades de expansión de la red y evitar que las restricciones técnicas se conviertan en un obstáculo para la transición energética.

Además, Colombia cuenta con entidades técnicas especializadas, como la UPME y XM, así como con instrumentos de planificación eléctrica que proporcionan una base institucional adecuada para integrar de manera coordinada las inversiones en infraestructura con las políticas de expansión de las FNCER. Esta capacidad institucional favorece la implementación de medidas que incrementen la flexibilidad y resiliencia del sistema eléctrico nacional.

iv. Estrategia propuesta

Como resultado de la integración entre el diagnóstico nacional y las lecciones derivadas de las experiencias regionales, se plantea fortalecer la infraestructura eléctrica para facilitar la integración de las FNCER mediante una estrategia orientada a identificar

las limitaciones actuales de conexión, priorizar los proyectos estratégicos de transmisión y promover la modernización de la red eléctrica.

La estrategia contempla la realización de diagnósticos técnicos para localizar los principales cuellos de botella, la priorización de inversiones en infraestructura con mayor impacto sobre la incorporación de generación FNCER y la adopción de tecnologías de redes inteligentes que incrementen la flexibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa del sistema. Asimismo, busca asegurar que el aumento de la capacidad instalada de FNCER avance de manera articulada con el desarrollo oportuno de la infraestructura eléctrica, reduciendo las restricciones de transmisión y optimizando el aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles.

En conjunto, el fortalecimiento de la infraestructura eléctrica constituye una estrategia transversal que complementa las demás acciones propuestas en esta investigación, al proporcionar las condiciones técnicas necesarias para acelerar la implementación de las FNCER y consolidar una transición energética segura, eficiente y sostenible en Colombia.

Fortalecimiento de las capacidades técnicas del talento humano para apoyar la transición energética

El fortalecimiento de las capacidades técnicas del talento humano constituye un componente esencial para garantizar el crecimiento sostenible de las FNCER en Colombia. La disponibilidad de talento humano calificado, la articulación entre la formación académica y las necesidades del sector productivo, así como el desarrollo de capacidades de investigación e innovación, representan factores determinantes para acelerar la transición energética y asegurar la adecuada implementación, operación y mantenimiento de las nuevas tecnologías renovables.

i. Brechas de talento humano como limitante para el desarrollo de las FNCER

El diagnóstico realizado durante la investigación evidenció que uno de los desafíos para la consolidación de las FNCER en Colombia corresponde a la insuficiente disponibilidad de personal especializado para atender las crecientes necesidades del sector. Aunque el país ha incrementado la incorporación de proyectos FNCER, la oferta de programas de formación técnica, tecnológica y profesional continúa siendo limitada frente a la demanda proyectada.

Adicionalmente, la escasa articulación entre las instituciones educativas y las empresas del sector energético dificulta la actualización permanente de los programas de formación y la generación de competencias alineadas con los requerimientos reales de la industria. Esta situación puede incrementar la dependencia de conocimiento externo, limitar la adopción de nuevas tecnologías y afectar la competitividad del país en el marco de la transición energética.

ii. Evidencia y lecciones derivadas del análisis comparativo

La revisión de las experiencias latinoamericanas permitió identificar que el fortalecimiento del capital humano ha acompañado el desarrollo de las políticas de transición energética en diversos países de la región. La participación coordinada de universidades, centros de investigación, instituciones de formación técnica y organismos gubernamentales ha favorecido la generación de capacidades nacionales para la investigación, la innovación y la transferencia tecnológica en energías renovables.

Estas experiencias evidencian que el desarrollo de talento especializado constituye un habilitador transversal para la expansión de las FNCER, al facilitar la disponibilidad de profesionales capacitados para diseñar, construir, operar y mantener proyectos FNCER, al tiempo que fortalece los ecosistemas nacionales de innovación y reduce la dependencia tecnológica del exterior.

iii. Viabilidad para el contexto colombiano

Las condiciones actuales del sistema educativo colombiano, junto con la existencia de instituciones consolidadas como el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), universidades y centros de investigación especializados, ofrecen una base favorable para fortalecer las capacidades técnicas requeridas por la transición energética. Asimismo, la creciente demanda de personal especializado derivada de la expansión de las FNCER representa una oportunidad para consolidar programas de formación y certificación alineados con las necesidades del mercado laboral.

La articulación entre el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Educación, las instituciones académicas y el sector productivo permitiría diseñar una oferta formativa más pertinente, impulsar la investigación aplicada y facilitar la transferencia de conocimiento hacia la industria, generando beneficios tanto para el desarrollo del talento humano como para la competitividad del sector energético nacional.

iv. Estrategia propuesta

Como resultado de la integración entre el diagnóstico nacional y las lecciones derivadas del análisis comparativo, se propone una estrategia de fortalecimiento de las capacidades técnicas del talento humano para la transición energética, orientada al diseño e implementación de programas de formación técnica, tecnológica y profesional especializados en tecnologías asociadas a las FNCER. Esta estrategia buscaría alinear la oferta educativa con las necesidades actuales y futuras del sector energético, garantizando la disponibilidad de talento humano calificado para responder a los desafíos de la expansión de las energías FNCER en el país.

De manera complementaria, se plantea promover alianzas entre entidades como el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Educación, el SENA, las universidades, los centros de investigación y otros actores estratégicos, con el fin de fortalecer la investigación, la innovación, la transferencia de conocimiento y los procesos de

certificación de competencias. La implementación de estas acciones contribuiría a reducir las brechas de personal especializado, mejorar la empleabilidad y aumentar la competitividad del sector energético, generando las capacidades necesarias para acelerar la adopción de las FNCER y consolidar una transición energética sostenible respaldada por talento humano altamente calificado.

Integración de hallazgos y fundamentación de las estrategias propuestas

Con el propósito de consolidar los resultados obtenidos durante el proceso investigativo, la presente sección integra las principales barreras identificadas en el diagnóstico nacional con las lecciones derivadas del análisis comparativo de experiencias latinoamericanas y las estrategias formuladas para el contexto colombiano. Esta articulación permite evidenciar la relación lógica entre las diferentes fases de la investigación y demostrar que las propuestas desarrolladas responden de manera directa a problemáticas previamente identificadas y a prácticas exitosas observadas en la región. La Tabla 3 constituye un instrumento de integración metodológica que justifica la selección de las estrategias y orienta la estructuración del plan de acción planteado en la fase siguiente.

De acuerdo con lo anterior, las propuestas no representan acciones aisladas, sino un conjunto articulado de intervenciones orientadas a fortalecer las condiciones regulatorias, institucionales, financieras, técnicas y sociales necesarias para acelerar la implementación de las FNCER en Colombia. Con base en esta fundamentación, la siguiente fase de la investigación desarrolla un plan de acción que operacionaliza dichas estrategias mediante la definición de objetivos, actividades, responsables, recursos, cronogramas e indicadores de seguimiento, con el propósito de facilitar su implementación y evaluación en el contexto nacional.

Tabla 3. *Integración entre diagnóstico, referentes latinoamericanos y estrategias propuestas*

Barrera identificada en Colombia	Evidencia y lección derivada del análisis comparativo	Estrategia formulada
Fragmentación institucional y baja coordinación entre entidades.	Brasil demuestra que la institucionalidad especializada mejora la coordinación y reduce incertidumbres.	Creación de una Agencia Nacional de Proyectos FNCER.
Limitada gestión de la variabilidad renovable y escasos incentivos al almacenamiento.	Chile ha demostrado cómo el almacenamiento energético aumenta la flexibilidad y confiabilidad del sistema.	Impulso al almacenamiento energético mediante lineamientos e incentivos.
Baja diversificación tecnológica y limitado desarrollo geotérmico.	Nicaragua, Costa Rica, El Salvador y México evidencian que políticas e incentivos adecuados favorecen el aprovechamiento de la geotermia.	Promoción del desarrollo geotérmico mediante incentivos y financiación.
Dificultades de financiamiento y alta percepción de riesgo.	Brasil (BNDES) y Argentina (FODER) muestran que la banca de desarrollo y los mecanismos de garantía mejoran la bancabilidad.	Fortalecimiento de instrumentos financieros especializados para FNCER.
Conflictos sociales y limitada participación comunitaria.	La participación temprana fortalece la legitimidad y reduce conflictos.	Implementación de veedurías y mecanismos de participación ciudadana.
Restricciones de transmisión y limitada capacidad de integración.	Brasil y Chile evidencian que la expansión de las FNCER requiere infraestructura y planificación coordinada.	Fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para integrar FNCER.
Déficit de talento humano especializado.	Los países con mayor desarrollo renovable han fortalecido la articulación entre academia e industria.	Formación especializada y certificación de competencias para la transición energética.

Plan de acción para la aceleración de las FNCER en Colombia

Con base en los hallazgos obtenidos en las fases anteriores de la investigación, se formula un plan de acción orientado a acelerar el desarrollo de las FNCER en Colombia. El plan integra las estrategias priorizadas a partir del análisis de experiencias latinoamericanas, estableciendo actividades concretas, responsables, recursos e indicadores que permitan orientar su implementación y seguimiento. De esta manera, se propone una hoja de ruta dirigida al Ministerio de Minas y Energía para contribuir al

fortalecimiento de la transición energética y al cumplimiento de los objetivos nacionales de sostenibilidad y seguridad energética.

Creación de agencia nacional de proyectos FNCER

Objetivo: Centralizar y agilizar los procesos regulatorios, técnicos, ambientales y sociales asociados a proyectos FNCER.

La estrategia plantea la creación de una entidad especializada que actúe como mecanismo de articulación entre las diferentes instituciones con competencias en el sector energético, ambiental y territorial, permitiendo reducir barreras administrativas, optimizar los tiempos de gestión y fortalecer la coordinación durante el ciclo de vida de los proyectos. De esta manera, la Agencia se constituye como una herramienta de gobernanza orientada a facilitar la transición energética y promover un entorno más favorable para la inversión y el desarrollo de iniciativas renovables.

La estrategia se compone de cinco actividades principales: i) diseño institucional y normativo de la Agencia Nacional FNCER, mediante la definición de su estructura organizacional, funciones y marco regulatorio; ii) asignación de delegados de entidades nacionales y territoriales, con el fin de fortalecer la coordinación y la articulación interinstitucional; iii) diseño de protocolos unificados de carácter técnico, ambiental y social, orientados a estandarizar los procesos de evaluación y aprobación de proyectos; iv) desarrollo de una guía metodológica para promotores FNCER, que facilite la formulación, presentación y seguimiento de iniciativas renovables; v) implementación de una ventanilla única virtual, destinada a centralizar la radicación, gestión y seguimiento de los trámites asociados a los proyectos FNCER.

El desarrollo detallado de esta estrategia, incluyendo su plan de acción, actividades específicas, responsables, recursos, cronograma e indicadores de seguimiento, se presenta en el Anexo 1.

Matriz de implementación de la estrategia

La Tabla 4 presenta la matriz de implementación de la estrategia, incluyendo los responsables, recursos requeridos, nivel de prioridad, nivel de ejecución e indicadores definidos para su seguimiento.

Tabla 4. *Matriz de implementación de la estrategia Creación de agencia nacional de proyectos FNCER*

Actividad	Responsables	Recursos	Prioridad	Nivel de ejecución	Indicadores
Diseño y propuesta institucional y normativa de la Agencia Nacional FNCER	- Ministerio de Minas y Energía - UPME - CREG - ANLA - Servicio Geológico Colombiano - Ministerio del Interior - DNP	Capital humano	Alta	1	Documento técnico de diseño institucional y normativo de la Agencia Nacional FNCER elaborado y presentado.
Asignar delegados de las entidades nacionales y territoriales para la creación de sus oficinas respectivas al interior de la Agencia.	- UPME - CREG - ANLA - Corporaciones regionales - Ministerio del Interior	Capital humano	Alta	1	Número de delegados por entidad
Diseñar protocolos unificados de carácter técnico, ambiental y social	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta)	Capital humano Plataforma digital	Media	2	Número de protocolos unificados técnicos, ambientales y sociales diseñados y adoptados
Diseñar e implementar una guía metodológica para promotores FNCER para la presentación de proyectos ante la agencia	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta)	Capital humano Plataforma digital	Media	2	Guía metodológica para promotores de proyectos FNCER elaborada e implementada.
Creación de la ventanilla única virtual para radicación, registro y seguimiento de proyectos	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta)	Capital humano Plataforma digital	Media	3	Ventanilla única virtual diseñada e implementada para la gestión de proyectos FNCER

Lineamientos para la incorporación de sistemas BESS en proyectos FNCER

Objetivo: Establecer los lineamientos técnicos y regulatorios necesarios para la incorporación gradual de sistemas BESS en proyectos FNCER.

Esta estrategia busca mejorar el aprovechamiento de la generación renovable, reducir los vertimientos de energía ocasionados por restricciones operativas del sistema eléctrico y fortalecer la flexibilidad, confiabilidad y resiliencia del SIN. Asimismo, pretende generar las condiciones regulatorias y técnicas que permitan integrar el almacenamiento energético como un componente estratégico para acelerar la transición energética del país.

La estrategia se compone de cuatro actividades: i) caracterización de los vertimientos de energía y al análisis técnico-regulatorio de los sistemas BESS, con el fin de identificar las necesidades y oportunidades para su implementación en Colombia; ii) definición de un porcentaje mínimo de almacenamiento BESS para proyectos FNCER, fundamentado en criterios técnicos, regulatorios y en experiencias latinoamericanas adaptadas al contexto nacional; iii) diseño y establecimiento de un marco regulatorio específico, orientado a definir las condiciones, requisitos y mecanismos para la incorporación gradual de sistemas BESS en proyectos FNCER; iv) socialización y divulgación de los lineamientos regulatorios, mediante estrategias de comunicación, capacitación y transferencia de conocimiento que faciliten su apropiación por parte de los diferentes actores del sector energético.

El desarrollo detallado de esta estrategia, incluyendo las actividades específicas, responsables, recursos requeridos, cronograma de ejecución e indicadores de seguimiento y evaluación, se presenta en el Anexo 2.

Matriz de implementación de la estrategia

La Tabla 6 presenta la matriz de implementación de la estrategia, incluyendo los responsables, recursos requeridos, nivel de prioridad, nivel de ejecución e indicadores definidos para su seguimiento.

Tabla 5. *Matriz de implementación de la estrategia Lineamientos para la incorporación de sistemas BESS en proyectos FNCER*

Actividad	Responsables	Recursos	Prioridad	Nivel de ejecución	Indicadores
Caracterizar los vertimientos de energía de los generadores FNCER y realizar un análisis técnico-regulatorio sobre sistemas BESS	- Ministerio de Minas y Energía, UPME, CREG, XM, operadores de red y generadores FNCER	Capital humano Plataforma digital	Alta	1	Diagnóstico nacional de vertimientos de energía de los generadores FNCER y análisis técnico-regulatorio sobre sistemas BESS elaborados y publicados.
Definir el porcentaje mínimo de almacenamiento BESS para proyectos FNCER	- Ministerio de Minas y Energía, CREG, UPME y XM	Capital humano	Alta	2	Documento técnico con el porcentaje mínimo de almacenamiento de BESS formulado y propuesta regulatoria.
Establecer el marco regulatorio para la implementación de sistemas BESS en proyectos FNCER	- Ministerio de Minas y Energía, CREG y UPME.	Capital humano	Alta	3	Acto administrativo o regulación expedida para la implementación de sistemas BESS en proyectos FNCER.
Socializar y divulgar los lineamientos regulatorios sobre sistemas BESS	- Ministerio de Minas y Energía, CREG, UPME y entidades del sector energético.	Capital humano	Alta	4	Número de jornadas de socialización realizadas sobre los lineamientos regulatorios de sistemas BESS

Promover la geotermia como nueva tecnología de FNCER en Colombia

Objetivo: Desarrollar la geotermia como nueva fuente estratégica de generación renovable.

La estrategia busca reducir las barreras técnicas, económicas e institucionales que han limitado el aprovechamiento de este recurso, promoviendo la identificación de zonas con alto potencial geotérmico, el fortalecimiento de capacidades técnicas nacionales y la generación de condiciones favorables para la exploración y posterior desarrollo de proyectos geotérmicos en Colombia.

La estrategia se compone de tres actividades: i) priorización de zonas con potencial geotérmico, mediante la evaluación de criterios técnicos, ambientales y sociales que permitan identificar los territorios con mayores probabilidades de éxito para el desarrollo de proyectos; ii) promoción de espacios de intercambio de conocimientos y experiencias con países latinoamericanos, orientados a transferir buenas prácticas, lecciones aprendidas y modelos exitosos relacionados con la exploración y explotación de recursos geotérmicos; iii) implementación de incentivos para proyectos piloto de exploración geotérmica, a través de mecanismos de apoyo técnico, financiero y de cooperación internacional que contribuyan a reducir la incertidumbre asociada a las etapas iniciales de desarrollo y faciliten la generación de información estratégica sobre el recurso geotérmico nacional.

El desarrollo detallado de esta estrategia, incluyendo las actividades específicas, responsables, recursos requeridos, cronograma de ejecución e indicadores de seguimiento y evaluación, se presenta en el Anexo 3.

Matriz de implementación de la estrategia

La Tabla 6 presenta la matriz de implementación de la estrategia, incluyendo los responsables, recursos requeridos, nivel de prioridad, nivel de ejecución e indicadores definidos para su seguimiento.

Tabla 6. *Matriz de implementación de la estrategia Promover la geotermia como nueva tecnología de FNCER en Colombia*

Actividad	Responsables	Recursos	Prioridad	Nivel de ejecución	Indicadores
Priorizar las zonas con mayor potencial geotérmico según su viabilidad técnica, ambiental y social	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta) - Servicio Geológico Colombiano.	Capital humano Plataforma digital	Media	2	Listado de zonas priorizadas
Promover eventos para el intercambio de conocimientos y experiencia de países en LATAM en el tema de exploración y explotación de la geotermia	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta)	Capital humano	Media	2	Número de eventos realizados.
Incentivar proyectos piloto de exploración.	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta)	Capital humano	Media	3	Número de proyectos piloto formulados.

Fortalecimiento de la bancabilidad nacional

Objetivo: Promover la creación de una entidad financiera mixta especializada en la financiación de proyectos FNCER.

Esta propuesta busca fortalecer las condiciones de acceso al capital para los promotores de proyectos, reducir las barreras financieras que limitan la expansión de las FNCER y movilizar recursos públicos, privados e internacionales hacia iniciativas estratégicas para la transición energética. Asimismo, la estrategia pretende consolidar una institución con capacidades técnicas y financieras especializadas que contribuya a mejorar la estructuración, evaluación y financiamiento de proyectos FNCER en sus diferentes etapas de desarrollo.

La estrategia se compone de tres actividades: i) gestionar la participación de organismos multilaterales, bancos de desarrollo y entidades financieras internacionales, con el fin de fortalecer la capacidad financiera, técnica e institucional de la entidad propuesta mediante recursos de financiación, asistencia técnica y transferencia de conocimiento especializado; ii) constitución de una financiera mixta especializada en proyectos FNCER, incluyendo la definición de su estructura organizacional, modelo de gobernanza, mecanismos de capitalización e instrumentos financieros adaptados a las necesidades del sector; iii) ofrecer líneas de crédito de largo plazo y estructurar programas de emisión de bonos verdes, orientados a ampliar las fuentes de financiamiento disponibles, mejorar las condiciones de acceso al capital y promover la inversión sostenible en proyectos FNCER.

El desarrollo detallado de esta estrategia, incluyendo las actividades específicas, responsables, recursos requeridos, cronograma de ejecución e indicadores de seguimiento y evaluación, se presenta en el Anexo 4.

Matriz de implementación de la estrategia

La Tabla 7 presenta la matriz de implementación de la estrategia, incluyendo los responsables, recursos requeridos, nivel de prioridad, nivel de ejecución e indicadores definidos para su seguimiento.

Tabla 7. *Matriz de implementación de la estrategia Fortalecimiento de la bancabilidad nacional*

Actividad	Responsables	Recursos	Prioridad	Nivel de ejecución	Indicadores
Buscar la participación de entidades que permitan fortalecer el músculo financiero, la capacidad técnica y la autonomía para ofrecer soluciones de asesoría y financiación.	- Ministerio de Hacienda y Crédito Público - MinMinas	Capital humano	Alta	1	Número de entidades asociadas
Constituir la Financiera mixta para proyectos FNCER	- Ministerio de Hacienda y Crédito Público - Entidades asociadas	Capital humano	Alta	2	Documento de constitución de la Financiera
Ofrecer créditos de largo plazo y estructurar la emisión de bonos verdes.	- Financiera FNCER (Financiera propuesta)	Capital humano Recursos financieros	Alta	3	Número de créditos aprobados y número de bonos verdes emitidos

Fortalecimiento de la participación ciudadana en proyectos FNCER

Objetivo: Fomentar la creación de veedurías ciudadanas.

La estrategia busca fortalecer la transparencia, promover el acceso oportuno a la información y mejorar los procesos de relacionamiento entre comunidades, promotores de proyectos y entidades gubernamentales. De esta manera, se pretende incrementar la legitimidad social de los proyectos FNCER, favorecer la construcción de confianza entre los actores involucrados y contribuir a la prevención y gestión temprana de conflictos en los territorios donde se implementan iniciativas de transición energética.

La estrategia se compone de cuatro actividades: i) divulgar los beneficios de las veedurías ciudadanas, mediante estrategias de comunicación dirigidas a comunidades, líderes sociales y demás actores interesados, con el fin de promover el conocimiento y la apropiación de estos mecanismos de participación; ii) desarrollo de programas de capacitación para comunidades y líderes sociales, orientados a fortalecer sus

capacidades para ejercer seguimiento informado a los proyectos FNCER y comprender el funcionamiento de las veedurías ciudadanas; iii) establecer lineamientos que promuevan la participación ciudadana y faciliten la interacción entre desarrolladores y comunidades, garantizando condiciones adecuadas para el acceso a la información y el ejercicio del control social; iv) promover y acompañar la conformación de veedurías ciudadanas, brindando apoyo técnico, metodológico e institucional para fortalecer su funcionamiento y participación en los procesos de seguimiento de los proyectos.

El desarrollo detallado de esta estrategia, incluyendo las actividades específicas, responsables, recursos requeridos, cronograma de ejecución e indicadores de seguimiento y evaluación, se presenta en el Anexo 5.

Matriz de implementación de la estrategia

La Tabla 8 presenta la matriz de implementación de la estrategia, incluyendo los responsables, recursos requeridos, nivel de prioridad, nivel de ejecución e indicadores definidos para su seguimiento.

Tabla 8. *Matriz de implementación de la estrategia Fortalecimiento de la participación ciudadana en proyectos FNCER*

Actividad	Responsables	Recursos	Prioridad	Nivel de ejecución	Indicadores
Publicar los beneficios de la creación de veedurías ciudadanas.	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta)	Capital humano Recursos financieros	Alta	2	Número de publicaciones
Desarrollar programas de capacitación para las comunidades y líderes sociales sobre la importancia de conformarse como veedurías ciudadanas	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta) - Promotor del proyecto	Capital humano	Alta	2	Número de capacitaciones
Establecer la obligación de los desarrolladores de proyectos FNCER de facilitar, apoyar y garantizar las condiciones necesarias para la conformación y funcionamiento de veedurías ciudadanas.	- Ministerio del Interior	Capital humano	Alta	1	Acto administrativo
Promover la conformación de veedurías ciudadanas en proyectos FNCER.	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta) - Promotor del proyecto - Ministerio del Interior	Capital humano	Alta	3	Número de veedurías conformadas

Fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para la integración de FNCER

Objetivo: Incrementar la capacidad del sistema eléctrico para integrar y transportar eficientemente la energía generada por proyectos FNCER.

La estrategia busca reducir las restricciones de conexión y evacuación de energía que actualmente limitan el desarrollo de nuevos proyectos FNCER, mediante la planificación y modernización de la infraestructura eléctrica. Asimismo, pretende fortalecer la confiabilidad, flexibilidad y resiliencia del SIN, garantizando que el crecimiento de las

FNCER esté acompañado por una red capaz de responder a las necesidades actuales y futuras de la transición energética.

La estrategia se compone de tres actividades: i) identificar las zonas con limitaciones de conexión y capacidad de red, mediante un diagnóstico técnico de la infraestructura eléctrica que permita determinar los principales cuellos de botella para la integración de nuevas fuentes de generación FNCER; ii) priorizar proyectos estratégicos de transmisión asociados a FNCER, orientando las inversiones hacia aquellas obras de infraestructura con mayor impacto en la conexión y transporte de energía proveniente de FNCER desde las zonas de generación hacia los centros de consumo; iii) promover soluciones de redes inteligentes y la modernización de la infraestructura eléctrica, incorporando tecnologías avanzadas de monitoreo, automatización, control y gestión de la red que permitan mejorar la flexibilidad operativa, optimizar el uso de la infraestructura existente y facilitar una integración más eficiente de las FNCER.

El desarrollo detallado de esta estrategia, incluyendo las actividades específicas, responsables, recursos requeridos, cronograma de ejecución e indicadores de seguimiento y evaluación, se presenta en el Anexo 6.

Matriz de implementación de la estrategia

La Tabla 9 presenta la matriz de implementación de la estrategia, incluyendo los responsables, recursos requeridos, nivel de prioridad, nivel de ejecución e indicadores definidos para su seguimiento.

Tabla 9. *Matriz de implementación de la estrategia Fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para la integración de FNCER*

Actividad	Responsables	Recursos	Prioridad	Nivel de ejecución	Indicadores
Identificar zonas con limitaciones de conexión y capacidad de red.	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta) - UPME - XM	Capital humano	Alta	1	Número de zonas con limitaciones de conexión, capacidad de red identificadas y caracterizadas
Priorizar proyectos estratégicos de transmisión asociados a FNCER	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta) - UPME - XM	Capital humano	Alta	2	Número de proyectos estratégicos de transmisión priorizados
Promover soluciones de redes inteligentes y modernización de infraestructura	- Agencia Nacional FNCER (Agencia propuesta) - UPME - XM - MinMinas	Capital humano	Alta	3	Número de proyectos de modernización y redes inteligentes implementados en el sistema eléctrico.

Fortalecimiento de capacidades técnicas del talento humano para la transición energética

Objetivo: Desarrollar talento humano especializado que responda a las necesidades actuales y futuras del sector FNCER en Colombia.

Esta estrategia busca cerrar las brechas existentes en formación, capacitación y cualificación del capital humano requerido para apoyar el crecimiento de las FNCER, fortaleciendo las competencias técnicas, tecnológicas, profesionales y de gestión necesarias para la planificación, construcción, operación y mantenimiento de proyectos FNCER. Asimismo, pretende consolidar un ecosistema de conocimiento que contribuya al fortalecimiento de la competitividad del sector energético y al cumplimiento de los objetivos de transición energética del país.

La estrategia se compone de tres actividades: i) diseñar programas de formación técnica, tecnológica y profesional en tecnologías FNCER, orientados a desarrollar

competencias especializadas en áreas como energía solar, eólica, geotermia, biomasa, almacenamiento energético y redes inteligentes, de acuerdo con las necesidades actuales y futuras del sector; ii) establecer alianzas entre universidades, centros de investigación, el SENA y actores del sector energético, con el propósito de fortalecer la cooperación en formación, investigación, innovación y transferencia de conocimiento, promoviendo una mayor articulación entre la academia y la industria; iii) implementar programas de certificación de competencias en tecnologías FNCER, orientados a evaluar y validar los conocimientos y habilidades de técnicos, tecnólogos y profesionales, garantizando la disponibilidad de talento humano calificado para responder a los desafíos asociados al desarrollo de proyectos renovables.

El desarrollo detallado de esta estrategia, incluyendo las actividades específicas, responsables, recursos requeridos, cronograma de ejecución e indicadores de seguimiento y evaluación, se presenta en el Anexo 7.

Matriz de implementación de la estrategia

La Tabla 10**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta la matriz de implementación de la estrategia, incluyendo los responsables, recursos requeridos, nivel de prioridad, nivel de ejecución e indicadores definidos para su seguimiento.

Tabla 10. *Matriz de implementación de la estrategia Fortalecimiento de capacidades técnicas para la transición energética*

Actividad	Responsables	Recursos	Prioridad	Nivel de ejecución	Indicadores
Diseñar programas de formación técnica y profesional en tecnologías FNCER.	- MinMinas - Min Educación - SENA - Universidades e instituciones de educación superior	Capital humano	Alta	1	Número de programas de formación técnica y profesional diseñados o actualizados en tecnologías FNCER
Establecer alianzas con universidades, centros de investigación y el SENA.	- MinMinas - Min Educación - SENA - Universidades - Centros de investigación - Asociaciones del sector energético.	Capital humano	Alta	2	Número de convenios suscritos para fortalecer la formación e investigación en tecnologías FNCER.
Implementar programas de certificación de competencias en tecnologías FNCER.	- SENA - Ministerio de Educación Nacional - MinMinas - Organismos certificadores - Entidades de formación especializada	Capital humano	Alta	3	Número de personas certificadas en competencias relacionadas con tecnologías FNCER.

Conclusiones

El diagnóstico del estado actual de las FNCER en Colombia permitió evidenciar que, aunque el país dispone de un importante potencial para el aprovechamiento de recursos de FNCER y ha implementado avances normativos relevantes, su participación dentro de la matriz energética continúa limitada por un conjunto de barreras estructurales de carácter técnico, financiero, normativo y socioambiental. La investigación demostró que estas limitaciones no actúan de manera aislada, sino que se interrelacionan y generan retrasos en la ejecución de proyectos, incrementan la incertidumbre para los inversionistas y restringen el ritmo de la transición energética. En consecuencia, se concluye que la aceleración de las FNCER requiere un enfoque integral que trascienda la creación de incentivos tributarios y contemple intervenciones coordinadas sobre las múltiples dimensiones que condicionan su desarrollo.

El análisis comparativo de las experiencias de Brasil, Chile, Uruguay, Argentina, Nicaragua, Costa Rica, El Salvador y México permitió concluir que el éxito en la expansión de las FNCER no depende de la aplicación de un instrumento único, sino de la articulación de políticas públicas estables, mecanismos financieros adecuados, fortalecimiento institucional, planificación energética, desarrollo de infraestructura y la participación ciudadana. Asimismo, se evidenció que cada país ha adaptado estas herramientas a sus propias condiciones económicas, regulatorias y territoriales, lo que confirma que las experiencias latinoamericanas constituyen referentes valiosos para Colombia siempre que sean objeto de una adecuada contextualización y no de una replicación directa.

La integración entre el diagnóstico nacional y el análisis comparativo regional permitió formular siete (7) estrategias orientadas a superar las principales barreras que limitan la implementación de las FNCER en Colombia. Estas estrategias responden de manera

coherente a las necesidades identificadas durante la investigación y abarcan dimensiones institucionales, regulatorias, técnicas, financieras y sociales que, en conjunto, configuran una propuesta integral para acelerar la transición energética. En consecuencia, la investigación demuestra que el fortalecimiento de la gobernanza, el almacenamiento energético, la geotermia, la bancabilidad, la participación ciudadana, la infraestructura eléctrica y el desarrollo de capacidades técnicas del talento humano constituyen líneas estratégicas complementarias cuya implementación coordinada puede incrementar significativamente la capacidad del país para incorporar nuevas FNCER.

El diseño del plan de acción estratégico permitió traducir las estrategias formuladas en un conjunto de acciones concretas, con objetivos, actividades, responsables, indicadores y recursos definidos, facilitando su implementación por parte del Ministerio de Minas y Energía y las demás entidades involucradas en la transición energética. La estructuración del plan evidencia la viabilidad de convertir los resultados del proceso investigativo en una hoja de ruta para la gestión pública, fortaleciendo la articulación institucional y proporcionando un instrumento de planificación que puede orientar la toma de decisiones para acelerar la integración de las FNCER en Colombia bajo criterios de sostenibilidad, seguimiento y mejora continua.

Referencias

Adams, P., Bridgwater, T., Lea-Langton, A., Ross, A., y Watson, I. (2018). Biomass conversion technologies. En P. Thornley y P. Adams (Eds.), Greenhouse gas balances of bioenergy systems (pp. 107–139). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101036-5.00008-2

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis [ANP]. (2024). *Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural: Encarte de consolidação da produção 2023*. Governo Federal do Brasil. https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/producao-media-nacional-de-petroleo-e-gas-bate-recorde-em-2023

AP News. (2023, 9 de octubre). El retraso en proyectos eólicos en La Guajira evidencia desafíos regulatorios y sociales en la transición energética de Colombia. AP News. https://apnews.com/article/56dd34be39a393a4041e9431bdd45e0b

Arbeláez, S. (2025, October 7). Connecting finance and policy for renewable energy growth in Colombia. World Resources Institute. https://www.wri.org/update/connecting-finance-and-policy-renewable-energy-growth-colombia

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2011). Somos ANLA. https://www.anla.gov.co/nosotros

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. (2022). Lineamientos y criterios ambientales para la evaluación de proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). Bogotá D.C., Colombia. https://www.anla.gov.co/gestion-del-conocimiento-y-la-innovacion/gci-analitica-de-datos/tc-fuentes-no-convencionales-de-energia-renovable

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (s.f.). (2026) Fuentes no convencionales de energía renovable. Gestión del Conocimiento y la Innovación –

Analítica de Datos. https://www.anla.gov.co/gestion-del-conocimiento-y-la-innovacion/gci-analitica-de-datos/tc-fuentes-no-convencionales-de-energia-renovable

Balopi, B., Moyo, M., Gorimbo, J. et al. Tecnologías de conversión de biomasa en electricidad: una revisión. Waste Dispos. Sustain. Energy 7, 323–351 (2025). https://doi.org/10.1007/s42768-025-00226-5

Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). Energía sostenible en América Latina y el Caribe: estrategias de financiamiento. Washington, D.C.: BID. https://publications.iadb.org

Banco Interamericano de Desarrollo. (2022). Avances y retos de la transición energética en Colombia. BID. https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Banco-Interamericano-de-Desarrollo-informe-de-sostenibilidad-2022.pdf

Bancolombia. (2022). Informe de sostenibilidad 2021: bonos verdes y transición energética. Medellín: Bancolombia. https://www.bancolombia.com

Banco Mundial. (2021). Colombia: Apoyo a la transición energética. Banco Mundial. https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2022/12/20/el-banco-mundial-apoya-la-accion-climatica-en-colombia-con-un-prestamo-de-us-1-000-millones

Banco Mundial. (2022). Colombia: hacia una transición energética sostenible. Washington, D.C.: Banco Mundial. https://documents.worldbank.org

Banco Mundial. (2017). RenovAr: Argentina scaling-up renewable energy. World Bank Group. https://documents1.worldbank.org/curated/en/686261582523256459/pdf/RenovAr-Argentina-Scaling-Express-Edition.pdf

Barrera, M. A., Sabbatella, I., y Serrani, E. (2022). Macroeconomic barriers to energy transition in peripheral countries: The case of Argentina. Energy Policy, 168, Article 113117. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113117

Benavides, J., García, H., Cadena, X., & Salamanca, D. (2022). *Actualización de documento, líneas estratégicas y Plan de Acción y Seguimiento (PAS) de la Estrategia Nacional de Financiamiento Climático (ENFC)*. Fedesarrollo. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/4390

Benavides, J., y Cabrales, S. (2024). Impacto de la adopción abrupta de FNCER sobre la estructura del mercado de generación eléctrica en Colombia. https://repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4751/Repor_Diciembre_2024_%20Benavides_%26_Cabrales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cacciuttolo, C., Guzmán, V., y Catriñir, P. (2024). Renewable Solar Energy Facilities in South America—The Road to a Low-Carbon Sustainable Energy Matrix: A Systematic Review. Energies, 17(22), 5532. https://doi.org/10.3390/en17225532

CAF – Banco de Desarrollo de América Latina. (2020). Energía renovable y financiamiento climático en la región andina. Caracas: CAF. https://www.caf.com

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2018). Resolución CREG 030 de 2018 por la cual se regula la actividad de autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el SIN. https://www.creg.gov.co

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2021). Resolución CREG 075 de 2021 por la cual se establecen disposiciones sobre el almacenamiento de energía eléctrica. https://www.creg.gov.co

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2021). Resolución 174 de 2021: por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2024). La CREG anuncia los avances y las perspectivas regulatorias para energías renovables en 2024. https://creg.gov.co/publicaciones/15691/la-creg-anuncia-los-avances-y-las-perspectivas-regulatorias-para-energias-renovables-en-2024/

Congreso de la Nación Argentina. (2015, 23 de septiembre). *Ley 27.191 de 2015. Ley 26.190. Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación*. Boletín Oficial de la República Argentina No. 33.239. https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/norma.htm

Congreso de la República de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial No. 49.150. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=56728

Congreso de la República de Colombia. (2021). Ley 2099 de 2021 por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético y la reactivación económica del país. Diario Oficial No. 51.831. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=173859

Congreso de la República de Colombia. (2023). Ley 2294 de 2023 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026. Diario Oficial No. 52.357. https://www.funcionpublica.gov.co

Congreso de la República de Colombia. (2003, 18 de noviembre). *Ley 850 de 2003. Por medio de la cual se reglamentan las veedurías ciudadanas*. Diario Oficial No. 45.376. Departamento Administrativo de la Función Pública. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=10570

Congreso de la República de Colombia. (2014, 13 de mayo). *Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Diario Oficial No. 49.150. Departamento Administrativo de la Función Pública. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353

Congreso de la República de Colombia. (2021, 10 de julio). *Ley 2099 de 2021. Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 51.731. Departamento Administrativo de la Función Pública. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326

Congreso Nacional de Chile. (2008, 1 de abril). *Ley 20.257 de 2008. Introduce modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos respecto de la generación de energía eléctrica con fuentes de energías renovables no convencionales*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=270212

Contreras, D. (2016, julio 15). El impacto de El Niño en Colombia. Revista Fasecolda, (163), 42-46. Recuperado de https://revista.fasecolda.com/index.php/revfasecolda/article/view/214. https://revista.fasecolda.com/index.php/revfasecolda/article/view/214/209

Corrêa, K. C., Uriona-Maldonado, M., y Rodrigues Vaz, C. R. (2022). The evolution, consolidation and future challenges of wind energy in Uruguay. Energy Policy, 161, Article 112758. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112758

Correia, T. de B., Tolmasquim, M. T., y Hallack, M. (2020). Guía para el diseño de contratos de energías renovables adquiridos mediante subastas. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://public

ations.iadb.org/publications/spanish/document/Guia-para-el-diseno-de-contratos-de-energias-renovables-adquiridos-mediante-subastas.pdf&ved=2ahUKEwj-2uHYx8OUAxUjoLAFHbBSJGEQFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw1LrBuztIpmzSR7hlhCdfGV

Cremades Leguina, A. (2021). El nuevo régimen económico de energías renovables: aspectos esenciales de las nuevas subastas renovables. Revista Jurídica Pérez-Llorca, (5), 20. Recuperado a partir de https://ojs.perezllorca.com/index.php/revista-juridica-perez-llorca/article/view/el-nuevo-regimen-e…

Del Río, P. (2017). Designing auctions for renewable electricity support: Best practices from around the world. Energy for Sustainable Development, 41, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.05.006

Departamento Nacional de Planeación. (2022). Política para la transición energética. (Documento CONPES No. 4075). https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4075.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Energía asequible y no contaminante – La Agenda 2030 en Colombia. Recuperado de https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/energia-asequible-y-no-contaminante

Departamento Nacional de Planeación. (2022). Plan nacional de desarrollo 2022-2026: Colombia, potencia mundial de la vida. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf

Desalegn, B., Gebeyehu, D., y Tamirat, B. (2022). Wind energy conversion technologies and engineering approaches to enhancing wind power generation: A review. Heliyon, 8(11), e11263. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11263

Dhir, R. (2024). A comprehensive topology review and comparative analysis of wind energy conversion systems. International Journal of Science and Research (IJSR), 13, 1518–1524. https://doi.org/10.21275/SR24220190528

Diniz, B. A., Szklo, A., Tolmasquim, M. T., y Schaeffer, R. (2023). Delays in the construction of power plants from electricity auctions in Brazil. Energy Policy, 175, 113467. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113467

Dutra, R. M., y Szklo, A. (2008). Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. Renewable Energy, 33(1), 65–76. https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.01.013

Ellabban, O., Abu-Rub, H., y Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39, 748–764. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113

Enerjoin. (2025). ¿Qué es un contrato PPA fotovoltaico de energía solar y para qué sirve? Enerjoin. https://www.enerjoin.com/blog/contrato-ppa-fotovoltaico-energia-solar/

Escamilla-García, P. E., Fernández-Rodríguez, E., Jiménez-Castañeda, M. E., Jiménez-González, C. O., y Morales-Castro, J. A. (2023). A Review of the Progress and Potential of Energy Generation from Renewable Sources in Latin America. Latin American Research Review, 58(2), 383–402. https://doi.org/10.1017/lar.2023.15

Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía – FENOGE. (2023). Informe de gestión 2022-2023. Bogotá: FENOGE. https://www.fenoge.gov.co

Fondo Nacional del Ahorro - FNA (2024). Financiación de Créditos para Vivienda con Energías Renovables. https://www.fna.gov.co/prensa/boletines-de-prensa/financiacion-de-creditos-para-vivienda-con-energias-renovables

Forero Bustamante, S. (2023). Un enfoque sostenible sobre las energías renovables en Colombia. Revista Tecnura, 27(75), 1–15. https://doi.org/10.14483/22487638.21342

Gonzales, L. E., Ito, K., y Reguant, M. (2022). The Dynamic Impact of Market Integration: Evidence from Renewable Energy Expansion in Chile (NBER Working Paper No. 30016). National Bureau of Economic Research. http://www.nber.org/papers/w30016

González Posso, C., y Barney, J. (2019). El viento del este llega con revoluciones: Multinacionales y transición con energía eólica en territorio Wayúu (2.ª ed.). Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz.

Guerrero-Martín, L. M., Guerrero-Martín, R. F., y Camacho-Galindo, D. F. (2024). Evaluación del impacto ambiental de un parque solar fotovoltaico en La Guajira, Colombia. Revista Iberoamericana de Educación y Desarrollo, 33(1), 112–131. https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/ried/article/view/10716

Halawa, E. (2024). Energía sostenible: Concepto y definición en el contexto de la transición energética: una revisión crítica. Sustainability, 16(4), 1523. https://doi.org/10.3390/su16041523

Henao, F., y Dyner, I. (2020). Renewables in the optimal expansion of Colombian power considering the Hidroituango crisis. Renewable Energy, 158, 612-627. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.055

International Energy Agency (IEA). (2021). Financing clean energy transitions in emerging and developing economies. https://www.iea.org/reports/financing-clean-energy-transitions-in-emerging-and-developing-economies

International Energy Agency. (2023), Colombia 2023, IEA Energy Policy Reviews, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/d88e2a06-en

International Energy Agency. (2025). Global Energy Review 2025. IEA. https://www.iea.org/

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). Renewable power generation costs in 2023. IRENA. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2023.pdf

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2026). 24/7 renewables: The economics of firm solar and wind. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2026/May/IRENA_TEC_24-7_renewables_2026.pdf

Khosravi, A., Koury, R. N. N., Machado, L., y Pabon, J. J. G. (2018). Energy, exergy and economic analysis of a hybrid renewable energy with hydrogen storage system. Energy, 148, 1087–1102. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.008

Magadum, S. B., Murgod, S. B., Garg, A., Yadav, A., Mittal, A., y Kushwaha, V. K. (2025). Renewable energy in South America: A sustainable energy projection towards 2050. https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.17771

Mamat, R., Erdiwansyah, Ghazali, M. F., Rosdi, S. M., Syafrizal, y Bahagia. (2025). Strategic framework for overcoming barriers in renewable energy transition: A multi-dimensional review. Next Energy, 9. https://doi.org/10.1016/j.nxener.2025.100414

Marques Lameirinhas, R. A., Torres, J. P. N., y de Melo Cunha, J. P. (2022). A Photovoltaic Technology Review: History, Fundamentals and Applications. Energies, 15(5), 1823. https://doi.org/10.3390/en15051823

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Contribución Determinada a Nivel Nacional actualizada de Colombia (NDC). Gobierno de Colombia. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/informe-actualizacion-contribucion-determinada-Colombia-ndc-2020.pdf

Ministerio de Industria, Energía y Minería. (2025). Política Energética. Uruguay https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/2025-06/Política%20Energética%202005-2030.pdf

Ministro de Minas y Energía. (2016). Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética PAI PROURE 2017–2022. https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2021). Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía – PROURE. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_Consulta_PAI_PROURE_IJ.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2025). Catálogo Tecnológico Colombiano: tecnologías de generación y almacenamiento de energía. Recuperado de https://minenergia.gov.co/documents/13276/Catalogo-Tecnologico-Colombiano-tecnologias-generacion-almacenamiento-energia-ES.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2025). Energía eléctrica con paneles solares en negocios del país: así funciona el programa Colombia Solar para la economía popular. https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/energia-electrica-con-paneles-solares-negocios-pais-asi-funciona-programa-colombia-solar-para-economia-popular/

Ministerio de Minas y Energía. (2024, 2 de febrero). *Resolución 40042 de 2024. Por la cual se establecen lineamientos sobre la modificación de Fecha de Puesta en Operación (FPO) y las Garantías para los proyectos de generación, cogeneración, autogeneración, contratos de suministro de energía a largo plazo y almacenamiento de energía con baterías y se adoptan otras disposiciones*. Gestor Normativo CREG.

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_minminas_40042_2024.htm

Mundaca, L., y Richter, J. L. (2015). Assessing the performance of renewable energy policies in Latin America. Energy Policy, 82, 111–123. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.009

Murcia Baracaldo, C. A., y López Cifuentes, D. (2023). Los conflictos socioambientales derivados de la implementación de proyectos de energía eólica en La Guajira. [Tesis de especialización, Universidad EAN]. Repositorio Institucional Universidad EAN. https://repository.universidadean.edu.co/entities/publication/26d976c1-2dfe-4e03-9437-81317b7c0b2d

Nkinyam, C. M., Ujah, C. O., Asadu, C. O., y Kallon, D. V. V. (2025). Exploring geothermal energy as a sustainable source of energy: A systemic review. Unconventional Resources, 6, 100149. https://doi.org/10.1016/j.uncres.2025.100149

Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Naciones Unidas. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/

Organización de las Naciones Unidas. (2015). El Acuerdo de París. Naciones Unidas. https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement#:~:text=El%20Acuerdo%20es%20un%20tratado,aumentar%C3%A1n%20la%20resiliencia%20al%20clima

Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Recuperado 31 de agosto de 2025, de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/

Organización Latinoamericana de Energía [OLACDE]. (2025, febrero). Panorama energético de América Latina y el Caribe 2024. https://www.olade.org/wp-content/uploads/2025/02/PANORAMA-ENERGETICO-ALC-2024.pdf

Organización Latinoamericana de Energía [OLACDE]. (2024). Panorama energético de América Latina y el Caribe 2024. OLACDE. https://engie-energia.pe/hablemos-de-energia/wp-content/uploads/Panorama-Energetico-de-America-Latina-y-el-Caribe-2024-%E2%80%93-OLADE.pdf

Organización Latinoamericana de Energía [OLACDE]. (2025). Libro blanco del almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe: Estado actual, desafíos y recomendaciones estratégicas (Documento Técnico). https://www.olade.org/wp-content/uploads/2025/10/LIBRO_ESPANOL_FINAL.pdf

Organización Latinoamericana de Energía [OLACDE]. (2025). Vertimientos de energía renovable. OLACDE. https://www.olade.org/publicaciones/dto-2025-010-vertimientos-de-energia-renovable/

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) et al. (2022), Perspectivas económicas de América Latina 2022: Hacia una transición verde y justa, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/f2f0c189-es.

Presidencia de la República de Colombia. (2015). Decreto 1073 de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía. Diario Oficial No. 49.523. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=75811

Presidencia de la República de Colombia. (2015). Decreto 2143 de 2015 por el cual se reglamentan los incentivos tributarios previstos en la Ley 1715 de 2014. Diario Oficial

No. 49.691. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78478

Presidencia de la República de Colombia. (2018). Decreto 570 de 2018 por el cual se establecen lineamientos para la adopción de mecanismos de contratación de largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica. Diario Oficial No. 50.540. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=86027

Presidencia de la República de Colombia. (2024, 22 de noviembre). *Decreto 1403 de 2024. Por el cual se modifica el Decreto 1073 de 2015, en relación con los lineamientos de política energética en materia de autogeneración y producción marginal*. Diario Oficial No. 52.948. Departamento Administrativo de la Función Pública. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=256316

Presidencia de la República de Colombia. (2024, 5 de julio). *Decreto 852 de 2024. Por el cual se modifican los artículos 2.2.2.3.1.1, 2.2.2.3.2.2 y 2.2.2.3.2.3 del Decreto 1076 de 2015, en relación con las competencias para otorgar la licencia ambiental a los proyectos de exploración y uso de fuentes de energía alternativa virtualmente contaminantes y se toman otras determinaciones*. Departamento Administrativo de la Función Pública. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=246236

Presidencia de la República de Colombia. (2023, 22 de diciembre). *Decreto 2236 de 2023. Por el cual se adiciona al Decreto 1073 de 2015 con el fin de reglamentar parcialmente el artículo 235 de la Ley 2294 de 2023 del Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 en lo relacionado con las Comunidades Energéticas en el marco de la Transición Energética Justa en Colombia*. Departamento Administrativo de la Función Pública. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=227230

Presidencia de la República del Perú. (2008, 2 de mayo). *Decreto Legislativo N.º 1002. Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables*. Congreso de la República del Perú. https://www.leyes.congreso.gob.pe/documentos/decretoslegislativos/01002.pdf

Procuraduría General de la Nación. (2024). Colombia y la transición energética: Reflexiones y recomendaciones sobre una transición hecha a la medida de nuestro país. Procuraduría General de la Nación. https://procuraduriagovco-my.sharepoint.com/personal/mjhernandez_procuraduria_gov_co/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fmjhernandez_procuraduria_gov_co%2FDocuments%2FProcuradur%C3%ADa%20General%20de%20la%20Naci%C3%B3n%20-%20Colombia%20y%20la%20Transici%C3%B3n%20Energ%C3%A9tica&ga=1

Rahman, T., Hossain Lipu, M. S., Shovon, M. M. A., Alsaduni, I., Karim, T. F., y Ansari, S. (2025). Unveiling the impacts of climate change on the resilience of renewable energy and power systems: Factors, technological advancements, policies, challenges, and solutions. Journal of Cleaner Production, 493, 144933. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144933

Ramos-Real, F. J., Tovar, B., Iootty, M., y Trujillo-Baute, E. (2015). Electricity regulation and policy in Latin America: Lessons from Brazil, Chile, and Colombia. Energy Policy, 77, 89–100. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.011

Rangel, L., et al. (2024). Policy incentives and cost reductions for renewable energy deployment in Colombia. Energy Policy, 185, 113958. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114300

Reuters. (2025, 7 de julio). Comunidades indígenas bloquean proyectos eólicos en La Guajira por falta de consulta previa. Reuters.

https://www.reuters.com/latam/negocio/P6ALL7W435JUHEKB3D6NMHGZGU-2025-07-07/

Romero Pereira, D. M., y Sánchez Coria, J. A. (2022). Análisis del ciclo de vida de sistemas fotovoltaicos: impactos ambientales y retos de gestión en Colombia. Revista EIA, 19(38), 1–20. https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1570

SeyedShenava, S. S., Zare, P., y Davoudkhani, I. F. (2025). Maximizing solar energy harvesting efficiency: Optimal hybrid deep neural learning-based MPPT for photovoltaic systems under complex partial shading conditions. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 47, 101159. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2025.101159

Silveira, B., Melo dos Santos, M. E., Ferreira Maia, F. J., Basso, A. P., Singh, J. N., y Costa, H. K. D. M. (2024). Incentives for photovoltaic energy generation: A comparative analysis of policies in Spain, Germany, and Brazil. Energy Strategy Reviews, 54, Article 101415. https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101415

Steffen, B., Egli, F., Pahle, M., y Schmidt, T. S. (2025). Global dataset of cost of capital for renewable energy investments. Scientific Data, 12, 245. https://doi.org/10.1038/s41597-025-05912-x

Stringer, T., y Ramírez-Melgarejo, M. (2024). Decarbonization pathways in Latin America: Assessing the economic and policy implications of transitioning to renewable energy sources. Next Energy, 5, 100157. https://doi.org/10.1016/j.nxener.2024.100157

Tolmasquim, M. T., Correia, T. B., Porto, N. A., y Kruger, W. (2021). Electricity market design and renewable energy auctions: The case of Brazil. Energy Policy, 158, 112558. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112558

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2016). Resolución 045 de 2016 por la cual se establece el procedimiento para la certificación de proyectos de Fuentes No

Convencionales de Energía Renovable (FNCER) y de Gestión Eficiente de la Energía. https://www.upme.gov.co

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2016). Resolución 143 de 2016 por la cual se modifican disposiciones de la Resolución UPME 045 de 2016. https://www.upme.gov.co

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2020). Hoja de ruta de la transición energética. UPME. https://www1.upme.gov.co

Unidad de Planeación Minero-Energética. (anual). Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión. UPME. https://www1.upme.gov.co/siel/Pages/Planes-expansion-generacion-transmision.aspx

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2020). Resolución 447 de 2020 por la cual se actualiza el procedimiento de certificación de proyectos FNCER y GEE. https://www.upme.gov.co

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2021). Resolución 463 de 2021 por la cual se armoniza el procedimiento de certificación de proyectos FNCER con la Ley 2099 de 2021. https://www.upme.gov.co

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2021). Plan Energético Nacional – PEN 2020-2050. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Doc/PEN-UPME-2020-2050.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2024). Plan indicativo de expansión de la generación 2023-2037. Recuperado de https://www1.upme.gov.co/siel/Plan_expansin_generacion_transmision/Plan_indicativo_expansion_de_la_generacion_actu_2023_2037.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética. (2025). Capacidad de generación en Colombia [Visualización de datos]. UPME.

https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTQzMDFjZjUtM2I0Yy00OTMyLWFjNmItMDU4OGZlNmMzMDhhIiwidCI6IjMzZWYwNmM5LTBiNjMtNDg3MC1hNTY1LWIzYzc5NWIxNmE1MyIsImMiOjR9

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2025). Resiliencia energética: Acciones para la entrada en operación de proyectos de generación de FNCER [Estrategia 6GW]. Ministerio de Minas y Energía.

Unidad de Planeación Minero Energética. (s. f.). Plan de Indicativo de Expansión de la Generación. UPME. https://www.upme.gov.co/simec/planeacion-energetica/plan-de-expansion-de-la-generacion/

Universidad Americana de Europa. (s.f.). Energía geotérmica: una solución sostenible para el futuro energético. UNADE. https://unade.edu.mx/energia-geotermica-una-solucion-sostenible-para-el-futuro-energetico/

Velásquez-Muñoz, C. J., y Redondo-Moscote, N. M. (2023). Análisis sobre las barreras sociales y jurídicas que limitan la consolidación de las fuentes de energía no convencionales en La Guajira (Colombia). Revista Iberoamericana de Estudios de Desarrollo, 12(1), 102–124.

Viscidi, L., y Yépez-García, A. (2020). Clean Energy Auctions in Latin America. https://doi.org/10.18235/0002133

World Economic Forum. (2025). Fostering effective energy transition 2025. World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2025.pdf

XM (s. f.). Capacidad efectiva neta del Sistema Interconectado Nacional por tipo de fuente y despacho. Sinergox. Recuperado el 27 de febrero de 2026, de https://sinergox.xm.com.co/oferta/Paginas/Informes/CapacidadEfectiva.aspx

XM (s. f.). Generación real del Sistema Interconectado Nacional. Sinergox. Recuperado el 25 de febrero de 2026, de https://sinergox.xm.com.co/oferta/Paginas/Informes/GeneracionSIN.aspx

XM. (2025). Informe Nivel de Contratación con FNCER. Recuperado de https://sinergox.xm.com.co/infms/FNCER/Paginas/NivelContratacionAgente.aspx

XM (2025). Reporte integral de sostenibilidad, operación y mercado 2024. Recuperado de https://online.fliphtml5.com/aatse/xiuu/#p=1

Anexos

Anexo 1: Plan de acción detallado para la creación de agencia nacional de proyecto FNCER

Objetivo: Centralizar y agilizar los procesos regulatorios, técnicos, ambientales y sociales asociados a proyectos FNCER.

E1. Actividad 1: Diseño y propuesta institucional y normativa de la Agencia Nacional FNCER.

Con el fin de materializar la creación de la Agencia Nacional FNCER, se propone el diseño de un modelo institucional que defina su estructura organizacional, funciones, mecanismos de coordinación interinstitucional e instrumentos normativos requeridos para su creación y operación.

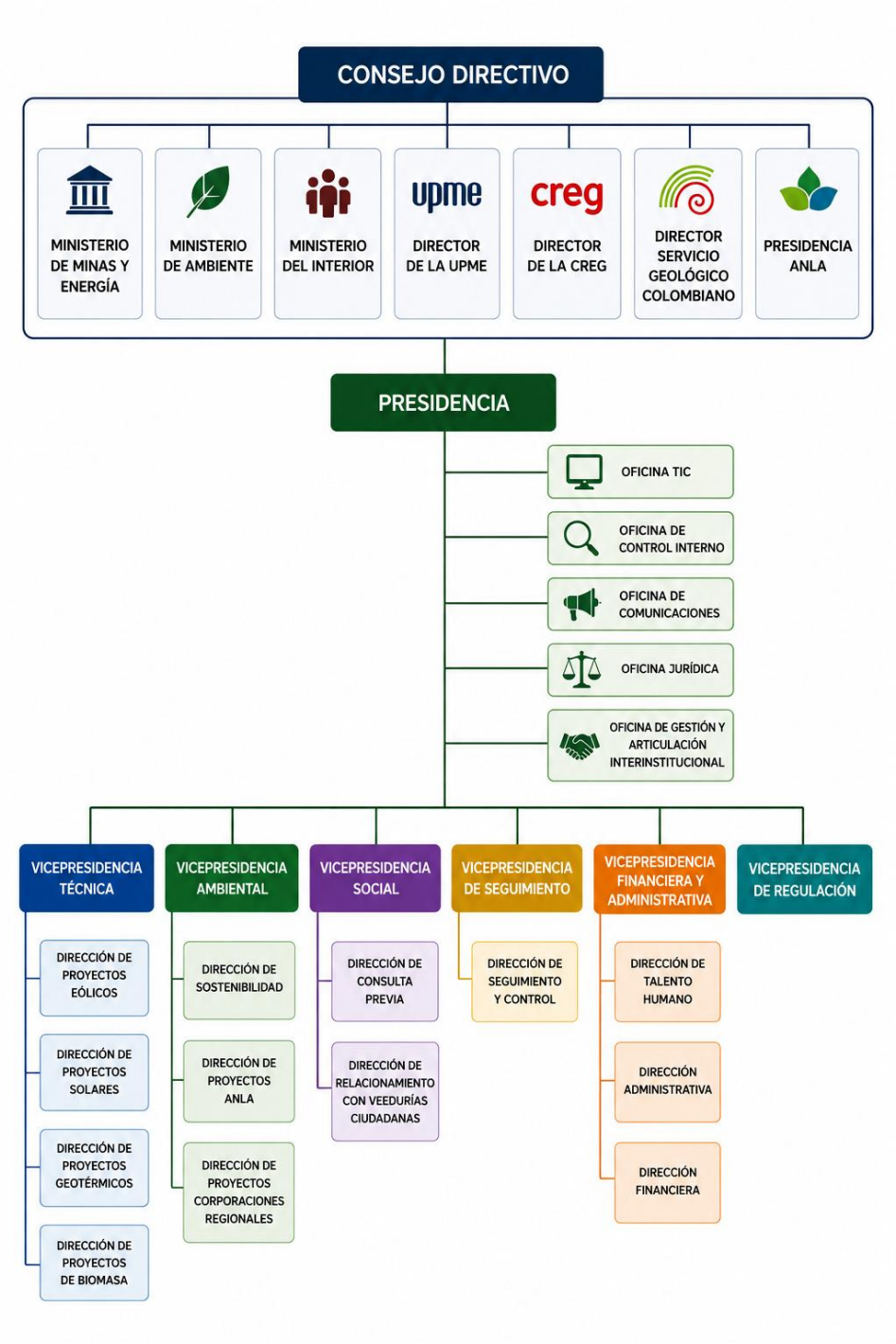
E1.A1.1. Propuesta de modelo institucional

La Agencia Nacional FNCER se concibe como una entidad especializada encargada de coordinar, facilitar y agilizar el desarrollo de proyectos FNCER en Colombia. Su diseño institucional busca fortalecer la articulación entre las entidades del sector energético, ambiental y territorial, reducir los tiempos asociados a trámites y licenciamientos, y brindar acompañamiento integral durante el ciclo de vida de los proyectos.

La estructura organizacional propuesta contempla un Consejo Directivo como máxima instancia de gobernanza institucional, una Presidencia encargada de la dirección general de la entidad y un conjunto de vicepresidencias especializadas que atienden los componentes técnicos, ambientales, sociales, regulatorios, administrativos y de seguimiento de los proyectos FNCER.

La Figura A1.1 presenta el organigrama propuesto para la Agencia Nacional FNCER.

Figura A1.1. *Propuesta de la estructura organizacional de la Agencia Nacional FNCER.*



Nota. Figura elaborada mediante inteligencia artificial con ChatGPT, utilizando instrucciones definidas por el autor.

E1.A1.2. Dependencias estratégicas y funciones generales

La Agencia Nacional de Proyectos FNCER estaría conformada por un Consejo Directivo como máxima instancia de gobernanza institucional, integrado por representantes de las principales entidades del sector energético, ambiental y social. Su función principal sería definir las políticas, lineamientos y prioridades institucionales, garantizar la articulación interinstitucional y realizar seguimiento al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la entidad.

La Presidencia sería la responsable de la dirección general de la Agencia, ejerciendo la representación institucional y coordinando la ejecución de las políticas definidas por el Consejo Directivo.

La Presidencia contaría con cinco dependencias de apoyo encargadas de fortalecer la gestión transversal de la entidad:

- Oficina TIC: responsable de la transformación digital, administración de sistemas de información e interoperabilidad tecnológica.
- Oficina de Control Interno: encargada de la evaluación de procesos, gestión de riesgos y fortalecimiento del sistema de control institucional.
- Oficina de Comunicaciones: responsable de la estrategia de comunicación institucional, divulgación de información y relacionamiento con grupos de interés.
- Oficina Jurídica: encargada de brindar soporte legal, contractual y regulatorio a la Agencia.
- Oficina de Gestión y Articulación Interinstitucional: responsable de coordinar la interacción entre la Agencia y las entidades nacionales, regionales y territoriales involucradas en el desarrollo de proyectos FNCER.

La Vicepresidencia Técnica tendría la responsabilidad de coordinar la evaluación, seguimiento y acompañamiento de los proyectos FNCER en sus diferentes tecnologías.

Para ello contaría con direcciones especializadas en proyectos eólicos, solares, geotérmicos y de biomasa, encargadas de brindar apoyo técnico, identificar barreras de implementación y promover la estandarización de requisitos para el desarrollo de proyectos.

La Vicepresidencia Ambiental sería la encargada de articular los procesos relacionados con licenciamiento y sostenibilidad ambiental de los proyectos. Estaría conformada por una Dirección de Sostenibilidad, responsable de promover buenas prácticas ambientales; una Dirección de Proyectos ANLA, orientada a coordinar los trámites asociados a licencias ambientales de competencia nacional; y una Dirección de Proyectos con Corporaciones Autónomas Regionales, encargada de facilitar la gestión de permisos y autorizaciones ambientales de carácter regional.

La Vicepresidencia Social tendría como función liderar la gestión social y territorial de los proyectos FNCER, promoviendo la participación ciudadana, la inclusión social y la prevención de conflictos con comunidades. Estaría integrada por una Dirección de Consulta Previa, encargada de coordinar los procesos con las comunidades del área de influencia, y una Dirección de Relacionamiento con Veedurías Ciudadanas, responsable de fortalecer los mecanismos de participación, transparencia y control social.

La Vicepresidencia de Seguimiento sería responsable de monitorear el avance de los proyectos estratégicos, identificar cuellos de botella en su ejecución y coordinar acciones correctivas con las entidades competentes. A través de la Dirección de Seguimiento y Control, realizaría el monitoreo permanente de indicadores, cronogramas y compromisos institucionales asociados al desarrollo de proyectos FNCER.

La Vicepresidencia Financiera y Administrativa tendría a su cargo la gestión de los recursos humanos, financieros y administrativos de la entidad, garantizando su sostenibilidad operativa. Estaría conformada por las Direcciones de Talento Humano,

Administrativa y Financiera, responsables de la gestión del personal, los recursos físicos y la ejecución presupuestal de la Agencia.

La Vicepresidencia de Regulación tendría como función analizar, proponer y coordinar instrumentos regulatorios orientados a facilitar la implementación de proyectos FNCER, promover la estabilidad normativa del sector y apoyar la formulación de mecanismos que reduzcan barreras regulatorias y fomenten la inversión en energías renovables.

E1.A1.3. Instrumentos normativos requeridos para la creación y operación de la Agencia Nacional FNCER

La implementación del modelo institucional propuesto requeriría la adopción de un conjunto de instrumentos normativos orientados a formalizar la creación de la entidad y garantizar su funcionamiento.

En primer lugar, se requeriría la expedición de una ley o decreto con fuerza de ley que establezca la creación de la Agencia Nacional FNCER, defina su naturaleza jurídica, objeto, funciones, patrimonio y esquema de gobernanza.

Posteriormente, sería necesario expedir un decreto reglamentario que defina la estructura organizacional, las competencias de sus dependencias, el régimen de funcionamiento interno y los mecanismos de articulación con entidades como la UPME, la CREG, la ANLA, los operadores de red y las autoridades territoriales.

Adicionalmente, la Agencia debería desarrollar resoluciones y lineamientos técnicos que estandaricen los procedimientos asociados al desarrollo de proyectos FNCER, incluyendo procesos de licenciamiento, gestión de permisos, asignación de puntos de conexión, seguimiento de proyectos y relacionamiento comunitario. Asimismo, se propone la elaboración de una Guía Metodológica Nacional para Proyectos FNCER, la cual serviría como instrumento de referencia para orientar a los promotores de proyectos en cada una de las etapas del ciclo de vida de las iniciativas renovables.

Finalmente, se requeriría la adopción de protocolos de coordinación interinstitucional, mecanismos de gestión acelerada para proyectos estratégicos (*fast-track*) y procedimientos de participación ciudadana y consulta previa temprana, con el propósito de fortalecer la seguridad jurídica, reducir los tiempos administrativos y mejorar la articulación entre los diferentes actores involucrados en la transición energética del país.

E1. Actividad 2: Asignar delegados de las entidades nacionales y territoriales para la creación de sus oficinas respectivas al interior de la Agencia.

Con el propósito de garantizar una adecuada articulación institucional y facilitar la coordinación de los procesos asociados al desarrollo de proyectos FNCER, se propone que las entidades nacionales y territoriales con competencias en materia energética, ambiental, regulatoria y social designen delegados permanentes para integrar las dependencias correspondientes al interior de la Agencia Nacional FNCER.

E1.A2.1. Designación de delegados institucionales

Las entidades participantes, entre ellas la UPME, la CREG, la ANLA, las Corporaciones Autónomas Regionales, el Ministerio del Interior y demás organismos con competencias relacionadas con el desarrollo de proyectos FNCER, deberán designar representantes permanentes de nivel directivo o asesor con capacidad de articulación y conocimiento técnico especializado. Estos delegados actuarán como enlace entre la Agencia y las entidades de origen, facilitando la coordinación de actuaciones, la gestión de trámites y la toma de decisiones asociadas a los proyectos estratégicos.

E1.A2.2. Criterios de selección

Con el fin de garantizar la idoneidad de los delegados, se propone que los funcionarios designados cumplan criterios mínimos relacionados con formación académica, experiencia profesional y competencias institucionales. Entre los principales criterios se incluyen una experiencia mínima de cinco años en áreas relacionadas con la

función de la entidad representada, conocimiento de proyectos FNCER y de los procesos de planeación, regulación, licenciamiento o gestión social, así como capacidades de liderazgo, coordinación interinstitucional y toma de decisiones.

E1.A2.3. Funciones y responsabilidades

Los delegados serán responsables de representar técnicamente a sus respectivas entidades ante la Agencia Nacional FNCER, participar en los procesos de evaluación y seguimiento de proyectos, emitir conceptos técnicos, ambientales o sociales dentro de los plazos establecidos y coordinar los trámites internos requeridos para la obtención de permisos, autorizaciones o pronunciamientos institucionales.

Adicionalmente, deberán garantizar el intercambio oportuno de información entre la Agencia y las entidades representadas, participar en mesas técnicas de seguimiento y contribuir a la identificación y resolución de barreras que puedan afectar el desarrollo de los proyectos. Para el cumplimiento de estas funciones, se propone que cuenten con facultades suficientes para validar requerimientos técnicos, coordinar actuaciones internas y emitir conceptos preliminares dentro de su ámbito de competencia.

E1.A2.4. Mecanismos de coordinación institucional

Con el fin de fortalecer la articulación entre la Agencia y las entidades participantes, se propone la implementación de mecanismos formales de coordinación institucional. Estos mecanismos incluirán reuniones periódicas de seguimiento, mesas técnicas temáticas, protocolos estandarizados para el intercambio de información y sistemas compartidos para la gestión documental y el seguimiento de proyectos. Lo anterior permitirá mejorar la trazabilidad de los procesos, reducir tiempos de respuesta y fortalecer la transparencia en la gestión institucional.

E1. Actividad 3: Diseñar protocolos unificados de carácter técnico, ambiental y social.

Con el propósito de fortalecer la coordinación institucional y agilizar los procesos asociados al desarrollo de proyectos FNCER, se propone el diseño de protocolos unificados que establezcan criterios, requisitos y lineamientos comunes para la evaluación, gestión y aprobación de proyectos. Estos instrumentos servirán como marco de referencia para las entidades involucradas y para los promotores de proyectos, promoviendo mayor uniformidad en los procedimientos y reduciendo las barreras derivadas de la dispersión de criterios institucionales.

E1.A3.1. Estructuración de los protocolos unificados

La actividad contempla la elaboración de procedimientos estandarizados que integren los aspectos técnicos, ambientales y sociales actualmente evaluados por diferentes entidades del Estado. Los protocolos deberán definir de manera clara los requisitos documentales, criterios de evaluación, responsabilidades institucionales, plazos de respuesta y mecanismos de seguimiento aplicables a cada etapa del desarrollo de los proyectos FNCER.

La estandarización de estos procedimientos permitirá consolidar una ruta común para la gestión de trámites, facilitando la interacción entre los promotores de proyectos y las entidades competentes, así como la articulación entre los diferentes actores involucrados en los procesos de evaluación y aprobación.

E1.A3.2. Componentes de los protocolos

Los protocolos deberán incorporar lineamientos específicos para la revisión de requisitos técnicos relacionados con la conexión al sistema eléctrico, planeación energética y cumplimiento normativo; aspectos ambientales asociados a licenciamientos, permisos y medidas de manejo ambiental; y componentes sociales relacionados con participación ciudadana, consulta previa, gestión territorial y relacionamiento comunitario.

Asimismo, deberán establecer mecanismos para el intercambio de información entre entidades, procedimientos de validación documental y criterios homogéneos para la emisión de conceptos técnicos, ambientales y sociales.

E1.A3.3. Beneficios esperados

La implementación de protocolos unificados permitirá reducir inconsistencias en la interpretación de requisitos, disminuir reprocesos administrativos y optimizar los tiempos de respuesta durante las diferentes fases de evaluación de los proyectos. De igual manera, proporcionará mayor seguridad jurídica y predictibilidad a los promotores de proyectos FNCER, facilitando la planeación y ejecución de las iniciativas.

Adicionalmente, estos instrumentos contribuirán a fortalecer la transparencia institucional, mejorar la coordinación entre entidades y promover una gestión más eficiente de los trámites asociados a la transición energética del país.

E1. Actividad 4: Diseñar e implementar una guía metodológica para promotores FNCER para la presentación de proyectos ante la agencia.

Con el propósito de facilitar la interacción entre los promotores de proyectos y la Agencia Nacional FNCER, se propone el diseño e implementación de una guía metodológica que consolide de manera clara y estructurada los procedimientos, requisitos y lineamientos aplicables para la presentación, evaluación y seguimiento de proyectos FNCER en Colombia.

E1.A4.1. Estructuración de la guía metodológica

La guía metodológica se concibe como una herramienta práctica de consulta dirigida a promotores, inversionistas y demás actores interesados en la formulación e implementación de proyectos FNCER. Su objetivo será proporcionar información clara, actualizada y accesible sobre los trámites, permisos, requisitos técnicos, ambientales y

sociales que deben cumplirse durante las diferentes etapas del ciclo de vida de los proyectos.

Para ello, la guía deberá integrar la información proveniente de las entidades con competencias en materia energética, ambiental, territorial y social, permitiendo consolidar una ruta única de gestión para los usuarios de la Agencia.

E1.A4.2. Contenido de la guía metodológica

La guía deberá incluir la descripción detallada de los procedimientos para la presentación de proyectos ante la Agencia, los requisitos documentales exigidos, los estudios técnicos y ambientales requeridos, los procesos de consulta previa y participación ciudadana aplicables, así como los lineamientos regulatorios y normativos que rigen el desarrollo de proyectos FNCER.

Asimismo, se propone incorporar diagramas de flujo, formatos de referencia, listas de verificación, cronogramas orientativos y recomendaciones técnicas que faciliten la preparación de la documentación y reduzcan errores durante los procesos de radicación y evaluación.

E1.A4.3. Implementación y divulgación

Una vez elaborada, la guía deberá ponerse a disposición de los usuarios a través de plataformas digitales administradas por la Agencia Nacional FNCER y difundirse mediante jornadas de capacitación, talleres informativos y espacios de socialización con promotores, entidades territoriales, comunidades y demás grupos de interés.

La actualización periódica de este instrumento permitirá incorporar cambios regulatorios, ajustes procedimentales y lecciones aprendidas derivadas de la implementación de proyectos, garantizando su vigencia y utilidad como herramienta de apoyo para el sector.

E1.A4.4. Beneficios esperados

La implementación de la guía metodológica contribuirá a mejorar la calidad de los proyectos presentados ante la Agencia, fortalecer el cumplimiento de los requisitos establecidos y reducir inconsistencias en la información suministrada por los promotores. De igual manera, permitirá disminuir reprocesos administrativos, optimizar los tiempos de evaluación y generar mayor transparencia y predictibilidad en los procesos asociados al desarrollo de proyectos FNCER.

Adicionalmente, este instrumento facilitará la apropiación de los procedimientos por parte de los promotores y promoverá una relación más eficiente entre los usuarios y las entidades involucradas en la transición energética.

E1. Actividad 5: Creación de la ventanilla única virtual para radicación, registro y seguimiento de proyectos.

Con el propósito de centralizar la gestión de trámites y fortalecer la articulación institucional en el desarrollo de proyectos FNCER, se propone la creación de una ventanilla única virtual que permita a los promotores realizar la radicación, registro y seguimiento de sus proyectos a través de una plataforma digital integrada. Esta herramienta facilitará la interacción entre los promotores y las entidades involucradas en los procesos de evaluación y aprobación, promoviendo una gestión más eficiente y transparente.

E1.A5.1. Diseño de la ventanilla única virtual

La ventanilla única virtual se concibe como una plataforma tecnológica centralizada que permitirá consolidar en un único entorno digital los procedimientos asociados a la presentación y gestión de proyectos FNCER. A través de esta herramienta, los promotores podrán registrar sus iniciativas, cargar la documentación requerida, consultar requisitos aplicables y realizar seguimiento al estado de los trámites durante las diferentes etapas del proyecto.

La plataforma deberá integrarse con los sistemas de información de las entidades participantes, facilitando el intercambio de información y reduciendo la necesidad de realizar múltiples trámites ante diferentes organismos.

E1.A5.2. Componentes y funcionalidades

La ventanilla única deberá incorporar módulos específicos para la radicación de proyectos, gestión documental, seguimiento de trámites, notificaciones automáticas y consulta de información. Asimismo, permitirá a las entidades competentes revisar documentación, emitir conceptos, formular requerimientos y registrar decisiones dentro de un entorno digital común.

Entre sus funcionalidades principales se incluyen la consulta en tiempo real del estado de los trámites, la generación de alertas sobre plazos y requerimientos pendientes, la trazabilidad completa de las actuaciones realizadas por cada entidad y la generación de reportes para la toma de decisiones y el seguimiento institucional.

Adicionalmente, la plataforma deberá garantizar altos estándares de seguridad de la información, interoperabilidad tecnológica y accesibilidad para los diferentes usuarios del sistema.

E1.A5.3. Beneficios esperados

La implementación de la ventanilla única virtual contribuirá a simplificar los procesos administrativos asociados al desarrollo de proyectos FNCER, reduciendo la duplicidad de trámites y mejorando la coordinación entre las entidades involucradas. Asimismo, permitirá incrementar la transparencia de los procesos, brindar mayor certeza a los promotores respecto al estado de sus solicitudes y optimizar los tiempos de respuesta durante las etapas de evaluación y aprobación.

De igual manera, la herramienta fortalecerá la trazabilidad de los procedimientos, facilitará el seguimiento de indicadores de gestión y promoverá una administración más eficiente de los proyectos estratégicos para la transición energética del país.

Anexo 2: Plan de acción detallado de los lineamientos para la incorporación de sistemas BESS en proyectos FNCER

Objetivo: Establecer los lineamientos técnicos y regulatorios necesarios para la incorporación gradual de sistemas BESS en proyectos FNCER.

E2. Actividad 1: Caracterizar los vertimientos de energía de los generadores FNCER y realizar un análisis técnico-regulatorio sobre sistemas BESS.

Con el fin de respaldar la incorporación gradual de sistemas BESS en proyectos FNCER, se desarrollará la información técnica y regulatoria necesaria para la toma de decisiones y la formulación de disposiciones regulatorias en Colombia. Para ello, se plantea caracterizar los vertimientos de energía de los generadores FNCER y analizar las condiciones técnicas y regulatorias que permitan establecer criterios para la implementación de esta tecnología como mecanismo para optimizar el aprovechamiento de la generación FNCER.

E2.A1.1. Caracterización de los vertimientos de energía de los generadores FNCER

En una primera etapa, se desarrollará una metodología orientada a la identificación, recopilación, procesamiento y consolidación de la información relacionada con los vertimientos de energía de los generadores FNCER conectados al SIN, priorizando aquellos proyectos cuya generación presenta características de variabilidad e intermitencia, particularmente las tecnologías solares fotovoltaicas y eólicas. Esta metodología deberá establecer criterios homogéneos para el cálculo de la energía no aprovechada debido a restricciones operativas, limitaciones de la red de transmisión o distribución, congestiones del sistema, indisponibilidad de infraestructura o condiciones propias del despacho eléctrico.

La caracterización deberá apoyarse en la información suministrada por XM, los operadores de red, los agentes generadores y demás entidades competentes,

permitiendo construir una base de datos nacional que evidencie la magnitud de los vertimientos, su evolución temporal y su distribución geográfica.

E2.A1.2. Análisis técnico-regulatorio para la incorporación de sistemas BESS

De manera paralela, se realizará un análisis técnico-regulatorio orientado a evaluar la viabilidad de incorporar sistemas BESS como herramienta para reducir los vertimientos y mejorar la integración de las FNCER al sistema eléctrico colombiano. Este análisis comprenderá la revisión de la normativa vigente relacionada con conexión, operación, participación en el mercado y remuneración de sistemas de almacenamiento, así como la identificación de vacíos regulatorios que limiten su desarrollo.

Adicionalmente, se estudiarán experiencias latinoamericanas en materia de almacenamiento energético, con especial énfasis en los mecanismos implementados, para incentivar la incorporación de sistemas BESS y en los criterios utilizados para establecer obligaciones o requisitos mínimos de almacenamiento. Este ejercicio permitirá identificar buenas prácticas susceptibles de adaptación al contexto colombiano y servirá como insumo para el diseño de futuras disposiciones regulatorias.

E2.A1.3. Integración de resultados para la formulación de lineamientos

La información obtenida a partir de la caracterización de los vertimientos y del análisis técnico-regulatorio se consolidará en un diagnóstico nacional, que permita identificar las principales causas de los vertimientos de energía en los generadores FNCER y evaluar el potencial de los sistemas BESS para mitigarlos. Este diagnóstico incluirá indicadores sobre la magnitud y distribución de los vertimientos, las zonas con mayores limitaciones para la integración de generación FNCER, las oportunidades para la implementación de sistemas de almacenamiento y las implicaciones técnicas y económicas de su adopción.

Con base en estos resultados, se establecerán criterios que servirán como fundamento para definir el porcentaje mínimo de almacenamiento aplicable a proyectos

FNCER y para estructurar el marco regulatorio correspondiente. De esta manera, las decisiones adoptadas en las actividades posteriores estarán respaldadas por evidencia técnica, contribuyendo efectivamente a reducir los vertimientos de los generadores FNCER.

E2.A1.4. Beneficios esperados

La ejecución de esta actividad permitirá disponer, por primera vez, de una caracterización sistemática de los vertimientos de energía de los generadores FNCER en Colombia, identificando sus principales causas y cuantificando su impacto sobre el aprovechamiento de la generación FNCER. Asimismo, proporcionará un diagnóstico técnico y regulatorio que respaldará la definición de lineamientos para la incorporación de sistemas BESS, reducirá las pérdidas por vertimientos y mejorará la flexibilidad y confiabilidad del SIN.

E2. Actividad 2: Definir el porcentaje mínimo de almacenamiento BESS para proyectos FNCER

Se contempla establecer un criterio técnico que determine la capacidad mínima de almacenamiento mediante sistemas BESS que deberán incorporar los proyectos FNCER en Colombia, con el fin de reducir los vertimientos de energía, optimizar el aprovechamiento de la generación FNCER y fortalecer la flexibilidad y confiabilidad del SIN. La definición de este porcentaje se fundamentará en los resultados obtenidos durante la caracterización de los vertimientos y el análisis técnico-regulatorio desarrollados en la actividad anterior, garantizando que la medida responda a las necesidades reales del sistema eléctrico colombiano.

E2.A2.1. Determinación de criterios técnicos para establecer el porcentaje mínimo de almacenamiento

La definición del porcentaje mínimo de almacenamiento deberá partir del análisis de la información recopilada sobre los vertimientos de energía de los generadores FNCER, identificando la magnitud de las restricciones existentes y el potencial de los sistemas BESS para mitigar dichas pérdidas. Para ello, se evaluarán variables como la cantidad de energía vertida, los perfiles horarios de generación, la variabilidad de las fuentes FNCER, la capacidad de la red, la ubicación geográfica de los proyectos y las condiciones operativas del sistema eléctrico.

Adicionalmente, se realizarán estudios técnicos que permitan modelar diferentes escenarios de incorporación de almacenamiento, evaluando su impacto sobre la reducción de vertimientos, la estabilidad del sistema, la utilización de la infraestructura existente y la eficiencia económica de los proyectos. Estos análisis permitirán establecer un porcentaje técnicamente justificado y proporcional a las necesidades identificadas, evitando imponer requisitos que generen sobrecostos innecesarios o limiten el desarrollo de nuevas inversiones.

E2.A2.2. Evaluación de experiencias latinoamericanas y adaptación al contexto colombiano

Como complemento al análisis nacional, se revisarán las experiencias regulatorias implementadas en países que han incorporado obligaciones o incentivos para el uso de sistemas BESS en proyectos FNCER, especialmente aquellas desarrolladas en Latinoamérica. Esta revisión permitirá identificar metodologías para el cálculo de capacidades mínimas de almacenamiento, mecanismos de implementación gradual y criterios de flexibilidad aplicados según las características de cada sistema eléctrico.

La información obtenida será adaptada a las condiciones técnicas, regulatorias y económicas de Colombia, considerando las particularidades de su matriz energética, la disponibilidad de infraestructura de transmisión, el crecimiento proyectado de las FNCER

y las necesidades de confiabilidad del sistema. Asimismo, se analizará la conveniencia de establecer porcentajes diferenciados según la tecnología de generación, la capacidad instalada, la ubicación del proyecto o el nivel de congestión de la red, permitiendo una implementación más eficiente y acorde con las características de cada región.

E2.A2.3. Definición de un esquema gradual de implementación

Con base en los estudios realizados, se propondrá un porcentaje mínimo de almacenamiento BESS aplicable a los nuevos proyectos FNCER y, cuando resulte pertinente, a proyectos existentes que sean objeto de ampliaciones o modificaciones sustanciales. La implementación del requisito deberá contemplar un enfoque gradual que permita a los promotores adaptarse progresivamente a las nuevas exigencias regulatorias y facilite el fortalecimiento del mercado nacional de almacenamiento energético.

Igualmente, se definirán criterios para la actualización periódica del porcentaje establecido, de manera que este pueda ajustarse conforme evolucionen las condiciones del sistema eléctrico, disminuyan los costos de las tecnologías de almacenamiento y se incrementen los niveles de penetración de las energías FNCER. Este mecanismo garantizará que la regulación permanezca alineada con las necesidades del sector y con los avances tecnológicos, evitando la obsolescencia de los lineamientos definidos.

E2.A2.4. Beneficios esperados

La definición de un porcentaje mínimo de almacenamiento BESS permitirá establecer un criterio técnico uniforme para la integración gradual de sistemas de almacenamiento en proyectos FNCER, contribuyendo a reducir los vertimientos de energía, mejorar el aprovechamiento de la generación renovable y aumentar la flexibilidad operativa del sistema eléctrico colombiano. Asimismo, proporcionará una base objetiva para la formulación del marco regulatorio correspondiente, ofrecerá mayor certidumbre a los

promotores e inversionistas y favorecerá una planificación más eficiente de la expansión de las FNCER en el país.

E2. Actividad 3: Establecer el marco regulatorio para la implementación de sistemas BESS en proyectos FNCER

Se propone diseñar y adoptar el conjunto de disposiciones técnicas, jurídicas y administrativas que regulen la incorporación de sistemas BESS en proyectos FNCER en Colombia. El marco regulatorio deberá proporcionar seguridad jurídica a los agentes del sector, definir las condiciones para la integración de esta tecnología al SIN y establecer reglas claras que promuevan su implementación de manera gradual, eficiente y acorde con las necesidades de la transición energética.

E2.A3.1. Definición de los lineamientos regulatorios para la incorporación de sistemas BESS

Como punto de partida, se elaborará una propuesta regulatoria que establezca las condiciones bajo las cuales los proyectos FNCER deberán incorporar sistemas BESS, tomando como referencia los resultados obtenidos en la caracterización de vertimientos y en la definición del porcentaje mínimo de almacenamiento. Esta propuesta deberá precisar el ámbito de aplicación de la medida, los tipos de proyectos obligados a cumplir el requisito, las excepciones que puedan existir y los criterios para su implementación progresiva.

Asimismo, el marco regulatorio deberá definir las especificaciones técnicas mínimas aplicables a los sistemas BESS, incluyendo aspectos relacionados con su capacidad de almacenamiento, tiempos de respuesta, condiciones de operación, interoperabilidad con la red eléctrica y estándares de seguridad. Estas disposiciones deberán estar alineadas con la normativa internacional y adaptarse a las condiciones operativas del sistema

eléctrico colombiano, garantizando la confiabilidad y estabilidad de la infraestructura energética.

E2.A3.2. Articulación institucional y actualización normativa

La construcción del marco regulatorio requerirá la participación coordinada de las entidades responsables del sector energético, incluyendo el Ministerio de Minas y Energía, la CREG, la UPME, XM y demás autoridades competentes. Esta articulación permitirá armonizar las nuevas disposiciones con la normativa vigente en materia de planeación, conexión, operación del sistema eléctrico y desarrollo de proyectos FNCER.

De igual manera, será necesario revisar y, cuando corresponda, actualizar las resoluciones y reglamentos existentes para incorporar de manera expresa el papel de los sistemas BESS dentro de la regulación nacional. Esto incluirá aspectos relacionados con los procedimientos de conexión, los requisitos técnicos para su instalación, la participación en el mercado eléctrico, la medición de la energía almacenada e inyectada, así como los mecanismos de supervisión y seguimiento que permitan verificar el cumplimiento de las obligaciones establecidas.

E2.A3.3. Implementación gradual y mecanismos de seguimiento

Con el fin de facilitar la adaptación del sector, el marco regulatorio deberá establecer una implementación gradual que contemple períodos de transición adecuados para los promotores de proyectos FNCER, permitiendo la incorporación progresiva de sistemas BESS sin afectar la viabilidad de las inversiones. Este enfoque favorecerá el fortalecimiento paulatino de la cadena de suministro y del mercado nacional de almacenamiento energético, reduciendo el impacto de las nuevas exigencias regulatorias y promoviendo una adopción ordenada, eficiente y sostenible de esta tecnología en el país.

Adicionalmente, se establecerán mecanismos de monitoreo y evaluación que permitan medir la efectividad de la regulación en términos de reducción de vertimientos, incremento de la capacidad de almacenamiento instalada y mejora en la operación del sistema eléctrico. La recopilación periódica de esta información facilitará la actualización de los lineamientos regulatorios cuando las condiciones tecnológicas, económicas o del mercado así lo requieran, garantizando que la normativa permanezca alineada con la evolución del sector.

E2.A3.4. Beneficios esperados

El establecimiento de un marco regulatorio específico para la implementación de sistemas BESS proporcionará certeza jurídica y técnica a los promotores, inversionistas y entidades del sector, facilitando la incorporación ordenada de soluciones de almacenamiento en proyectos FNCER. Asimismo, permitirá reducir los vertimientos de energía de generadores FNCER, optimizar el aprovechamiento de la infraestructura eléctrica existente y fortalecer la flexibilidad y resiliencia del SIN. En conjunto, estas medidas contribuirán a consolidar un entorno regulatorio que incentive la inversión, promueva la innovación tecnológica y acelere el desarrollo sostenible de las FNCER en Colombia.

E2. Actividad 4: Socializar y divulgar los lineamientos regulatorios sobre sistemas BESS

Esta actividad tiene como propósito garantizar que los diferentes actores del sector energético conozcan, comprendan y adopten adecuadamente los lineamientos regulatorios establecidos para la incorporación de sistemas BESS en proyectos FNCER. La socialización de estos lineamientos permitirá facilitar su implementación, promover el cumplimiento de las nuevas disposiciones y fortalecer la articulación entre las entidades

públicas, los promotores de proyectos, los inversionistas y las comunidades interesadas en la transición energética.

E2.A4.1. Diseño de la estrategia de divulgación y comunicación

Como primera etapa, se elaborará una estrategia de divulgación que defina los objetivos, partes interesadas, canales de comunicación y herramientas pedagógicas para la difusión de los lineamientos regulatorios sobre sistemas BESS. Esta estrategia deberá garantizar que la información sea presentada de manera clara, accesible y adaptada a las necesidades de cada grupo de interés, facilitando su comprensión e implementación.

La divulgación estará dirigida principalmente a promotores de proyectos FNCER, empresas del sector energético, inversionistas, entidades financieras, operadores de red, autoridades ambientales y territoriales, gremios, universidades y centros de investigación. Asimismo, se promoverá el acceso a la información por parte de comunidades y organizaciones sociales interesadas en conocer el papel del almacenamiento energético dentro del proceso de transición energética del país.

E2.A4.2. Implementación de espacios de capacitación y transferencia de conocimiento

Como mecanismo para fortalecer la apropiación de los nuevos lineamientos, se desarrollarán jornadas de capacitación, talleres técnicos, seminarios y mesas de trabajo que permitan explicar el alcance de la regulación y resolver inquietudes relacionadas con la implementación de sistemas BESS. Estos espacios facilitarán el intercambio de experiencias entre entidades gubernamentales, expertos nacionales e internacionales y los diferentes actores del sector eléctrico.

De manera complementaria, se elaborarán guías técnicas, manuales, infografías y material audiovisual que expliquen los principales aspectos regulatorios, los procedimientos para el cumplimiento de las obligaciones establecidas y los beneficios asociados a la incorporación de sistemas de almacenamiento. Estos recursos estarán

disponibles a través de plataformas digitales institucionales y servirán como herramientas permanentes de consulta para promotores y demás interesados.

E2.A4.3. Seguimiento a la apropiación y mejora continua de los lineamientos

La implementación de la estrategia de socialización deberá complementarse con mecanismos que permitan evaluar el nivel de conocimiento y apropiación de los lineamientos regulatorios por parte de los diferentes actores del sector. Para ello, se podrán aplicar encuestas de percepción, registrar la participación en las actividades de capacitación y recopilar observaciones que permitan identificar aspectos susceptibles de mejora en la comunicación o en la aplicación de la normativa.

Adicionalmente, se promoverán espacios permanentes de retroalimentación entre las entidades responsables de la regulación y los agentes del mercado, con el propósito de identificar dificultades durante la implementación, resolver inquietudes y proponer ajustes cuando las condiciones técnicas o regulatorias así lo requieran. Este proceso contribuirá a consolidar una regulación dinámica y adaptable, alineada con la evolución tecnológica de los sistemas BESS y las necesidades del sistema eléctrico colombiano.

E2.A4.4. Beneficios esperados

La socialización y divulgación de los lineamientos regulatorios sobre sistemas BESS permitirán que los diferentes actores involucrados comprendan de manera oportuna las nuevas disposiciones y cuenten con las herramientas necesarias para su adecuada implementación. Asimismo, favorecerá la adopción de buenas prácticas, reducirá la incertidumbre regulatoria y fortalecerá la confianza de inversionistas y promotores en el marco normativo aplicable al almacenamiento energético. En conjunto, estas acciones contribuirán a acelerar la incorporación de sistemas BESS en proyectos FNCER, mejorar el aprovechamiento de la generación FNCER.

Anexo 3: Plan de acción detallado para promover la geotermia como nueva tecnología de FNCER en Colombia

Objetivo: Desarrollar la geotermia como nueva fuente estratégica de generación renovable.

E3. Actividad 1: Priorizar las zonas con mayor potencial geotérmico según su viabilidad técnica, ambiental y social.

Con el propósito de optimizar la asignación de recursos y focalizar los esfuerzos de exploración y desarrollo geotérmico en las áreas con mayores probabilidades de éxito, se propone realizar un proceso de priorización de las zonas con potencial geotérmico en Colombia. Esta actividad permitirá identificar los territorios más adecuados para el desarrollo de proyectos geotérmicos, considerando criterios técnicos, ambientales y sociales que contribuyan a garantizar su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

E3.A1.1. Metodología de priorización

La priorización de zonas geotérmicas se fundamentará en un análisis integral que permita evaluar las condiciones del territorio desde una perspectiva multidimensional. Para ello, se considerará la información técnica disponible sobre el recurso geotérmico, las restricciones ambientales existentes y las condiciones sociales que puedan influir en el desarrollo de los proyectos.

Este enfoque permitirá concentrar los recursos de exploración en áreas estratégicas, reducir los riesgos asociados a las etapas iniciales de desarrollo y fortalecer la toma de decisiones para la planificación de futuros proyectos geotérmicos.

E3.A1.2. Criterios técnicos de priorización

La evaluación técnica se realizará tomando como base las áreas geotérmicas previamente identificadas y caracterizadas por el Servicio Geológico Colombiano. Se analizará el potencial estimado del recurso, las características geológicas del territorio y

el nivel de avance de los estudios existentes, priorizando aquellas zonas donde exista mayor evidencia técnica que respalde la viabilidad del aprovechamiento geotérmico.

Adicionalmente, se considerará la proximidad a la infraestructura eléctrica existente, particularmente subestaciones y redes de transmisión, con el fin de facilitar la conexión de futuras centrales al Sistema Interconectado Nacional. Asimismo, se evaluarán aspectos relacionados con la accesibilidad al sitio, disponibilidad de vías de acceso y condiciones topográficas que puedan influir en los costos de construcción, operación y mantenimiento de los proyectos.

E3.A1.3. Criterios ambientales de priorización

La evaluación ambiental buscará identificar las zonas donde el desarrollo geotérmico pueda realizarse con menores impactos sobre los ecosistemas y los recursos naturales. Para ello, se analizará la presencia de áreas protegidas, páramos, reservas forestales, humedales, corredores biológicos y demás áreas ambientalmente sensibles que puedan representar restricciones para el desarrollo de proyectos.

De igual manera, se evaluará la disponibilidad del recurso hídrico y la existencia de condiciones ambientales o geológicas que puedan representar riesgos para la ejecución de las actividades de exploración y generación geotérmica. Tendrán mayor prioridad aquellas zonas que presenten menores restricciones ambientales y donde las medidas de manejo y mitigación resulten más viables.

E3.A1.4. Criterios sociales de priorización

La evaluación social considerará las condiciones territoriales necesarias para facilitar la implementación de proyectos geotérmicos y promover una adecuada articulación con las comunidades locales. Se analizará la existencia de mecanismos de diálogo territorial, el nivel de aceptación de proyectos energéticos y las experiencias previas de relacionamiento entre comunidades, autoridades y promotores.

Asimismo, se tendrá en cuenta la presencia de comunidades, territorios colectivos y áreas sujetas a procesos de consulta previa, con el fin de identificar de manera anticipada posibles requerimientos sociales y fortalecer los procesos de participación temprana. Adicionalmente, se valorará el potencial de generación de beneficios socioeconómicos para las comunidades, incluyendo oportunidades de empleo, fortalecimiento de capacidades locales y desarrollo de infraestructura regional.

E3. Actividad 2: Promover eventos para el intercambio de conocimientos y experiencias de países en Latinoamérica en el tema de exploración y explotación de la geotermia.

Con el propósito de fortalecer las capacidades técnicas e institucionales necesarias para el desarrollo de la geotermia en Colombia, se propone la realización de espacios de intercambio de conocimientos y experiencias con países de Latinoamérica que cuentan con una trayectoria significativa en la exploración y aprovechamiento de recursos geotérmicos. Esta actividad permitirá conocer buenas prácticas, lecciones aprendidas y modelos exitosos que puedan ser adaptados al contexto colombiano para impulsar el desarrollo de esta fuente de energía renovable.

E3.A2.1. Espacios de intercambio de conocimiento

La actividad contempla la organización de seminarios, talleres, foros técnicos y mesas de trabajo orientados a promover el diálogo entre actores nacionales e internacionales vinculados al sector geotérmico. Estos espacios facilitarán la transferencia de conocimientos especializados, el análisis de experiencias regionales y la discusión de estrategias que contribuyan a reducir las barreras técnicas, regulatorias, socioambientales y financieras que actualmente limitan el desarrollo de la geotermia en Colombia.

Asimismo, se promoverá la generación de redes de cooperación y el fortalecimiento de vínculos institucionales que permitan facilitar futuras iniciativas conjuntas de investigación, exploración y desarrollo de proyectos geotérmicos.

E3.A2.2. Temáticas estratégicas

Los eventos abordarán aspectos clave para el desarrollo de la geotermia, incluyendo metodologías de exploración geológica, evaluación y caracterización de recursos geotérmicos, modelos regulatorios y de licenciamiento, esquemas de financiamiento para las etapas de exploración y explotación, gestión de riesgos técnicos y económicos, relacionamiento con comunidades, manejo ambiental de proyectos geotérmicos y experiencias exitosas de integración de esta tecnología en las matrices energéticas nacionales.

La discusión de estas temáticas permitirá identificar oportunidades de mejora para el marco institucional colombiano y generar insumos técnicos para futuras iniciativas de desarrollo geotérmico en el país.

E3.A2.3. Actores participantes

Se propone la participación de entidades del sector energético colombiano, incluyendo el Ministerio de Minas y Energía, la UPME, la CREG, el Servicio Geológico Colombiano, la ANLA, empresas del sector energético, universidades y centros de investigación.

De igual manera, se promoverá la participación de entidades gubernamentales, instituciones académicas, empresas especializadas y organismos multilaterales provenientes de países latinoamericanos con experiencia en el desarrollo geotérmico, con el fin de facilitar el intercambio de experiencias y fortalecer la cooperación regional.

E3.A2.4. Beneficios esperados

La realización de estos espacios contribuirá al fortalecimiento de las capacidades técnicas e institucionales de los actores involucrados en el desarrollo geotérmico en

Colombia, favoreciendo la apropiación de conocimientos especializados y la adopción de buenas prácticas internacionales.

Asimismo, permitirá generar insumos para la formulación de lineamientos técnicos, regulatorios, ambientales y sociales adaptados a las condiciones del país, al tiempo que promoverá la consolidación de alianzas estratégicas y mecanismos de cooperación regional para futuras iniciativas de exploración y aprovechamiento del recurso geotérmico.

E3. Actividad 3: Incentivar proyectos piloto de exploración.

Con el propósito de reducir las barreras técnicas y financieras asociadas a las etapas iniciales de desarrollo geotérmico, se propone implementar mecanismos de incentivo que promuevan la ejecución de proyectos piloto de exploración en las zonas priorizadas del país. Esta actividad busca generar información técnica que permita validar el potencial del recurso geotérmico, reducir la incertidumbre de los inversionistas y sentar las bases para el desarrollo futuro de proyectos comerciales.

E3.A3.1. Mecanismos de incentivo para la exploración geotérmica

La exploración geotérmica constituye una de las etapas de mayor riesgo dentro del ciclo de desarrollo de los proyectos, debido a la incertidumbre asociada a la identificación y caracterización del recurso. En este contexto, se propone implementar instrumentos que faciliten la participación del sector público, privado y académico en actividades de exploración y generación de conocimiento sobre el potencial geotérmico nacional.

Estos mecanismos permitirán disminuir las barreras de entrada para nuevos actores y fomentar la ejecución de iniciativas que contribuyan a ampliar la información disponible sobre las áreas geotérmicas con mayor potencial de aprovechamiento.

E3.A3.2. Instrumentos de apoyo financiero y técnico

La actividad contempla la implementación de esquemas de cofinanciación para estudios de exploración geológica, geofísica y geoquímica, orientados a fortalecer la caracterización de las zonas priorizadas. Asimismo, se propone la realización de convocatorias para proyectos piloto financiados con recursos públicos, dirigidas a promover el desarrollo de iniciativas de exploración en áreas estratégicas para el país.

De igual manera, se plantea la adopción de mecanismos de apoyo financiero que permitan reducir el riesgo asumido por los inversionistas durante las etapas iniciales de exploración, especialmente en aquellos casos donde los resultados obtenidos no permitan avanzar hacia fases posteriores de desarrollo. Estos instrumentos contribuirán a incentivar la inversión y facilitar la participación de nuevos actores en el sector geotérmico.

E3.A3.3. Cooperación técnica y fortalecimiento de capacidades

Con el fin de aprovechar la experiencia acumulada en otros países de Latinoamérica, se promoverán convenios de cooperación técnica con gobiernos, instituciones especializadas, centros de investigación y empresas con trayectoria en el desarrollo de proyectos geotérmicos. Estas alianzas facilitarán la transferencia de conocimiento, el intercambio de buenas prácticas y el fortalecimiento de las capacidades técnicas nacionales en materia de exploración y aprovechamiento geotérmico.

Asimismo, la cooperación regional contribuirá a mejorar los procesos de planificación, evaluación y gestión de riesgos asociados a esta tecnología, fortaleciendo las capacidades institucionales necesarias para impulsar su desarrollo en Colombia.

E3.A3.4. Beneficios esperados

La implementación de proyectos piloto de exploración permitirá generar información técnica de mayor detalle sobre las áreas geotérmicas priorizadas, reduciendo la

incertidumbre asociada al recurso y facilitando la toma de decisiones para futuras inversiones.

Adicionalmente, contribuirá al fortalecimiento de las capacidades institucionales y técnicas del país, promoverá la participación de nuevos actores en el sector y generará experiencias prácticas que servirán como referencia para el desarrollo de proyectos geotérmicos a escala comercial.

Anexo 4: Plan de acción detallado para el fortalecimiento de la bancabilidad nacional

Objetivo: Promover la creación de una entidad financiera mixta especializada en la financiación de proyectos FNCER.

E4. Actividad 1: Buscar la participación de entidades que permitan fortalecer el músculo financiero, la capacidad técnica y autonomía para ofrecer soluciones de asesoría y financiación a proyectos FNCER.

Con el propósito de consolidar una entidad financiera mixta con capacidad para atender las necesidades de financiación del sector de las FNCER, se propone gestionar la vinculación de organismos multilaterales, bancos de desarrollo y entidades financieras internacionales con experiencia en la estructuración y financiación de proyectos energéticos. Esta actividad busca fortalecer la capacidad financiera, técnica e institucional de la entidad, facilitando la movilización de recursos y el desarrollo de instrumentos especializados para el sector.

E4.A1.1. Vinculación de entidades estratégicas

La estrategia contempla la participación de instituciones con amplia trayectoria en el financiamiento de proyectos de infraestructura y energías renovables, tales como la Corporación Andina de Fomento (CAF), la Corporación Financiera Internacional (IFC), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Sumitomo Mitsui Banking Corporation (SMBC), el Banco Europeo de Inversiones (BEI) y otras entidades interesadas en apoyar la transición energética de Colombia.

La incorporación de estos actores permitirá fortalecer la capacidad financiera de la entidad mediante la disponibilidad de recursos de crédito, líneas de financiamiento especializadas y mecanismos de apoyo orientados a facilitar el acceso al capital para proyectos FNCER.

E4.A1.2. Aportes financieros y asistencia técnica

Además de los recursos financieros, las entidades participantes podrán aportar conocimiento especializado en la estructuración financiera de proyectos, evaluación y gestión de riesgos, diseño de instrumentos de garantía, mecanismos de mitigación de riesgos y esquemas innovadores de financiación adaptados a las características del sector energético.

Asimismo, podrán brindar asistencia técnica para el diseño de productos financieros orientados a las diferentes etapas del ciclo de vida de los proyectos FNCER, incluyendo fases de exploración, construcción, operación y expansión. Este acompañamiento contribuirá a fortalecer las capacidades de análisis y gestión de la futura entidad financiera mixta.

E4.A1.3. Fortalecimiento institucional y atracción de inversión

La participación de organismos multilaterales y bancos de desarrollo internacionales contribuirá a fortalecer la credibilidad institucional de la entidad financiera propuesta, generando mayor confianza entre inversionistas, promotores de proyectos FNCER y demás actores del sector energético.

De igual manera, la vinculación de estas instituciones facilitará la atracción de capital nacional e internacional, promoverá la adopción de estándares financieros reconocidos internacionalmente y contribuirá a consolidar un ecosistema financiero más robusto para impulsar el crecimiento de las FNCER en Colombia.

E4.A1.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá ampliar las fuentes de financiamiento disponibles para proyectos FNCER, fortalecer las capacidades técnicas y financieras de la entidad propuesta y mejorar las condiciones de acceso al crédito para promotores e inversionistas.

Adicionalmente, contribuirá a reducir las barreras financieras identificadas para el desarrollo de proyectos FNCER, facilitará la estructuración de mecanismos de financiación especializados y promoverá una mayor participación del sector privado en la transición energética del país.

E4. Actividad 2: Constituir la Financiera mixta para proyectos FNCER.

Con el propósito de fortalecer la bancabilidad del sector de las FNCER y ampliar las alternativas de financiación disponibles para los promotores de proyectos, se propone la constitución de una entidad financiera mixta especializada en la estructuración, acompañamiento y financiación de iniciativas FNCER. Esta entidad estará conformada mediante la participación conjunta del sector público, inversionistas privados y organismos multilaterales, con el fin de canalizar recursos hacia proyectos estratégicos que contribuyan a la transición energética del país.

E4.A2.1. Estructuración de la entidad financiera mixta

La creación de la financiera requerirá la definición de su naturaleza jurídica, modelo de gobernanza, esquema de capitalización y lineamientos operativos. Su diseño institucional deberá garantizar sostenibilidad financiera, transparencia en la gestión de recursos, independencia técnica en la toma de decisiones y una adecuada articulación con las políticas energéticas nacionales.

Asimismo, la entidad deberá desarrollar instrumentos financieros especializados que permitan atender las necesidades de financiación de proyectos FNCER en sus diferentes etapas de desarrollo, desde la prefactibilidad y estructuración hasta la construcción, puesta en operación y expansión de los proyectos.

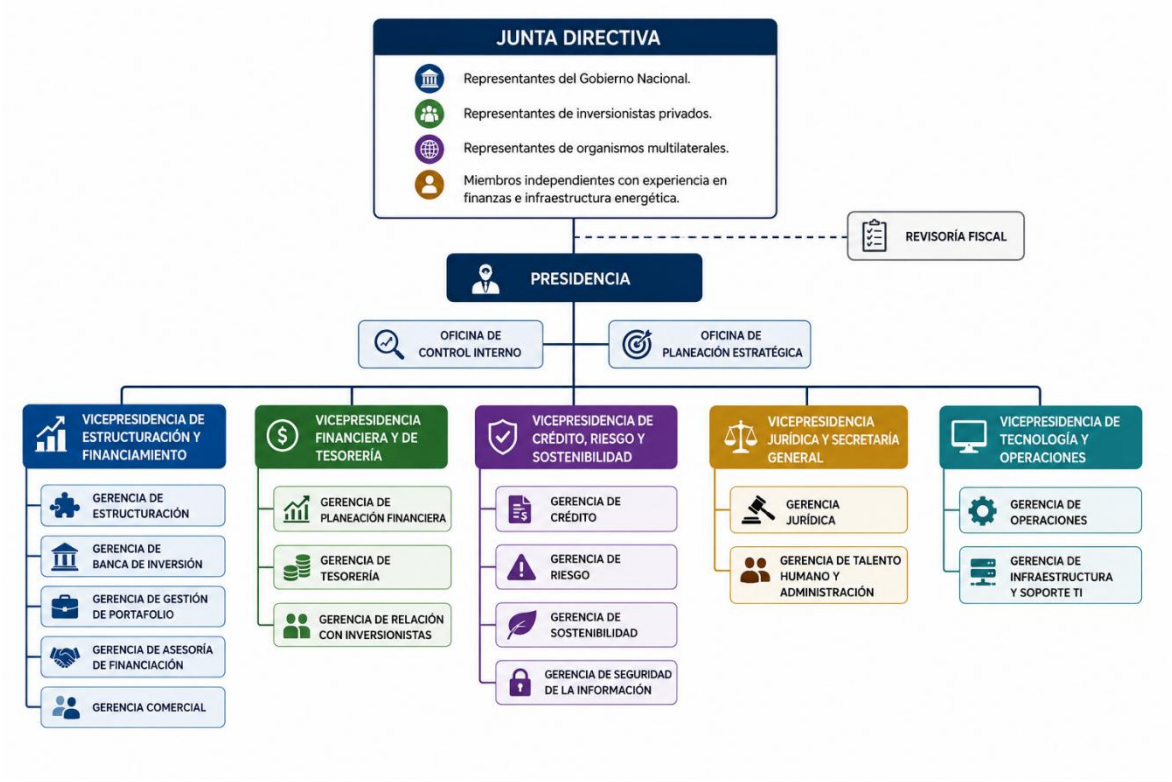
E4.A2.2. Propuesta de estructura organizacional

La Financiera Mixta para Proyectos FNCER estaría conformada por una Junta Directiva como máxima instancia de direccionamiento estratégico, una Presidencia

encargada de la gestión institucional y un conjunto de vicepresidencias especializadas orientadas a la estructuración financiera, movilización de recursos, gestión de riesgos y sostenibilidad de los proyectos financiados.

Como se presenta en la Figura A4.1, la estructura organizacional propuesta estaría integrada por las siguientes dependencias:

Figura A4.1. *Propuesta de la estructura organizacional de la financiera mixta de proyectos FNCER.*



Nota. Figura elaborada mediante inteligencia artificial con ChatGPT, utilizando instrucciones definidas por el autor.

E4.A2.3. Funciones generales por dependencia

La Junta Directiva constituirá la máxima instancia de dirección y gobierno corporativo de la Financiera Mixta para Proyectos FNCER. Estará integrada por representantes del Gobierno Nacional, inversionistas privados, organismos multilaterales y miembros

independientes con experiencia en finanzas e infraestructura energética. Su función principal será definir los lineamientos estratégicos de la entidad, aprobar las políticas institucionales, supervisar la gestión de la administración y garantizar el cumplimiento de los objetivos relacionados con la financiación y promoción de proyectos FNCER en Colombia.

La Revisoría Fiscal será responsable de ejercer control y vigilancia sobre las operaciones financieras, contables y administrativas de la entidad, verificando el cumplimiento de las disposiciones legales y regulatorias aplicables. Asimismo, velará por la transparencia en la gestión de los recursos y la confiabilidad de la información financiera.

La Presidencia tendrá a su cargo la dirección general de la entidad, la representación institucional y la coordinación de las diferentes áreas de gestión. Será responsable de ejecutar las políticas aprobadas por la Junta Directiva y garantizar el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización. Para el desarrollo de sus funciones contará con una Oficina de Control Interno, encargada de evaluar la eficacia de los sistemas de control, gestión de riesgos y cumplimiento normativo, y una Oficina de Planeación Estratégica, responsable de liderar la formulación, seguimiento y evaluación de los planes institucionales, así como del monitoreo de los indicadores de gestión y desempeño corporativo.

La Vicepresidencia de Estructuración y Financiamiento tendrá como responsabilidad liderar la estructuración financiera y la movilización de recursos para proyectos FNCER. A través de las gerencias de Estructuración, Banca de Inversión, Gestión de Portafolio, Asesoría de Financiación y Comercial, esta dependencia diseñará esquemas financieros adaptados a las necesidades de los proyectos, acompañará la estructuración de operaciones de inversión y financiamiento, administrará el portafolio de proyectos

apoyados por la entidad, brindará asistencia técnica a promotores y promoverá la vinculación de nuevos clientes e inversionistas interesados en el sector FNCER.

La Vicepresidencia Financiera y de Tesorería será responsable de garantizar la sostenibilidad financiera de la entidad mediante una adecuada administración de sus recursos económicos. Para ello, coordinará la planeación financiera institucional, la gestión de liquidez, la administración de inversiones y la relación con inversionistas nacionales e internacionales. Asimismo, liderará la identificación de nuevas fuentes de capital que permitan fortalecer la capacidad de financiación de proyectos FNCER y asegurar la estabilidad financiera de la organización.

La Vicepresidencia de Crédito, Riesgo y Sostenibilidad tendrá a su cargo la evaluación de la viabilidad financiera de los proyectos, la administración integral de riesgos y la incorporación de criterios de sostenibilidad en las decisiones de inversión. A través de las gerencias de Crédito, Riesgo, Sostenibilidad y Seguridad de la Información, esta dependencia analizará las solicitudes de financiamiento, implementará mecanismos de mitigación de riesgos financieros y operativos, verificará el cumplimiento de estándares ambientales, sociales y de gobernanza, y garantizará la protección de los activos digitales y de la información estratégica de la entidad.

La Vicepresidencia Jurídica y Secretaría General será responsable de brindar soporte jurídico y administrativo a la organización, garantizando el cumplimiento del marco normativo aplicable y el adecuado funcionamiento institucional. Mediante las gerencias Jurídica y de Talento Humano y Administración, coordinará la elaboración y revisión de contratos, convenios y documentos legales, gestionará los asuntos de gobierno corporativo y liderará los procesos relacionados con la administración del talento humano, la gestión administrativa y el fortalecimiento organizacional.

La Vicepresidencia de Tecnología y Operaciones tendrá como función garantizar la eficiencia operativa y tecnológica de la financiera. A través de las gerencias de Operaciones e Infraestructura y Soporte TI, será responsable de optimizar los procesos internos, gestionar la infraestructura tecnológica, administrar los sistemas de información institucionales y promover la transformación digital de la entidad, asegurando la continuidad operativa y la prestación eficiente de los servicios financieros ofrecidos a los proyectos FNCER.

E4.A2.4. Modelo de capitalización y fuentes de financiamiento

La Financiera Mixta para Proyectos FNCER contará con una estructura de capital conformada mediante aportes del Gobierno Nacional, inversionistas privados y organismos multilaterales de desarrollo. Adicionalmente, podrá acceder a recursos provenientes de fondos climáticos internacionales, líneas de crédito concesionales, emisiones de bonos verdes y otros mecanismos de financiamiento sostenible orientados a apoyar la transición energética. Esta combinación de fuentes permitirá garantizar la sostenibilidad financiera de la entidad y ampliar su capacidad para movilizar recursos hacia proyectos FNCER en diferentes regiones del país.

E4.A2.5. Instrumentos financieros para proyectos FNCER

La entidad desarrollará un portafolio de instrumentos financieros especializados que responda a las necesidades de los proyectos durante las distintas etapas de su ciclo de vida. Entre estos instrumentos se contemplan líneas de crédito de largo plazo para construcción y operación de proyectos, esquemas de cofinanciación para estudios de prefactibilidad y factibilidad, garantías parciales de riesgo, créditos subordinados, financiamiento puente para etapas de desarrollo y mecanismos de inversión orientados a proyectos estratégicos FNCER. Estos instrumentos permitirán mejorar las condiciones de

acceso al financiamiento y reducir las barreras financieras que actualmente enfrenta el sector.

E4.A2.6. Mecanismos de transparencia y sostenibilidad financiera

Con el fin de garantizar una gestión eficiente y sostenible, la entidad implementará mecanismos de gobierno corporativo, gestión integral de riesgos, auditorías internas y externas, sistemas de control financiero y procesos de rendición de cuentas. Asimismo, incorporará criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) en sus procesos de evaluación y financiación, promoviendo prácticas alineadas con estándares internacionales de sostenibilidad y financiamiento responsable.

E4.A2.7. Beneficios esperados

La creación de una entidad financiera especializada permitirá concentrar capacidades técnicas y financieras en un solo organismo, facilitando el acceso a recursos para proyectos FNCER y reduciendo las barreras de financiamiento identificadas en el sector. Asimismo, contribuirá a movilizar inversión pública y privada, fortalecer la confianza de los inversionistas y promover el desarrollo de mecanismos financieros innovadores que aceleren la transición energética en Colombia.

E4. Actividad 3: Ofrecer créditos de largo plazo y estructurar la emisión de bonos verdes.

Con el propósito de fortalecer las condiciones de financiamiento para los proyectos FNCER en Colombia, se propone que la Financiera Mixta para Proyectos FNCER desarrolle instrumentos financieros especializados que respondan a las necesidades particulares del sector. Esta actividad busca ampliar el acceso al capital, reducir las barreras financieras que enfrentan los promotores y promover mecanismos innovadores que faciliten la movilización de recursos hacia proyectos de transición energética.

E4.A3.1. Líneas de crédito de largo plazo para proyectos FNCER

Los proyectos FNCER suelen caracterizarse por requerir elevados niveles de inversión inicial y períodos prolongados para recuperar el capital invertido. En este contexto, la financiera mixta ofrecerá líneas de crédito de largo plazo diseñadas específicamente para atender las necesidades de financiación de las distintas etapas del ciclo de vida de los proyectos.

Estas líneas de financiamiento podrán contemplar condiciones preferenciales, plazos acordes con la vida útil de los activos, períodos de gracia durante las etapas de construcción y esquemas de amortización ajustados a la generación de ingresos de los proyectos. Asimismo, podrán ser utilizadas para financiar actividades de estructuración, construcción, ampliación, modernización y repotenciación de proyectos FNCER.

La implementación de estos instrumentos permitirá mejorar la viabilidad financiera de las iniciativas, facilitar el cierre financiero de los proyectos y promover una mayor participación de inversionistas y promotores en el sector.

E4.A3.2. Estructuración de programas de bonos verdes

De manera complementaria, se propone desarrollar programas de emisión de bonos verdes orientados a captar recursos de inversionistas institucionales, fondos de inversión y entidades interesadas en financiar proyectos con impactos ambientales positivos. Estos instrumentos permitirán diversificar las fuentes de financiación de la entidad y ampliar la disponibilidad de recursos para el desarrollo de proyectos FNCER.

La estructuración de los bonos verdes deberá realizarse bajo estándares internacionales de financiamiento sostenible, garantizando la trazabilidad de los recursos y la destinación exclusiva de los fondos a proyectos que contribuyan a la mitigación del cambio climático y a la transición energética. Asimismo, se establecerán mecanismos de seguimiento y reporte que permitan evaluar el impacto ambiental y financiero de las inversiones realizadas.

La emisión de bonos verdes fortalecerá la capacidad de movilización de capital hacia el sector FNCER y contribuirá a posicionar a Colombia como un destino atractivo para la inversión sostenible.

E4.A3.3. Beneficios esperados

La implementación de líneas de crédito especializadas y programas de bonos verdes permitirá ampliar significativamente las alternativas de financiamiento disponibles para los proyectos FNCER, reduciendo las restricciones de acceso al capital que actualmente limitan el crecimiento del sector.

Asimismo, estos instrumentos contribuirán a disminuir los costos de financiación, mejorar la bancabilidad de los proyectos, atraer nuevos inversionistas y fortalecer la participación del sector financiero en el desarrollo de las FNCER. De igual manera, facilitarán la movilización de recursos públicos y privados hacia iniciativas estratégicas para la transición energética del país.

Anexo 5: Plan de acción detallado para el fortalecimiento de la participación ciudadana en proyectos FNCER

Objetivo: Fomentar la creación de veedurías ciudadanas.

E5. Actividad 1: Publicar los beneficios de la creación de veedurías ciudadanas.

Con el propósito de fortalecer la transparencia, la participación ciudadana y la legitimidad social de los proyectos FNCER, se propone desarrollar una estrategia de divulgación orientada a informar a las comunidades y demás actores involucrados sobre los beneficios asociados a la creación y funcionamiento de las veedurías ciudadanas. Esta actividad busca promover el conocimiento y la apropiación de estos mecanismos de participación, incentivando una mayor vinculación de la ciudadanía en los procesos de seguimiento de los proyectos FNCER.

E5.A1.1. Estrategia de divulgación

La estrategia de divulgación estará orientada a comunicar que las veedurías ciudadanas constituyen un mecanismo de participación que permite a las comunidades ejercer seguimiento sobre el desarrollo de los proyectos FNCER. Asimismo, se destacará su contribución al fortalecimiento de la transparencia, el acceso oportuno a la información y la generación de confianza entre las comunidades, las empresas promotoras y las entidades gubernamentales.

De igual manera, se promoverá el reconocimiento de las veedurías como herramientas que facilitan la identificación temprana de inquietudes sociales y ambientales, favorecen la construcción de soluciones concertadas y fortalecen la aceptación y legitimidad social de los proyectos FNCER en los territorios.

E5.A1.2. Público objetivo

La divulgación estará dirigida principalmente a las comunidades ubicadas en las áreas de influencia de los proyectos FNCER, incluyendo líderes comunitarios, Juntas de Acción Comunal, organizaciones sociales y demás actores representativos del territorio.

De forma complementaria, la estrategia también estará orientada a autoridades municipales y departamentales, empresas promotoras de proyectos, entidades del sector energético y ambiental, instituciones educativas y organizaciones no gubernamentales, con el fin de promover una comprensión común sobre la importancia de las veedurías ciudadanas y fortalecer la participación de los diferentes actores involucrados en la transición energética.

E5.A1.3. Mecanismos y canales de difusión

La divulgación se realizará mediante una combinación de canales digitales, comunitarios e institucionales que permitan alcanzar de manera efectiva a los diferentes públicos objetivo. Entre los medios digitales se contempla el uso de páginas web institucionales, redes sociales, boletines electrónicos, infografías y material audiovisual orientado a facilitar la comprensión de los contenidos.

Adicionalmente, se desarrollarán talleres, jornadas de socialización y espacios de diálogo en municipios con presencia de proyectos FNCER, apoyados mediante material pedagógico impreso como cartillas, folletos y afiches informativos. Asimismo, se promoverá la utilización de medios de comunicación locales, incluyendo emisoras comunitarias, periódicos regionales y canales de televisión locales, con el fin de ampliar el alcance de la información y facilitar el acceso de las comunidades a estos contenidos.

E5.A1.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá incrementar el conocimiento de las comunidades sobre los mecanismos de participación ciudadana disponibles para el

seguimiento de proyectos FNCER y promoviendo una participación más activa e informada en los procesos de transición energética.

Asimismo, contribuirá a mejorar la transparencia de los proyectos, fortalecer la confianza entre los diferentes actores involucrados y generar condiciones favorables para la prevención y gestión temprana de conflictos sociales asociados al desarrollo de iniciativas energéticas en los territorios.

E5. Actividad 2: Desarrollar programas de capacitación para las comunidades y líderes sociales sobre la importancia de conformarse como veedurías ciudadanas.

Con el propósito de fortalecer la participación ciudadana en el desarrollo de proyectos FNCER, se propone implementar programas de capacitación dirigidos a comunidades y líderes sociales ubicados en las áreas de influencia de los proyectos. Esta actividad busca brindar conocimientos y herramientas que permitan a los ciudadanos comprender el funcionamiento de las veedurías ciudadanas, sus derechos, responsabilidades y mecanismos de actuación dentro de los procesos de seguimiento y vigilancia de los proyectos FNCER.

E5.A2.1. Implementación del programa de capacitación

Los programas de capacitación estarán orientados a fortalecer las capacidades de las comunidades para participar activamente en los procesos de seguimiento social asociados a los proyectos FNCER. Los contenidos abordarán aspectos relacionados con el marco normativo de las veedurías ciudadanas, mecanismos de participación ciudadana, acceso a la información pública, seguimiento a compromisos ambientales y sociales, así como herramientas para la interlocución con entidades públicas y empresas promotoras.

Asimismo, se promoverá el desarrollo de competencias que permitan a los participantes ejercer un seguimiento informado y constructivo de los proyectos,

contribuyendo al fortalecimiento de la transparencia y la confianza entre los diferentes actores involucrados en la transición energética.

E5.A2.2. Población objetivo y cobertura territorial

La implementación de los programas se realizará prioritariamente en las áreas de influencia de proyectos FNCER y en territorios con alto potencial para el desarrollo de iniciativas FNCER. Inicialmente, las acciones podrán concentrarse en departamentos como La Guajira, Cesar, Atlántico, Magdalena, Bolívar, Valle del Cauca y otras regiones estratégicas donde se proyecte una importante expansión de tecnologías solares, eólicas, geotérmicas o de biomasa.

La población objetivo incluirá líderes comunitarios, miembros de Juntas de Acción Comunal, organizaciones sociales, asociaciones comunitarias y demás actores territoriales interesados en participar en procesos de seguimiento de proyectos FNCER.

E5.A2.3. Evaluación y seguimiento del programa

La evaluación de los programas de capacitación se realizará mediante herramientas que permitan medir tanto la participación de los asistentes como la apropiación de los conocimientos impartidos. Para ello, se aplicarán diagnósticos previos y posteriores a las capacitaciones con el fin de identificar cambios en el nivel de conocimiento sobre las funciones, derechos y responsabilidades asociadas a las veedurías ciudadanas.

Adicionalmente, se realizará seguimiento a indicadores relacionados con el número de participantes capacitados, niveles de asistencia, satisfacción de los asistentes y cobertura territorial alcanzada por el programa. Como complemento, se evaluará la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos mediante el monitoreo de iniciativas de participación ciudadana promovidas por los participantes.

E5.A2.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá fortalecer las capacidades de las comunidades para participar activamente en los procesos de seguimiento de los proyectos FNCER, promoviendo una participación más informada, organizada y efectiva.

Asimismo, contribuirá a incrementar la transparencia en la gestión de los proyectos, fortalecer la confianza entre las comunidades y los desarrolladores, mejorar los mecanismos de diálogo territorial y prevenir potenciales conflictos sociales mediante una participación ciudadana temprana y estructurada.

E5. Actividad 3: Establecer la obligación de los desarrolladores de proyectos FNCER de facilitar, apoyar y garantizar las condiciones necesarias para la conformación y funcionamiento de veedurías ciudadanas.

Con el propósito de fortalecer la transparencia, la participación ciudadana y el control social en el desarrollo de proyectos FNCER, se propone promover la expedición de un acto administrativo que establezca lineamientos orientados a facilitar la conformación y el ejercicio efectivo de las veedurías ciudadanas en las áreas de influencia de los proyectos. Esta iniciativa se fundamenta en los principios de participación ciudadana, transparencia y control social consagrados en la legislación colombiana, particularmente en la Ley 850 de 2003, reconociendo el derecho de las comunidades a realizar seguimiento a las actuaciones y proyectos que generan impactos en sus territorios.

E5.A3.1. Formulación del instrumento normativo

La reglamentación propuesta deberá establecer las responsabilidades de los desarrolladores de proyectos FNCER en materia de promoción de espacios de participación ciudadana y acceso a la información. El acto administrativo definirá lineamientos que permitan generar condiciones adecuadas para que las comunidades conozcan sus derechos de participación y cuenten con herramientas que faciliten el ejercicio del control social sobre los proyectos.

Asimismo, la regulación deberá promover la articulación entre desarrolladores, autoridades competentes y comunidades, con el fin de fortalecer la transparencia en las diferentes etapas de desarrollo de los proyectos y facilitar una interacción permanente entre los actores involucrados.

E5.A3.2. Mecanismos para garantizar la participación ciudadana

La reglamentación deberá contemplar mecanismos que garanticen el acceso oportuno a información relevante sobre los proyectos, incluyendo aspectos relacionados con su alcance, cronograma, avances, compromisos ambientales y sociales, así como los principales hitos de ejecución.

De igual manera, se promoverá la realización de espacios periódicos de diálogo, socialización y retroalimentación con las comunidades, permitiendo atender inquietudes, presentar avances del proyecto y fortalecer los procesos de comunicación entre los desarrolladores y los actores territoriales.

E5.A3.3. Lineamientos para la interacción entre desarrolladores y veedurías ciudadanas

El acto administrativo deberá establecer directrices que faciliten la relación entre los desarrolladores de proyectos y las veedurías ciudadanas, garantizando el acceso a información necesaria para el ejercicio de sus funciones sin afectar su independencia y autonomía. Para ello, se podrán definir procedimientos estandarizados para la atención de solicitudes de información, mecanismos de seguimiento a observaciones ciudadanas y canales institucionales para la presentación de inquietudes y recomendaciones.

Estos lineamientos contribuirán a fortalecer la confianza entre las comunidades, las empresas y las entidades gubernamentales, promoviendo una participación ciudadana informada, constructiva y orientada al fortalecimiento de la gobernanza territorial.

E5.A3.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá fortalecer los mecanismos de transparencia y control social asociados a los proyectos FNCER, facilitando una mayor participación de las comunidades en los procesos de seguimiento y vigilancia ciudadana.

Asimismo, contribuirá a mejorar el acceso a la información, fortalecer la confianza entre los diferentes actores involucrados, reducir potenciales conflictos sociales y generar condiciones más favorables para la aceptación y legitimidad de los proyectos de energías renovables en los territorios.

E5. Actividad 4: Promover la conformación de veedurías ciudadanas en proyectos FNCER.

Con el propósito de fortalecer la participación ciudadana y la transparencia en el desarrollo de proyectos FNCER, se propone implementar acciones orientadas a promover y facilitar la conformación de veedurías ciudadanas en las áreas de influencia de los proyectos. Esta actividad busca que las comunidades cuenten con mecanismos formales de participación que les permitan ejercer seguimiento al desarrollo de los proyectos y contribuir al fortalecimiento de la legitimidad social de las iniciativas de transición energética.

E5.A4.1. Estrategia de promoción y acompañamiento

La promoción de las veedurías ciudadanas se realizará mediante actividades de divulgación, orientación y acompañamiento dirigidas a las comunidades ubicadas en las áreas de influencia de los proyectos FNCER. Estas acciones estarán enfocadas en informar a la ciudadanía sobre sus derechos de participación, los beneficios asociados al seguimiento y los procedimientos establecidos para la conformación de veedurías ciudadanas conforme a la normatividad vigente.

Asimismo, se desarrollarán espacios de socialización y diálogo que permitan resolver inquietudes, promover el interés de las comunidades en estos mecanismos de

participación y fortalecer el conocimiento sobre las funciones que pueden desempeñar las veedurías durante las diferentes etapas de los proyectos.

E5.A4.2. Apoyo técnico para la conformación de veedurías

Las comunidades interesadas en conformar veedurías ciudadanas contarán con apoyo técnico y metodológico durante el proceso de constitución y organización de estos mecanismos de participación. Este acompañamiento incluirá asesoría sobre los requisitos legales para su conformación, orientación sobre sus funciones y competencias, así como apoyo en la elaboración de documentos y procedimientos necesarios para su formalización.

De igual manera, se promoverá el fortalecimiento de capacidades organizativas que permitan a las veedurías desarrollar de manera efectiva actividades de seguimiento y relacionamiento con los diferentes actores vinculados al desarrollo de los proyectos FNCER.

E5.A4.3. Articulación institucional

La implementación de esta actividad requerirá la coordinación entre la Agencia Nacional FNCER, los promotores de los proyectos y el Ministerio del Interior, quienes actuarán de manera conjunta para facilitar la creación y fortalecimiento de las veedurías ciudadanas en los territorios.

Esta articulación permitirá optimizar los esfuerzos institucionales, garantizar la disponibilidad de información para las comunidades y generar espacios de interacción que favorezcan la transparencia, el diálogo y la construcción de confianza entre las comunidades, las empresas promotoras y las entidades gubernamentales.

E5.A4.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá fortalecer la participación ciudadana en los procesos de seguimiento de los proyectos FNCER, promoviendo una mayor

transparencia en su desarrollo y fortaleciendo los mecanismos de rendición de cuentas en los territorios.

Asimismo, contribuirá a generar relaciones más sólidas entre comunidades, promotores y entidades públicas, favoreciendo la prevención de conflictos, el diálogo constructivo y la aceptación social de los proyectos FNCER.

Anexo 6: Plan de acción detallado del fortalecimiento de la infraestructura eléctrica para la integración de FNCER

Objetivo: Incrementar la capacidad del sistema eléctrico para integrar y transportar eficientemente la energía generada por proyectos FNCER.

E6. Actividad 1: Identificar zonas con limitaciones de conexión y capacidad de red.

Con el propósito de fortalecer la capacidad del sistema eléctrico para integrar eficientemente nuevas fuentes de generación FNCER, se propone realizar un análisis técnico de la infraestructura eléctrica existente que permita identificar las regiones donde la capacidad de transmisión o distribución resulta insuficiente para soportar la incorporación de nuevos proyectos FNCER. Esta actividad busca generar un diagnóstico actualizado de las condiciones de la red eléctrica nacional y de las principales restricciones que actualmente limitan el desarrollo de proyectos FNCER en el país.

E6.A1.1. Diagnóstico de la infraestructura eléctrica

El análisis deberá evaluar el estado actual de la infraestructura de transmisión y distribución, identificando los niveles de capacidad disponible, las condiciones operativas de la red y las restricciones que afectan la integración de nuevas FNCER. Asimismo, permitirá determinar las zonas donde la infraestructura existente presenta limitaciones para atender el crecimiento esperado de proyectos FNCER.

Este diagnóstico proporcionará una visión integral de la capacidad del sistema eléctrico, facilitando la identificación de necesidades de expansión, modernización y fortalecimiento de la red en los diferentes territorios del país.

E6.A1.2. Criterios de análisis y priorización

La evaluación deberá considerar variables técnicas relacionadas con la capacidad disponible de las redes, los niveles de congestión, las restricciones operativas existentes,

las solicitudes de conexión pendientes y la disponibilidad de infraestructura para la evacuación de energía.

De igual manera, se analizarán las regiones con alto potencial para el desarrollo de tecnologías FNCER, considerando la localización de recursos renovables, la proyección de nuevos proyectos y las necesidades futuras de conexión al SIN. Este enfoque permitirá identificar aquellas zonas donde las limitaciones de red representan una barrera significativa para el aprovechamiento del potencial renovable del país.

E6.A1.3. Uso de los resultados para la planificación de inversiones

La información obtenida servirá como base para la formulación de estrategias de expansión y modernización de la infraestructura eléctrica, orientadas a mejorar la capacidad de integración de proyectos FNCER. Asimismo, permitirá priorizar inversiones en transmisión y distribución, optimizar la asignación de recursos y orientar la toma de decisiones por parte de las entidades responsables de la planificación energética.

Los resultados del diagnóstico también facilitarán la coordinación entre los diferentes actores del sector eléctrico, contribuyendo a una planificación más eficiente y alineada con los objetivos de transición energética y crecimiento de la generación FNCER en Colombia.

E6.A1.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá contar con información técnica actualizada sobre las principales limitaciones de conexión y capacidad de red existentes en el país, facilitando la identificación de los cuellos de botella que afectan el desarrollo de proyectos FNCER.

Asimismo, contribuirá a mejorar la planificación de la infraestructura eléctrica, optimizar las inversiones requeridas para la expansión de la red y fortalecer las

condiciones necesarias para la integración segura y eficiente de nuevas fuentes de generación FNCER.

E6. Actividad 2: Priorizar proyectos estratégicos de transmisión asociados a FNCER.

Con el propósito de fortalecer la capacidad del sistema eléctrico para integrar y transportar eficientemente la energía generada por proyectos FNCER, se propone identificar y priorizar los proyectos de transmisión que tengan un mayor impacto en la incorporación de nueva generación FNCER al SIN. Esta actividad busca orientar los esfuerzos de planificación e inversión hacia aquellas iniciativas de infraestructura que contribuyan de manera significativa al cumplimiento de los objetivos de transición energética del país.

E6.A2.1. Identificación y evaluación de proyectos estratégicos

La actividad contempla la evaluación de proyectos de transmisión eléctrica que permitan ampliar la capacidad de transporte de energía desde las zonas con alto potencial renovable hacia los principales centros de consumo. Para ello, se analizarán las necesidades identificadas en los estudios de expansión de la red, así como los resultados obtenidos en el diagnóstico de limitaciones de conexión y capacidad de red desarrollado en la actividad anterior.

La evaluación permitirá determinar qué proyectos presentan mayor relevancia para eliminar restricciones existentes, facilitar nuevas conexiones de generación renovable y mejorar las condiciones operativas del sistema eléctrico nacional.

E6.A2.2. Criterios de priorización

La priorización de los proyectos deberá considerar criterios técnicos, económicos y estratégicos que permitan maximizar los beneficios para el sistema eléctrico y para el desarrollo de las FNCER. Entre los principales criterios se incluyen la capacidad de generación FNCER que podrá conectarse mediante la infraestructura propuesta, la

reducción de congestiones y restricciones operativas, el aporte a la confiabilidad y seguridad energética, y la capacidad de atender el crecimiento futuro de la demanda y de la generación FNCER.

Asimismo, se tendrán en cuenta aspectos relacionados con la viabilidad técnica de los proyectos, su estado de avance, los beneficios económicos esperados y los impactos sociales asociados al fortalecimiento de la infraestructura eléctrica en las regiones donde serán desarrollados.

E6.A2.3. Articulación con la planificación energética nacional

Los proyectos priorizados deberán integrarse a los procesos de planificación y expansión de la infraestructura eléctrica liderados por las entidades competentes, garantizando su alineación con las metas nacionales de transición energética y crecimiento de las FNCER.

De igual manera, la priorización permitirá coordinar de manera más eficiente las acciones entre las entidades responsables de la planeación energética, los transportadores de energía, los operadores de red y los promotores de proyectos FNCER, facilitando la ejecución oportuna de las inversiones requeridas.

E6.A2.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá focalizar los recursos disponibles en aquellas obras de transmisión que generen mayores beneficios para la integración de las FNCER al sistema eléctrico nacional. Asimismo, contribuirá a reducir restricciones de conexión, mejorar la capacidad de transporte de energía y fortalecer la confiabilidad de la red eléctrica.

De igual manera, favorecerá una planificación más eficiente de las inversiones en infraestructura, acelerando la entrada en operación de proyectos FNCER y fortaleciendo

las condiciones necesarias para el desarrollo sostenible del sector energético colombiano.

E6. Actividad 3: Promover soluciones de redes inteligentes y modernización de infraestructura.

Con el propósito de fortalecer la capacidad del sistema eléctrico para integrar eficientemente la generación proveniente de fuentes FNCER, se propone promover la adopción de tecnologías de redes inteligentes y la modernización de la infraestructura eléctrica existente. Esta actividad busca incrementar la flexibilidad, confiabilidad y capacidad operativa de la red, permitiendo una mejor gestión de la variabilidad inherente a tecnologías como la energía solar y eólica, así como una mayor eficiencia en la operación del sistema eléctrico nacional.

E6.A3.1. Implementación de soluciones de redes inteligentes

La actividad contempla la promoción de tecnologías que permitan mejorar la supervisión, control y gestión de la red eléctrica mediante el uso de herramientas digitales y sistemas avanzados de operación. Entre estas soluciones se incluyen sistemas de monitoreo en tiempo real, automatización de redes, sensores inteligentes, medidores avanzados, plataformas de gestión de datos energéticos y herramientas para la administración de la demanda.

La incorporación de estas tecnologías permitirá contar con información más precisa y oportuna sobre el comportamiento del sistema eléctrico, facilitando la toma de decisiones operativas, la identificación temprana de contingencias y la optimización del desempeño de la red ante una creciente participación de fuentes renovables variables.

E6.A3.2. Modernización de la infraestructura eléctrica

De manera complementaria, se promoverá la identificación y ejecución de mejoras tecnológicas orientadas a modernizar la infraestructura de transmisión y distribución

existente. Estas acciones podrán incluir la actualización de equipos de subestaciones, sistemas de protección y control, dispositivos de compensación reactiva, sistemas de almacenamiento energético y otras tecnologías que contribuyan a incrementar la capacidad y flexibilidad de la red.

La modernización de la infraestructura permitirá mejorar el desempeño operativo del sistema eléctrico, aumentar la capacidad de conexión de nuevos proyectos FNCER y fortalecer la seguridad y confiabilidad del suministro energético.

E6.A3.3. Articulación con la integración de FNCER

Las soluciones de redes inteligentes y las acciones de modernización deberán articularse con los procesos de expansión de la infraestructura eléctrica y con la planificación energética nacional, garantizando que las inversiones realizadas respondan a las necesidades actuales y futuras de integración de las FNCER.

Asimismo, estas iniciativas deberán priorizar las regiones con alta concentración de proyectos FNCER y aquellas zonas donde existan restricciones operativas o limitaciones de capacidad que dificulten la incorporación de nueva generación FNCER al sistema eléctrico.

E6.A3.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá mejorar la capacidad de supervisión, control y operación de la red eléctrica, facilitando una integración más eficiente y segura de las FNCER. Asimismo, contribuirá a optimizar el uso de la infraestructura existente, reducir pérdidas operativas y fortalecer la confiabilidad del sistema eléctrico frente a escenarios de mayor penetración de las FNCER.

De igual manera, favorecerá una gestión más eficiente de la demanda y de los recursos energéticos disponibles, contribuyendo al desarrollo de un sistema eléctrico más moderno, resiliente y preparado para los desafíos de la transición energética.

Anexo 7: Plan de acción detallado del fortalecimiento de capacidades técnicas del talento humano para la transición energética

Objetivo: Desarrollar talento humano especializado que responda a las necesidades actuales y futuras del sector FNCER en Colombia.

E7. Actividad 1: Diseñar programas de formación técnica y profesional en tecnologías FNCER.

Con el propósito de fortalecer las capacidades humanas requeridas para la transición energética, se propone diseñar programas de formación técnica, tecnológica y profesional orientados al desarrollo de competencias especializadas en FNCER. Esta actividad busca contribuir al cierre de brechas de talento humano y garantizar la disponibilidad de personal calificado para apoyar la planificación, construcción, operación y mantenimiento de proyectos FNCER en Colombia.

E7.A1.1. Identificación de necesidades de talento humano

Se realizará un análisis de las necesidades actuales y futuras de capital humano del sector energético, identificando los perfiles ocupacionales y competencias más demandadas para el desarrollo de proyectos FNCER. Esta evaluación considerará las tendencias de crecimiento del sector, los requerimientos de la industria y las proyecciones de incorporación de FNCER en el país.

Entre las áreas prioritarias se incluirán tecnologías asociadas a energía solar, energía eólica, geotermia, biomasa, almacenamiento energético, redes inteligentes, eficiencia energética y gestión de proyectos energéticos, entre otras disciplinas estratégicas para la transición energética.

E7.A1.2. Diseño de programas de formación

Con base en las necesidades identificadas, se desarrollarán programas académicos y de formación orientados a fortalecer conocimientos técnicos, operativos y de gestión en

tecnologías FNCER. Los programas deberán estructurarse con contenidos actualizados, metodologías de enseñanza acordes con las necesidades del sector y componentes prácticos que faciliten la aplicación de los conocimientos en escenarios reales.

Asimismo, se promoverá la incorporación de competencias relacionadas con innovación tecnológica, sostenibilidad, digitalización, seguridad industrial y gestión ambiental, fortaleciendo la formación integral de los futuros profesionales y técnicos del sector energético.

E7.A1.3. Articulación con las necesidades del sector FNCER

Los programas de formación deberán diseñarse en coordinación con entidades gubernamentales, instituciones educativas, centros de investigación y actores del sector productivo, garantizando que los contenidos académicos respondan a las necesidades reales del mercado laboral y a los desafíos asociados al desarrollo de proyectos FNCER.

Esta articulación permitirá fortalecer la relación entre la academia y la industria, facilitando la actualización permanente de los programas de formación y promoviendo la generación de talento humano alineado con los requerimientos de la transición energética nacional.

E7.A1.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá ampliar la oferta de formación especializada en tecnologías FNCER, mejorar las competencias técnicas de estudiantes y profesionales, y fortalecer la capacidad nacional para atender la creciente demanda de talento humano asociada al desarrollo de las FNCER.

Asimismo, contribuirá a reducir las brechas de conocimiento existentes, mejorar la empleabilidad de los participantes y fortalecer la competitividad del sector energético colombiano mediante la disponibilidad de personal altamente calificado.

E7. Actividad 2: Establecer alianzas con universidades, centros de investigación y el SENA.

Con el propósito de fortalecer las capacidades técnicas y científicas requeridas para la transición energética, se propone promover alianzas estratégicas entre entidades del sector energético, instituciones de educación superior, centros de investigación y el SENA. Esta actividad busca consolidar espacios de cooperación que permitan articular esfuerzos en materia de formación, investigación, innovación y transferencia de conocimiento, contribuyendo al desarrollo de talento humano especializado para el sector de las FNCER.

E7.A2.1. Establecimiento de alianzas estratégicas

La actividad contempla la promoción y formalización de acuerdos de cooperación entre entidades públicas, instituciones académicas y organizaciones vinculadas al sector energético, con el fin de fortalecer las capacidades nacionales para la formación y generación de conocimiento en tecnologías FNCER.

Estas alianzas permitirán integrar recursos técnicos, capacidades institucionales y experiencias complementarias que faciliten el desarrollo de iniciativas orientadas a responder a las necesidades actuales y futuras de la transición energética en Colombia.

E7.A2.2. Desarrollo de iniciativas conjuntas de formación e investigación

Como parte de los acuerdos de cooperación, se promoverá la ejecución de programas académicos, proyectos de investigación aplicada, actividades de innovación tecnológica, prácticas formativas y espacios de intercambio de conocimiento relacionados con las FNCER.

Asimismo, se incentivará la participación conjunta de universidades, centros de investigación y empresas del sector energético en proyectos orientados a resolver desafíos técnicos, ambientales y operativos asociados al desarrollo de las FNCER,

fortaleciendo la generación de soluciones adaptadas a las necesidades del contexto colombiano.

E7.A2.3. Fortalecimiento de la articulación entre academia y sector productivo

Las alianzas contribuirán a fortalecer la relación entre las instituciones de formación y el sector productivo, promoviendo una mayor alineación entre los contenidos académicos y las competencias demandadas por la industria energética.

De igual manera, facilitarán el acceso a infraestructura especializada, laboratorios, recursos tecnológicos y conocimiento científico, favoreciendo la formación práctica de estudiantes, técnicos y profesionales. Esta articulación permitirá reducir las brechas existentes entre la formación académica y las necesidades reales del mercado laboral, fortaleciendo la empleabilidad y la competitividad del talento humano nacional.

E7.A2.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá fortalecer la cooperación entre los actores académicos, científicos y productivos vinculados al sector energético, promoviendo el desarrollo de capacidades técnicas e institucionales para apoyar la expansión de las FNCER en Colombia.

Asimismo, contribuirá a incrementar las oportunidades de formación especializada, estimular la investigación aplicada, fomentar la innovación tecnológica y consolidar redes de colaboración que impulsen el desarrollo sostenible del sector energético nacional.

E7. Actividad 3: Implementar programas de certificación de competencias en tecnologías FNCER.

Con el propósito de fortalecer la calidad del talento humano vinculado al sector de las FNCER, se propone implementar programas de certificación de competencias que permitan evaluar, reconocer y validar formalmente los conocimientos y habilidades de técnicos, tecnólogos y profesionales que participan en el desarrollo de proyectos FNCER.

Esta actividad busca garantizar que el capital humano del sector cuente con las competencias requeridas para responder a los desafíos técnicos, operativos y de gestión asociados a la transición energética en Colombia.

E7.A3.1. Diseño de los programas de certificación

La actividad contempla el desarrollo de esquemas de certificación orientados a evaluar competencias específicas relacionadas con las diferentes tecnologías FNCER y las actividades asociadas a su implementación. Los programas deberán establecer criterios de evaluación alineados con estándares técnicos y de calidad reconocidos por el sector energético, permitiendo validar conocimientos teóricos, habilidades prácticas y capacidades de gestión.

Las certificaciones podrán abarcar áreas como instalación, operación y mantenimiento de sistemas solares y eólicos, aprovechamiento geotérmico y de biomasa, almacenamiento energético, redes inteligentes, eficiencia energética y gestión de proyectos FNCER, entre otras especialidades estratégicas para el desarrollo del sector.

E7.A3.2. Implementación de los procesos de evaluación y reconocimiento

Los programas de certificación deberán incorporar mecanismos objetivos y transparentes para la evaluación de competencias, incluyendo pruebas teóricas, evaluaciones prácticas y procesos de verificación de experiencia laboral cuando corresponda. Estas herramientas permitirán determinar el nivel de dominio de los participantes y garantizar la confiabilidad de las certificaciones otorgadas.

Asimismo, se promoverá la participación de entidades especializadas en formación y certificación de competencias, asegurando que los procesos de evaluación respondan a las necesidades reales de la industria y a los estándares de calidad exigidos para el desarrollo seguro y eficiente de proyectos FNCER.

E7.A3.3. Articulación con las necesidades del sector FNCER

Los programas de certificación deberán diseñarse en coordinación con instituciones de formación, organismos certificadores, empresas del sector energético y entidades gubernamentales, garantizando que las competencias evaluadas correspondan a los perfiles ocupacionales más demandados por la industria.

Esta articulación permitirá mantener actualizados los esquemas de certificación frente a la evolución tecnológica del sector y fortalecer la relación entre los procesos de formación, las necesidades del mercado laboral y los requerimientos de calidad asociados al desarrollo de proyectos FNCER.

E7.A3.4. Beneficios esperados

La implementación de esta actividad permitirá fortalecer la calidad y confiabilidad del talento humano vinculado al sector de las energías renovables, garantizando que los trabajadores cuenten con competencias verificadas para desempeñar sus funciones de manera segura y eficiente.

Asimismo, contribuirá a mejorar las oportunidades de empleabilidad y desarrollo profesional de técnicos, tecnólogos y profesionales, fortalecer la competitividad del sector energético y generar mayor confianza en la calidad de los servicios asociados al desarrollo de proyectos FNCER.