

**Oportunidades y desafíos de la transición energética justa y sostenible en
comunidades vulnerables y sector empresarial en Colombia**

Maria Victoria Andrade Delgadillo

Asesor

Margoth Lorena Torres Guzmán

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Industrial

Yondó

2025

Página de Aprobación

La presente monografía titulada oportunidades y desafíos de la transición energética justa y sostenible en comunidades vulnerables y sector empresarial en Colombia elaborada por Maria Victoria Andrade Delgadillo, ha sido aprobada y aceptada como requisito para optar al título de Ingeniera industrial.

Asignación

Revisor: Margoth Lorena Torres Guzmán

Director: Margoth Lorena Torres Guzmán

Dedicatoria

Esta monografía es, en primer lugar, el resultado de un compromiso personal inquebrantable. Se la dedico a mi propia perseverancia, a la disciplina que me impulsó a continuar y a la confianza en mi capacidad para superar cada desafío. Es un tributo a las horas de esfuerzo y a la determinación que convirtieron este objetivo en una realidad.

De manera muy especial, quiero extender este reconocimiento a Lula, mi gata. Su serena compañía fue un faro de tranquilidad durante las largas noches de estudio y madrugadas de trabajo. Su presencia silenciosa pero constante fue un recordatorio invaluable de quietud y lealtad en el camino hacia este logro académico.

Agradecimientos

Mi más sentido agradecimiento a Dios, por la fortaleza y la guía que me han acompañado en la realización de este proyecto.

De manera muy especial, reconozco mi propio esfuerzo y dedicación. Este logro es también el resultado de la disciplina y la perseverancia que me impulsaron a superar cada desafío durante este proceso.

A mi familia, le expreso mi gratitud por su invaluable apoyo incondicional, que fue el fundamento emocional para alcanzar esta meta.

A los tutores y profesores que, a lo largo de mi formación, contribuyeron con su conocimiento y orientación.

Agradezco profundamente a la Directora Margoth Lorena Torres, tutora de este trabajo, por su paciencia, dedicación y profesionalismo en la guía de esta investigación. Sus acertadas observaciones fueron esenciales para el éxito de este trabajo.

Resumen

La transición energética justa y sostenible en Colombia representa una oportunidad estratégica para diversificar la matriz energética, reducir la dependencia de combustibles fósiles y cumplir con los compromisos climáticos internacionales. Esta monografía analiza las oportunidades y desafíos que enfrentan las comunidades vulnerables y el sector empresarial en la adopción de la energía solar, considerando las condiciones técnicas, económicas y regulatorias actuales del país.

Mediante una metodología mixta (cualitativa y cuantitativa) basada en revisión documental de fuentes primarias y secundarias publicadas entre 2015 y 2025, se identifican asimetrías significativas: mientras el sector empresarial capitaliza incentivos fiscales y desarrolla proyectos a gran escala, las comunidades especialmente en Zonas No Interconectadas (ZNI) enfrentan barreras estructurales como falta de financiamiento, capacitación técnica y marcos regulatorios inclusivos.

Los hallazgos revelan que, aunque existen casos exitosos de transición energética (como los parques solares de Ecopetrol, electrolineras comunitarias y proyectos de autogestión indígena), persisten riesgos de exclusión si no se fortalecen la participación local, la gobernanza colaborativa y los mecanismos de distribución equitativa de beneficios. Se concluye que una transición verdaderamente justa y sostenible requiere políticas diferenciadas, alianzas público-privadas-comunitarias y una integración coherente de las dimensiones económica, ambiental y social.

Palabras Clave: Transición energética, energía solar, comunidades vulnerables, sector empresarial, sostenibilidad, justicia energética, Colombia.

Abstract

The just and sustainable energy transition in Colombia represents a strategic opportunity to diversify the energy matrix, reduce dependence on fossil fuels, and meet international climate commitments. This monograph analyzes the opportunities and challenges faced by vulnerable communities and the business sector in adopting solar energy, considering the country's current technical, economic, and regulatory conditions.

Using a mixed methodology (qualitative and quantitative) based on a documentary review of primary and secondary sources published between 2015 and 2025, significant asymmetries are identified: while the business sector capitalizes on fiscal incentives and develops large-scale projects, communities especially in Non-Interconnected Zones (ZNI) face structural barriers such as lack of financing, technical training, and inclusive regulatory frameworks.

The findings reveal that although successful cases of energy transition exist (such as Ecopetrol's solar parks, community electric charging stations, and indigenous self-management projects), risks of exclusion persist if local participation, collaborative governance, and equitable benefit-sharing mechanisms are not strengthened. It is concluded that a truly just and sustainable transition requires differentiated policies, public-private-community partnerships, and a coherent integration of economic, environmental, and social dimensions.

Keywords: Energy transition, solar energy, vulnerable communities, business sector, sustainability, energy justice, Colombia.

Tabla de contenido

Lista de Tablas	10
Lista de Figuras.....	11
Lista de Abreviaturas	12
Introducción	15
Planteamiento del Problema	16
Justificación	19
Objetivos.....	22
Marco Referencial.....	23
Antecedentes de la Transición Energética	23
Marco Conceptual.....	24
<i>Sostenibilidad Energética: Dimensiones Económica, Ambiental y Social</i>	24
Marco Teórico.....	26
<i>Tecnologías Fotovoltaicas Relevantes para Empresas/Comunidades</i>	26
<i>Modelos de Gestión Organizacional para la Sostenibilidad Energética</i>	28
Marco Contextual	29
<i>Situación Energética de Colombia</i>	29
Metodología.....	31
Oportunidades de la Transición Energética	32
Beneficios Económicos.....	33
<i>Ahorros en Costos Energéticos: Mediano y Largo Plazo</i>	39
Incentivos Fiscales y su Impacto en Diferentes Sectores: Industrial, Comercial, Agropecuario	41
<i>Impacto en el Sector Industrial</i>	43
<i>Impacto en el Sector Comercial</i>	44
<i>Impacto en el Sector Agropecuario</i>	45
Ventajas de la Transición Energética	46
<i>Reducción de la Huella de Carbono y Contribución a los ODS</i>	47
<i>Mejora de la Calidad del Aire y Co-Beneficios para La Salud</i>	48
<i>Diversificación de la Matriz Energética y Resiliencia Climática</i>	48
<i>Conservación de Ecosistemas y Menores Externalidades</i>	48

<i>Electrificación de Zonas no Interconectadas (ZNI) y Mejora del Acceso: el Caso Práctico</i>	49
<i>Democratización del Acceso y Comunidades Energéticas</i>	50
<i>Empleo Local - Formación Técnica y Desarrollo Productivo</i>	50
<i>Equidad y Reducción de la Pobreza Energética</i>	51
<i>Fortalecimiento Comunitario y Gobernanza Local</i>	53
Desafíos para una Transición Inclusiva	55
Barreras Estructurales	55
Limitaciones Técnicas Diferenciadas	55
Asimetrías en Acceso a Financiamiento	57
Obstáculos Socio Institucionales	58
Desarticulación Normativa	59
Resistencia al Cambio y Desconfianza Cultural	60
Riesgos de una Transición no Justa	62
Concentración de Beneficios en Grandes Empresas.....	62
Marginalización de Comunidades Rurales	63
Casos Exitosos de Transición Energética Justa y Sostenible en Colombia	65
Sector Empresarial	65
<i>Energía Solar: Ecopetrol - Parque Solar Castilla y San Fernando en el Meta</i>	65
<i>Energía Eólica: Enel Green Power - Parque Eólico Windpeshi en la Guajira</i>	68
<i>Energía Hidráulica: Pequeña Central Hidroeléctrica Celsia San Andrés de Cuerquia</i>	70
<i>Biomasa: Biol Comercial Certificado como Acondicionador Orgánico de Suelos a Partir de Porcinaza</i>	72
Proyectos Comunitarios y Rurales.....	74
<i>Electrificación Rural con Energía Solar: Un Enfoque Comunitario del Proyecto IPSE-MME</i>	74
<i>Mingueo: Electromovilidad Solar y Retrofitting Comunitario como Pilares de una Transición Energética Inclusiva</i>	76
<i>Autonomía Alimentaria y Energética: El Modelo Comunitario Solar del Pueblo Pijao</i>	79
<i>Energía Solar para la Paz: Acceso Energético como Herramienta de Reparación Colectiva y Desarrollo Comunitario</i>	81
Alianzas Público-Privadas	84
<i>Energía Solar: Proyecto Sol-Kai</i>	84

<i>Energía Eólica: SENA Regional Guajira el Primer Laboratorio Eólico del País</i>	86
<i>Energía Hidráulica: Proyecto Ituango</i>	88
<i>Biomasa: Estrategias de Incauca en la Transición hacia la Energía Limpia</i>	90
Conclusiones	94
Referencias Bibliográficas	97

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Incentivos fiscales y aduaneros para proyectos FNCER en Colombia</i>	42
--	----

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Proyectos de transición energética en Colombia</i>	34
Figura 2 <i>Incentivos tributarios de la Ley 1715</i>	35
Figura 3 <i>Mapa de la energía solar en Colombia</i>	38
Figura 4 <i>Parque solar Castilla, departamento del Meta, Colombia</i>	67
Figura 5 <i>Parque solar San Fernando, Meta, Colombia</i>	68
Figura 6 <i>Proyecto eólico Windpeshi</i>	69
Figura 7 <i>La pequeña central hidroeléctrica San Andrés</i>	71
Figura 8 <i>Proceso de producción de biol a partir de porcinaza en biodigestor tipo Taiwán</i>	73
Figura 9 <i>Acceso a energía solar en hogares rurales</i>	76
Figura 10 <i>Mingueo: electromovilidad solar y retrofitting comunitario</i>	78
Figura 11 <i>Emprendimientos con energía solar</i>	81
Figura 12 <i>Energía solar para la paz</i>	83
Figura 13 <i>Proyecto Sol-Kai en la Guajira</i>	86
Figura 14 <i>El primer laboratorio eólico del país SENA Regional Guajira</i>	88
Figura 15 <i>Mujeres participando en actividades de restauración ecológica</i>	90
Figura 16 <i>Proceso de carga y transporte de biomasa cañera en instalaciones industriales</i>	92

Lista de Abreviaturas

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

EPM: Empresas Públicas de Medellín

ESG: Environmental, Social and Governance (Ambiental, Social y de Gobernanza)

FAER: Fondo de Apoyo Energético Rural

FAZNI: Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas

FDN: Financiera de Desarrollo Nacional

FENOG: Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía

FNCER: Fuentes No Convencionales de Energía Renovable

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GWh: Gigavatio-hora

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IPSE: Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas

IRENA: International Renewable Energy Agency (Agencia Internacional de Energías Renovables)

IVA: Impuesto al Valor Agregado

LASolar: Licencia Ambiental Solar

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MME: Ministerio de Minas y Energía

MW: Megavatio

MWp: Megavatio pico

NDC: Nationally Determined Contributions (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional)

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

OIT: Organización Internacional del Trabajo

PCH: Pequeña Central Hidroeléctrica

PEN: Plan Energético Nacional

PIRC: Planes Integrales de Reparación Colectiva

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PPA: Power Purchase Agreement (Acuerdo de Compra de Energía)

PROURE: Programa de Uso Racional de la Energía

SEI: Stockholm Environment Institute (Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo)

SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje

SIN: Sistema Interconectado Nacional

SSFV: Sistemas Solares Fotovoltaicos

UARIV: Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas

UPME: Unidad de Planeación Minero-Energética

VPN: Valor Presente Neto

ZNI: Zonas No Interconectadas

Convenciones de Citación (utilizadas en el documento)

s.f.: sin fecha

p.: página

pp.: páginas

párr.: párrafo

art.: artículo

Introducción

La transición energética constituye un proceso clave para el desarrollo sostenible, orientado a la diversificación de la matriz energética y a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles. En Colombia, este proceso adquiere especial relevancia debido al potencial del país en fuentes no convencionales de energía renovable y a la necesidad de avanzar hacia modelos energéticos más eficientes, equitativos y ambientalmente responsables. Sin embargo, la implementación de estos cambios enfrenta múltiples desafíos de carácter técnico, económico, social y organizacional.

En este contexto, el sector empresarial y las comunidades vulnerables presentan realidades diferenciadas frente a la transición energética. Mientras algunas organizaciones cuentan con mayores capacidades de gestión y acceso a recursos para adoptar nuevas tecnologías, diversas comunidades, en especial en territorios con limitaciones estructurales, encuentran barreras que dificultan su participación efectiva en este proceso. Estas diferencias evidencian la importancia de analizar la transición energética desde una perspectiva integral que considere no solo los aspectos tecnológicos, sino también los modelos de gestión y las dinámicas organizacionales.

Por lo anterior, esta monografía analiza las oportunidades y los desafíos de la transición energética en Colombia, a partir de una revisión documental, con el fin de aportar elementos de comprensión que permitan identificar factores críticos para el desarrollo de una transición energética justa y sostenible, tanto en el ámbito empresarial como en las comunidades vulnerables.

Planteamiento del Problema

En Colombia, la transición hacia un modelo energético bajo en carbono enfrenta un doble desafío: avanzar hacia una matriz más limpia y sostenible, y garantizar que dicho cambio sea justo para todos los sectores de la sociedad.

Según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), el país cuenta con un potencial solar promedio de 4,5 kWh/m²/día, superior al promedio mundial de 3,9 kWh/m²/día, lo que posiciona a la energía solar como una de las fuentes renovables más promisorias para diversificar la matriz eléctrica nacional (UPME, 2024). Sin embargo, este potencial no se ha traducido plenamente en capacidad instalada, ya que, a finales de 2024, la energía solar representaba apenas el 9 % de la capacidad total efectiva, mientras que los sistemas fotovoltaicos en zonas no interconectadas (ZNI) continúan siendo incipientes, limitados por altos costos iniciales, falta de infraestructura y barreras regulatorias (SEI, 2025).

La distinción entre energía solar y sistemas fotovoltaicos es crucial: mientras la primera se refiere a la radiación proveniente del sol como recurso energético, los sistemas fotovoltaicos son tecnologías específicas que convierten esa radiación en electricidad utilizable. Aunque Colombia posee condiciones geográficas excepcionales para ambas, su implementación enfrenta desigualdades marcadas entre el sector empresarial y las comunidades vulnerables.

En este contexto, es fundamental precisar qué se entiende por comunidades vulnerables: grupos poblacionales que, debido a factores socioeconómicos, geográficos o culturales, presentan limitaciones para acceder a servicios básicos, incluyendo la energía eléctrica, y tienen menor capacidad para adaptarse a cambios en el entorno (DANE, 2021). Muchas de estas comunidades se ubican en zonas no interconectadas (ZNI), territorios fuera del Sistema Interconectado Nacional donde el suministro energético depende de soluciones aisladas,

frecuentemente basadas en diésel u otras fuentes contaminantes (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2023).

Por otra parte, la transición justa implica que el paso hacia energías limpias debe incorporar criterios de equidad, participación comunitaria y generación de beneficios socioeconómicos para los más afectados por el cambio, evitando la exclusión y garantizando la distribución equitativa de los beneficios (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2015). En Colombia, esta perspectiva se enfrenta a tensiones entre la urgencia climática y la realidad social: mientras grandes empresas han comenzado a invertir en parques solares y eólicos de gran escala, muchas comunidades rurales siguen dependiendo de fuentes fósiles de alto costo y bajo rendimiento.

El sector empresarial ha encontrado oportunidades en incentivos fiscales, diversificación de ingresos y cumplimiento de metas de sostenibilidad corporativa. Empresas energéticas han instalado proyectos fotovoltaicos y eólicos, contribuyendo a reducir emisiones y a mejorar su competitividad. Sin embargo, como advierte el Stockholm Environment Institute - SEI (2025, p. 1), “la inversión en energías renovables en Colombia cayó casi un 70 % entre 2022 y 2023 debido a cambios en incentivos y presiones sobre los precios de la energía”, lo que pone en riesgo las metas del Plan Energético Nacional.

En contraste, las comunidades vulnerables enfrentan barreras más estructurales: ausencia de financiamiento, baja capacitación técnica, y dificultades para integrarse a redes energéticas comunitarias. Aunque existen casos exitosos de implementación de microrredes solares y programas piloto en ZNI (por ejemplo, en La Guajira y el Chocó) su alcance es limitado y depende en gran medida de cooperación internacional o programas estatales de corto plazo.

Esta brecha plantea la necesidad urgente de articular políticas, financiamiento y soluciones tecnológicas que respondan simultáneamente a los intereses del sector empresarial y a las necesidades energéticas de comunidades marginadas, garantizando que la transición energética sea sostenible y equitativa en el largo plazo. Por lo tanto, esta monografía busca responder a la siguiente pregunta:

¿Desde el marco de una transición energética justa y sostenible, ¿cuáles son las ventajas oportunidades y desafíos que representa la adopción de la energía solar para el sector empresarial colombiano y para las comunidades vulnerables, dadas las condiciones técnicas, económicas y regulatorias actuales del país?

Justificación

Colombia se encuentra en una coyuntura crítica para avanzar hacia una transición energética justa y sostenible, entendida, según el Plan Energético Nacional 2024-2054, como un proceso que debe "garantizar la reducción de emisiones y la inclusión social, priorizando a las poblaciones más vulnerables en el acceso y los beneficios del cambio tecnológico" (UPME, 2024, p. 48). El país cuenta con un potencial solar promedio de 4,5 kWh/m²/día, superior al promedio mundial (3,9 kWh/m²/día) (UPME, 2024), lo que representa una oportunidad estratégica para diversificar la matriz energética.

Es crucial diferenciar entre energía solar (recurso natural medido en radiación) y sistemas fotovoltaicos (tecnología que convierte dicha radiación en electricidad), ya que, aunque están relacionados, su aplicación efectiva enfrenta brechas técnicas, económicas y sociales (Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2022). Este contraste entre potencial y realidad subraya la necesidad de analizar las desigualdades en el acceso a tecnologías limpias, especialmente para las comunidades vulnerables definidas por el DANE (2021) como grupos con limitaciones estructurales para acceder a servicios básicos y el sector empresarial, que dispone de mayores recursos para capitalizar la transición.

Colombia posee un enorme potencial para el desarrollo de energías renovables, el cual se deriva de su privilegiada ubicación geográfica y la diversidad de sus ecosistemas. Como señalan Herrera et al. (2021), "Colombia por su ubicación en la línea ecuatorial, cuenta con gran potencial para la implementación de energías limpias, dado por sus ecosistemas diversos, a partir del agua, viento, el sol y los residuos de biomasa tales como la caña de azúcar, aceite de palma, arroz y plátano, sin dejar de lado que la emisión de los rayos de luz cae durante todo el año, ya que este país no cuenta con fenómenos naturales" (p. 22).

Mientras el país tiene aprobados 13,5 GW en proyectos solares y 2,8 GW eólicos para 2023-2033 (UPME, 2024), "la capacidad instalada solar y eólica representó alrededor del 9% de la matriz eléctrica total en 2024" (SEI, 2025). Esta brecha se explica por la caída del 70% en inversiones renovables entre 2022 y 2023, atribuida a cambios en incentivos fiscales y altos costos de capital (SEI, 2025). En las ZNI, la dependencia del diésel persiste en un 86% (IDEAM, 2023), pese a los esfuerzos estatales por promover comunidades energéticas.

Las comunidades vulnerables, especialmente en ZNI, enfrentan barreras estructurales para acceder a energías limpias como los sistemas fotovoltaicos. Aunque el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 propone crear 20.000 comunidades energéticas (Gobierno de Colombia, 2023), proyectos como los de FENOGE (2025) revelan limitaciones: exclusión de poblaciones sin títulos de propiedad, falta de financiamiento accesible y escasa capacitación técnica. Pese a esto, iniciativas piloto demuestran impactos positivos, como ahorros del 70% en facturas eléctricas y reducciones de 18,39 toneladas de CO₂ anuales por sistema instalado (FENOGE, 2025). Estos casos contrastan con la lentitud regulatoria; como advierte el profesor Jorge Aurelio Herrera, "la dependencia de tecnologías extranjeras encarece los proyectos" (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2023).

El sector privado ha capitalizado mejor las oportunidades, impulsado por incentivos fiscales y capacidad de gestión. Empresas industriales han instalado parques solares a gran escala, alineándose con metas de sostenibilidad corporativa. No obstante, la retirada de empresas internacionales como señala Andrés Aristizábal (2023) debido a lentitud en licencias ambientales y resistencia comunitaria, expone vulnerabilidades. El caso de los "Barrios Solares" de EDP en España (EDP Energía, 2024) sugiere que la colaboración público-privada podría escalar modelos similares en Colombia, pero persisten desafíos: "la inversión en renovables cayó casi un 70%

entre 2022 y 2023 debido a cambios en incentivos fiscales, altos costos de capital y presión por reducir precios de la energía, entre otros" (SEI, 202, p.1), amenazando las metas del Plan Energético Nacional 2024-2054.

Esta monografía busca analizar estas dinámicas mediante tres ejes: primero, identificación de oportunidades y desafíos específicos, segundo, documentación de casos exitosos, y tercero contraste entre perspectivas comunitarias y empresariales. Por lo tanto, tras integrar datos oficiales con análisis académicos, se corrobora la afirmación de Isaac Dyer de que “la voluntad política y el consenso social son pilares irrenunciables” (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2023).

Objetivos

Objetivo General

Analizar cuáles son las oportunidades y desafíos en la transición energética a los cuales se enfrentan las comunidades vulnerables y el sector empresarial en Colombia.

Objetivos Específicos

Identificar las oportunidades y desafíos con los que cuentan las comunidades vulnerables y el sector empresarial en Colombia hacia una transición energética justa y sostenible.

Documentar casos exitosos de transición energética justa y sostenible en comunidades vulnerables y sector empresarial de Colombia

Marco Referencial

Antecedentes de la Transición Energética

La transición energética, si bien puede percibirse como un concepto técnico, constituye en esencia un proceso de profunda relevancia humana. Representa el cambio progresivo desde un modelo dependiente de combustibles fósiles hacia uno fundamentado en energías renovables. En Colombia, las más comunes incluyen la solar, la eólica y la biomasa, entre otras. No se trata únicamente de una evolución tecnológica, sino de un imperativo para garantizar un futuro sostenible. Podría compararse con adoptar hábitos más saludables: un proceso gradual, pero de urgente implementación.

A nivel global, este cambio responde a la necesidad de mitigar el cambio climático, reducir emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar un suministro energético más justo y sostenible. El Acuerdo de París de 2015 marcó un hito al comprometer a 195 países a limitar el calentamiento global a menos de 2 °C (Shell Colombia, 2025). Desde entonces, la transición energética ha dejado de ser una opción para convertirse en una obligación moral y política.

En Colombia, el panorama es complejo. Aunque el país tiene un potencial enorme en energías renovables, “según el Ministerio de Minas y Energía (2021), se reconoce a Colombia como un país privilegiado por su situación geográfica; ocupa el sexto lugar en recursos hídricos renovables y tiene, especialmente en la zona norte del país, un 60 % más de radiación solar y una velocidad de viento dos veces más rápida que el promedio mundial.” (como se citó en Niño Villamizar et al., 2023, p. 144), No obstante, este potencial contrasta con la realidad de la matriz energética actual, como advierte la UPME (2019), "el país ha empezado una serie de inversiones en fuentes de energía renovables, sin embargo, aún mantiene su dependencia del petróleo y de sus derivados" (como se citó en Niño Villamizar et al., 2023, p. 141). Según *Forbes Colombia*

(2025), la capacidad instalada de fuentes no convencionales de energía renovable de ahora en adelante (FNCER) apenas alcanzaba 79,04 MW en 2024, frente a una meta de 6.000 MW para 2026. Es decir, vamos tarde. Y no es por falta de recursos naturales, sino por barreras institucionales, sociales y técnicas.

Además, el contexto colombiano exige una transición que no solo sea limpia, sino también justa y sostenible. Una transición justa implica garantizar que los beneficios de las energías renovables alcancen a las comunidades vulnerables y reduzcan las desigualdades, mientras que la sostenibilidad asegura que los proyectos perduren en el tiempo sin comprometer los recursos futuros. Para lograr este objetivo, se establece que el diálogo continuo, la comunicación asertiva y la protección integral de los derechos de las comunidades constituyen la base fundamental para asegurar el éxito de la transición energética y su viabilidad a largo plazo (UPME, 2023).

la transición energética justa y sostenible es una oportunidad para repensar el modelo de desarrollo del país. Pero también es un desafío que exige coordinación entre gobierno, empresas y sociedad civil.

Marco Conceptual

Sostenibilidad Energética: Dimensiones Económica, Ambiental y Social

La sostenibilidad energética no es un concepto unívoco, sino un entramado que busca armonizar tres ejes interdependientes: la economía, el medio ambiente y el bienestar social. Cada dimensión aporta una perspectiva única, pero es en su convergencia donde radica el potencial para una transición energética justa y perdurable. Este enfoque multidimensional resulta clave en el análisis de las oportunidades y desafíos de la adopción de energía solar en el sector industrial colombiano.

La dimensión económica evalúa la factibilidad y el impacto financiero de la adopción de tecnologías limpias. Así, el análisis de productividad y costo energético, como lo reseña el DANE en su boletín técnico sobre los flujos de energía, destaca que mejorar la eficiencia permite reducir gastos operativos y fortalecer la competitividad industrial, sin dejar de valorar el retorno de la inversión y la renovación de infraestructuras (DANE, 2023).

Por otra parte, la dimensión ambiental apunta a la conservación de los recursos naturales y a la mitigación de gases de efecto invernadero. Desde esta óptica, la sostenibilidad energética se traduce en prácticas como el aprovechamiento de fuentes renovables no convencionales y la optimización de procesos, que disminuyen la huella de carbono y preservan los ecosistemas locales, tal como propone la Guía De Formulación De Proyectos Empresariales Para La Sostenibilidad Energética de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (2022).

En cambio, la dimensión social pone el acento en el acceso equitativo a la energía y en la participación de las comunidades afectadas por los proyectos. Una planificación inclusiva que identifique vacíos y necesidades territoriales, como sugiere el estudio de la UPME (2024) no solo mejora la viabilidad técnica, sino que garantiza mayor aceptación y arraigo local, factores decisivos para el éxito de cualquier iniciativa de transición.

No obstante, aunque cada dimensión reivindica objetivos distintos, su efectividad radica en la sinergia: una estrategia meramente económica sin respaldo ambiental puede generar resistencias; un enfoque social aislado, por su parte, carece de solidez financiera. Solo al entrelazar estos tres pilares se configura un modelo integral en el cual la energía solar puede convertirse, al fin, en motor de desarrollo sostenible para la industria colombiana.

Marco Teórico

Tecnologías Fotovoltaicas Relevantes para Empresas/Comunidades

La transición energética en Colombia ha empezado a tomar fuerza en los últimos años, y las tecnologías fotovoltaicas, destacan como una opción viable para el sector industrial. Aunque persiste cierta incertidumbre sobre su aplicabilidad en entornos productivos complejos, entre las soluciones tecnológicas adaptables destacan los sistemas híbridos (solar-diésel) para zonas no interconectadas, mencionados en el informe del BID (2022), y los micro inversores que optimizan la generación en condiciones de sombreado parcial, según Muñoz (2023). No hablamos solo de instalar paneles en techos, sino de rediseñar procesos para aprovechar mejor esta fuente limpia.

Según el informe del Stockholm Environment Institute elaborado por Vega-Araújo et al. (2025), las tecnologías fotovoltaicas conectadas a la red (on-grid) representan el 78% de las instalaciones solares en el sector empresarial colombiano, destacándose como las más utilizadas. Como explica el profesor Jorge Aurelio Herrera de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (como se citó en Dyner, 2023), esta preferencia se debe a que "permiten reducir el consumo convencional sin requerir almacenamiento, generando ahorros inmediatos en las facturas eléctricas" (p. 9). Además, el FENOGE (2025) confirma que el 92% de las pymes industriales con sistemas solares optan por esta tecnología. Este predominio ha sido impulsado por los incentivos establecidos en la Ley 2099 de 2021 (Congreso de Colombia, 2021), que facilita la conexión a la red nacional mediante beneficios fiscales y simplificación de trámites (Art. 5).

Sin embargo, en contextos comunitarios, como las Zonas No Interconectadas de ahora en adelante (ZNI), los sistemas *off-grid* han demostrado ser una solución viable. Proyectos

como "Energía Solar ¡Para Economías Populares!" del FENOGE (2025) muestran que estos sistemas pueden reducir hasta un 70% los costos energéticos en pequeños negocios, con ahorros anuales equivalentes a 18.39 toneladas de CO₂ por instalación.

Entre las tecnologías más relevantes se destacan los paneles bifaciales, que aumentan la generación en un 30% al captar radiación por ambas caras, y los sistemas de seguimiento solar, que optimizan la captación durante horas pico (Muñoz, 2023, como se citó en SEI, 2025, p. 15). Adicionalmente, la energía solar térmica está siendo reevaluada para procesos industriales que demandan calor, como en la agroindustria o en la elaboración de productos alimenticios, con potencial en regiones como La Guajira, donde la radiación supera el promedio nacional (IDEAM, 2023). No obstante, como advierte el Ministerio de Minas y Energía (2025), el éxito de estas tecnologías depende de su adaptación a contextos locales: mientras las empresas pueden acceder a financiamiento para sistemas *on-grid*, las comunidades rurales requieren esquemas de financiación flexibles y capacitación técnica, tal como lo evidencian los casos documentados por (Noticias RCN, 2025) el proyecto: Electrificación Solar con Enfoque Comunitario para Zonas Rurales Aisladas del Ministerio de Minas y Energía (MME) y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE). Estas regiones podrían liderar proyectos industriales sostenibles si se canalizan correctamente los recursos.

Además, el Gobierno ha dado pasos adicionales. El Decreto *Colombia Solar* del Ministerio de Minas y Energía (2025) propone lineamientos claros para fomentar el uso de tecnologías solares en sectores productivos, con énfasis en eficiencia y sostenibilidad. En conjunto con iniciativas como "Energía Solar ¡Para Economías Populares!" del FENOGE (2023), se vislumbra una apuesta más sólida por democratizar el acceso a esta tecnología, incluso si todavía quedan desafíos técnicos y financieros por resolver.

El camino no es fácil, pero está cada vez mejor trazado. La energía solar ofrece alternativas concretas que, si se aplican con criterio y acompañamiento técnico, pueden transformar la forma en que las industrias colombianas consumen energía. No es una solución universal, pero sí una oportunidad tangible para avanzar hacia la sostenibilidad con enfoque territorial y estratégico.

Modelos de Gestión Organizacional para la Sostenibilidad Energética

La sostenibilidad energética en las comunidades y en el sector industrial colombiano no puede entenderse sin considerar los modelos de gestión organizacional que la hacen viable. En los últimos años, se ha evidenciado un giro hacia enfoques más integrales que no solo buscan eficiencia técnica, sino también coherencia con los objetivos ambientales y sociales. Aunque existen múltiples modelos, tres enfoques han ganado relevancia: el modelo basado en sistemas de gestión energética (como ISO 50001), el enfoque de madurez organizacional, y las estrategias híbridas que combinan eficiencia operativa con innovación social.

El modelo ISO 50001, por ejemplo, ha sido adoptado por varias empresas colombianas como herramienta para estructurar procesos de mejora continua en el uso de la energía. Sin embargo, su implementación efectiva depende de la cultura organizacional y del compromiso de la alta dirección (Piñeres Castillo et al., 2022). En algunos casos, se ha observado que la certificación no garantiza resultados si no se acompaña de una transformación interna real.

Por otro lado, los modelos de madurez permiten evaluar el grado de avance de una organización en términos de sostenibilidad energética. Estos modelos consideran dimensiones como liderazgo, planificación estratégica, medición de desempeño y participación de los trabajadores. Según Niño Villamizar et al. (2023), el uso de herramientas de análisis

bibliométrico ha permitido identificar que las empresas que integran estos modelos tienden a tener una mayor capacidad de adaptación frente a los retos de la transición energética.

En el contexto colombiano, también se han desarrollado estrategias híbridas que combinan elementos técnicos con mecanismos de gobernanza colaborativa. Por ejemplo, algunas industrias han comenzado a formar alianzas con comunidades locales para desarrollar proyectos solares compartidos, lo que no solo mejora la eficiencia energética, sino que también fortalece el tejido social. Esta tendencia se alinea con lo planteado por Tejada Guzmán (2022), quien destaca la importancia de incorporar criterios de justicia energética en los modelos de gestión.

Podemos decir que, los modelos de gestión organizacional para la sostenibilidad energética no son fórmulas únicas, sino marcos flexibles que deben adaptarse a las condiciones específicas de cada empresa. Lo que sí parece claro es que la transición energética exige una gestión más consciente, participativa y orientada al largo plazo.

Marco Contextual

Situación Energética de Colombia

Colombia cuenta con un potencial solar excepcional, con una radiación promedio de 4.5 kWh/m²/día, superior al promedio mundial (UPME, 2024). Sin embargo, su matriz energética aún mantiene una dependencia significativa de fuentes fósiles e hidroeléctricas, con las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) representando apenas el 9% de la capacidad instalada en 2024 (Stockholm Environment Institute [SEI], 2025).

El marco normativo, encabezado por la Ley 1715 de 2014 y su modificación mediante la Ley 2099 de 2021, establece incentivos para fomentar esta transición. Un contexto particular lo constituyen las Zonas No Interconectadas (ZNI), territorios sin conexión al Sistema

Interconectado Nacional donde persiste la dependencia de diésel y donde el acceso a energías limpias representa un desafío técnico y social adicional (IDEAM, 2023).

Metodología

Este estudio emplea un enfoque cualitativo y cuantitativo basado en revisión documental sistemática, analizando críticamente fuentes primarias y secundarias como informes gubernamentales (UPME, DANE etc.), artículos académicos, normativas y casos de estudio publicados entre el 2015 hasta el 2025. La selección priorizó documentos que abordaran tanto el sector empresarial como comunidades vulnerables, aplicando criterios de relevancia temática, rigor metodológico y representatividad geográfica.

Se empleó una matriz de análisis documental con categorías alineadas a los objetivos del estudio: oportunidades económicas y ambientales, barreras técnicas y financieras, y experiencias relevantes en el contexto colombiano. Esta herramienta permitió comparar datos cuantitativos (capacidad instalada, ahorros) con análisis cualitativos (percepciones locales, estudios de caso), identificando patrones como la desigualdad en el acceso a incentivos o las diferencias en adopción tecnológica.

El proceso incluyó: búsqueda en repositorios académicos e institucionales, evaluación crítica mediante fichas analíticas, y síntesis interpretativa contrastando perspectivas empresariales y comunitarias. Los hallazgos se organizaron para responder a los objetivos, proponiendo recomendaciones diferenciadas que superen el análisis descriptivo.

El proceso incluyó tres fases principales: primero, la búsqueda y selección de documentos clave; segundo, la extracción y sistematización de información relevante; y tercero, el análisis interpretativo para generar conclusiones coherentes con la realidad colombiana. El método permite una comprensión profunda del fenómeno basado en la revisión de fuentes disponibles públicamente.

Oportunidades de la Transición Energética

En Colombia, la transición energética ha pasado de ser una promesa para constituirse en un motor tangible para la industria nacional. Gracias a la elevada radiación en regiones como la Guajira y el Caribe, junto con incentivos como la exención del IVA y deducciones en el impuesto sobre la renta para la importación, el sector ha generado un entorno atractivo para la inversión privada (Lumen S.A.S., 2025; Becerra, 2025). Esta conjunción de factores ha impulsado a empresas de agroindustria, manufactura y química a explorar el autoconsumo como ruta para optimizar costos y reducir emisiones.

En junio de 2025, la capacidad instalada de generación solar en el país alcanzó los 2030 MW, lo que constituyó un aumento cercano al 60 % con respecto al año anterior (Becerra, 2025). No obstante, el crecimiento acelerado ha tensionado la infraestructura de transmisión y exigidos ajustes regulatorios. La Resolución CREG 148 de 2021 estableció criterios de confiabilidad que, si bien aseguran la estabilidad del Sistema Interconectado Nacional, obligan a los proyectos a cumplir requisitos adicionales de respaldo energético.

la energía hidráulica continúa siendo la columna vertebral de la matriz energética colombiana, manteniéndose como la fuente predominante (Ambiente Soluciones, 2024). La energía eólica, por su parte, muestra una expansión con 30 proyectos registrados, aunque enfrenta obstáculos relacionados con licenciamiento ambiental y conexión a redes, lo que ha ralentizado su implementación. Finalmente, la biomasa permanece como una fuente marginal, con apenas cuatro proyectos activos en 2024, lo que evidencia su limitada participación en el panorama energético nacional (Ambiente Soluciones, 2024; DNP, 2024).

Para superar estos cuellos de botella, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) presentó en julio de 2025 el borrador de la Licencia Ambiental Solar (LASolar),

dirigida a proyectos entre 10 y 100 MW. El nuevo esquema “reduce en un 70 % los tiempos de aprobación” y contempla criterios de conservación de humedales y reservas forestales, así como mecanismos de participación local (Gobierno de Colombia, 2025). Con ello, se busca acelerar el despliegue de parques solares sin sacrificar estándares ambientales.

Más allá del cumplimiento normativo, la transición hacia sistemas de generación de energías limpias ofrece claras ventajas estratégicas para la industria. Por un lado, permite mejorar el perfil ESG (*Environmental, Social and Governance*) y garantizar suministro ante la volatilidad de los precios de combustibles fósiles. Por otro, fomenta la resiliencia energética mediante micro redes. En este sentido, Vega-Araújo, Muñoz Cabré y Gil (2025) destacan que las comunidades energéticas son un pilar clave para descentralizar el acceso a la energía y fomentar la participación local, en línea con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026., lo cual abre la puerta a innovaciones organizativas que involucren tanto a empresas como a municipios vecinos.

A partir de este panorama, el presente capítulo explora en detalle las oportunidades que ofrece la implementación de sistemas de energías limpias. Se analizarán beneficios económicos, ventajas ambientales y sociales, con el fin de ofrecer una guía práctica y cercana que facilite la toma de decisiones hacia una industria más competitiva y sostenible.

Beneficios Económicos

La transición hacia sistemas de generación de energía solar en Colombia no solo responde a una urgencia ambiental, sino que también representa una clara oportunidad desde el punto de vista económico. En los últimos años, diferentes estudios han evidenciado que la implementación de tecnologías solares fotovoltaicas puede traducirse en una notable rentabilidad tanto para hogares como para empresas, especialmente en regiones donde el acceso a la red

eléctrica convencional es limitado o costoso. Tal como se muestra en la Figura 1, los proyectos de transición energética en Colombia evidencian el avance del país hacia la incorporación de fuentes renovables, especialmente a partir de iniciativas solares de gran escala.

Figura 1

Proyectos de transición energética en Colombia



Nota. La figura presenta los principales proyectos de energías renovables programados para su inauguración en Colombia. Reproducido de *Exclusivo: Los 37 proyectos de energías renovables que se inaugurarán en Colombia este año* (Infografía), por Adminserc, 2021, Energía Estratégica, en SER Colombia (<https://ser-colombia.org/2021/noticias-del-sector/energia-estrategica-exclusivo-los-37-proyectos-de-energias-renovables-que-se-inauguraran-en-colombia-este-ano/>). Copyright 2021 por SER Colombia.

Uno de los principales beneficios económicos de los sistemas fotovoltaicos es su capacidad para reducir los costos operativos en el mediano y largo plazo. Según Herrera, Pesca y Cortés (2021), la implementación de sistemas de energía solar puede disminuir considerablemente el gasto mensual en energía eléctrica, ya que los usuarios generan su propia electricidad, reduciendo así la dependencia de proveedores tradicionales. Esto es especialmente

relevante en el contexto colombiano, donde los precios de la energía pueden ser inestables debido a factores climáticos y geopolíticos, como ocurrió en varios departamentos durante los fenómenos del Niño.

Además de la reducción directa en costos de consumo, los sistemas solares presentan ventajas fiscales considerables. La Ley 1715 de 2014 establece incentivos tributarios significativos para quienes invierten en energías renovables no convencionales. En concreto, quienes instalan sistemas solares pueden acceder a una deducción de hasta el 50 % en el impuesto de renta durante cinco años, siempre que cuenten con el certificado de beneficio ambiental expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Castro & Luna, 2021).

Este tipo de medidas convierte a la energía solar en una inversión más atractiva, no solo desde lo técnico, sino desde una lógica contable y financiera. En este sentido, la Figura 2 presenta los principales beneficios tributarios establecidos en la Ley 1715 de 2014, los cuales resultan fundamentales para dinamizar el mercado de la energía solar en Colombia.

Figura 2

Incentivos tributarios de la Ley 1715



Nota. Ilustración de los beneficios tributarios que la Ley 1715 otorga a los proyectos de energías renovables en Colombia. Reproducido de *Colombia expide beneficios tributarios para proyectos*

de energías renovables por más de 3.300 MW (Figura o gráfico), por G. Gubinelli, 2020, Energía Estratégica. (<https://www.energiaestrategica.com/colombia-expide-beneficios-tributarios-para-proyectos-de-energias-renovables-por-mas-de-3-300-mw/>).

Por otro lado, se ha demostrado que los costos de mantenimiento de estos sistemas son relativamente bajos, especialmente si se comparan con otras tecnologías de generación de energía. Según Gómez (2018, como se citó en Herrera et al., 2021), los equipos fotovoltaicos tienen una vida útil de aproximadamente 25 años y requieren únicamente mantenimientos preventivos periódicos, lo que contribuye a amortizar la inversión inicial en un lapso razonable. Esto implica que, una vez instalado el sistema, los gastos anuales se reducen a mínimos, generando una curva de rentabilidad cada vez más pronunciada a favor del usuario.

Un elemento clave para comprender estos beneficios es considerar el potencial geográfico y solar del país. Colombia, gracias a su ubicación en la zona ecuatorial, cuenta con una radiación solar promedio de 4,5 kWh/m²/día, superior al promedio mundial (Ramírez, Murcia & Rojas, 2016, como se citó en Herrera et al., 2021). Esta ventaja natural implica que, incluso con una instalación de escala media, se puede generar suficiente energía para abastecer una vivienda o pequeña empresa durante buena parte del año, maximizando el rendimiento económico de la inversión inicial.

Desde una perspectiva macroeconómica Aquí es donde el uso de opciones reales se convierte, el impulso a proyectos solares también representa una estrategia para disminuir la vulnerabilidad del país ante las fluctuaciones de los precios internacionales del petróleo, el carbón o el gas, fuentes todavía predominantes en el sistema energético nacional. Castro y Luna (2021) advierten que uno de los errores frecuentes en la valoración de estos proyectos es aplicar únicamente metodologías tradicionales como el Valor Presente Neto (VPN), las cuales no

contemplan adecuadamente la incertidumbre ni la flexibilidad que otorgan tecnologías como la solar, que pueden escalarse o contraerse según las condiciones del entorno.

Aquí es donde el uso de opciones reales se convierte en una herramienta poderosa. Esta metodología permite incorporar escenarios dinámicos de expansión, abandono o reducción de escala del proyecto, ajustándose a la realidad económica y operativa. Así, un proyecto que inicialmente parezca inviable puede convertirse en rentable si se considera su flexibilidad y adaptabilidad (Amram & Kulatilaka, 2000, como se citó en Castro & Luna, 2021). En este sentido, la inversión en energía solar en Colombia deja de ser un gasto riesgoso para transformarse en una apuesta estratégica con potencial de alto impacto.

Otra ventaja importante desde lo económico es la capacidad de estas tecnologías para brindar autonomía energética a zonas rurales y no interconectadas del país. En estos contextos, donde los costos de extensión de redes convencionales son elevados o técnicamente inviables, la instalación de paneles solares representa una solución costo-efectiva y sostenible. Como lo señala Gómez-Ramírez et al. (2017, como se citó en Herrera et al., 2021), esta opción permite suplir necesidades básicas como iluminación, funcionamiento de electrodomésticos o carga de equipos, sin necesidad de grandes inversiones en infraestructura.

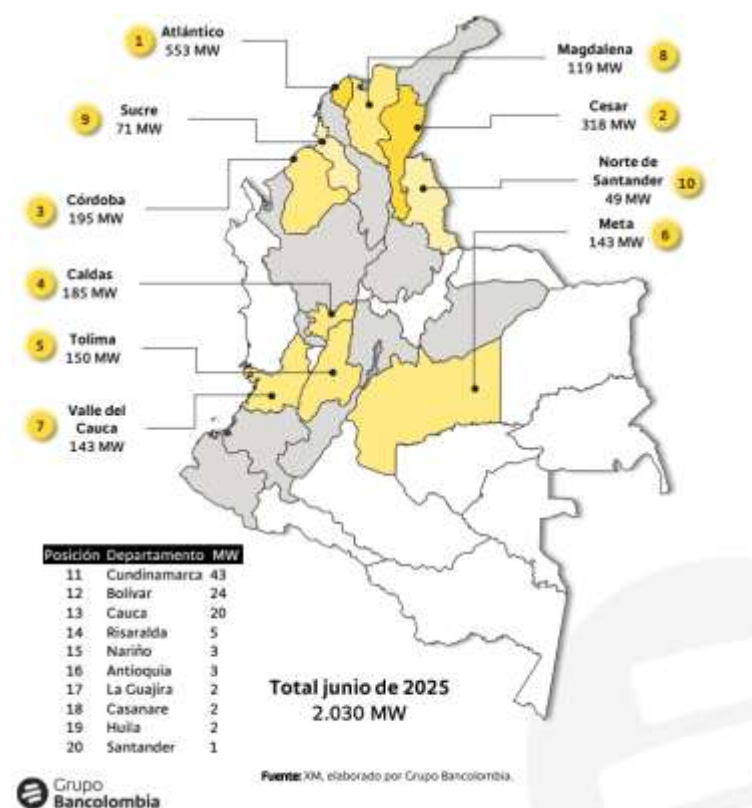
Finalmente, debe considerarse el crecimiento del mercado de las energías limpias como un factor que dinamiza sectores productivos, genera empleos locales (desde la instalación hasta el mantenimiento) y fomenta la innovación tecnológica.

El crecimiento sostenido en la instalación de parques solares en Colombia, como el caso emblemático de Ecopetrol en San Fernando, es una señal clara de que los actores del sector energético reconocen el valor económico de esta transición (Castro & Luna, 2021). En este contexto, la Figura 3 permite visualizar la distribución territorial y la concentración de la

capacidad solar instalada en el país, lo que facilita comprender las regiones que lideran el desarrollo del mercado solar colombiano.

Figura 3

Mapa de la energía solar en Colombia



Nota. La figura ilustra que, a junio de 2025, el 61,9% de la capacidad solar instalada se concentra en la región Caribe, siendo Atlántico el departamento líder. Reproducido de *Mapa de la energía solar en Colombia* [Post], por S. Cabrales, 2025, X

(<https://x.com/SergioCabrales/status/1946528695952499035>).

Antes de cerrar este apartado, es pertinente señalar que uno de los beneficios económicos más relevantes y que será desarrollado con mayor profundidad en el siguiente segmento es el ahorro en costos energéticos a mediano y largo plazo, aspecto que merece un análisis detallado por su impacto directo en la rentabilidad en las pequeñas y medianas empresas y comunidades.

Ahorros en Costos Energéticos: Mediano y Largo Plazo

La adopción de sistemas fotovoltaicos en las pequeñas y medianas empresas (pymes) colombianas ha mostrado un potencial de reducción de costos energéticos de entre el 30 % y el 40 % en horizontes de tres a cinco años (UPME, 2023). Este rango, reportado por la Unidad de Planeación Minero-Energética tras el seguimiento a 48 proyectos piloto en el Eje Cafetero y la Sabana de Bogotá, refleja no solo la disminución en la factura eléctrica, sino también el efecto acumulativo de la estabilización de tarifas internas frente a los precios volátiles de la cadena mayorista.

En detalle, los ahorros derivan de tres fuentes principales. Primero, la generación propia de energía reduce el consumo neto de la red: las pymes cubren diariamente entre el 50% y el 60% de su demanda básica con paneles instalados en cubiertas o terrenos contiguos (Restrepo & Ramírez, 2021). Segundo, la autorregulación de picos permite mitigar penalizaciones por factor de potencia y demanda máxima, que en Colombia pueden equivaler a un 10 % de la factura en horarios de alta tensión (Gómez & Martínez, 2020). Finalmente, los contratos de mantenimiento incluyeron cláusulas de *performance guarantee*, grado de garantía que asegura un mínimo de generación y, por tanto, un ahorro previsible año tras año.

De acuerdo con el análisis de la UPME (2023), un sistema fotovoltaico con una vida útil estimada de 25 años y con un mantenimiento adecuado puede generar, durante su segundo decenio de operación, un ahorro equivalente a entre 2 y 3 veces el valor de la inversión inicial. Este comportamiento obedece a que, una vez amortizada la instalación, el costo marginal de la energía producida es prácticamente nulo, limitándose al mantenimiento y reposición de algunos componentes menores, como inversores o fusibles, que en promedio representan menos del 5 % del gasto anual.

Un elemento que fortalece estos ahorros a largo plazo es la reducción del riesgo financiero asociado a las fluctuaciones tarifarias. En los últimos cinco años, las tarifas del sector industrial han experimentado variaciones anuales de entre el 5 % y el 12 % Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG, 2024). Al cubrir una proporción significativa de su demanda energética con generación solar, la empresa se “blinda” de estos incrementos, permitiendo que su planificación presupuestaria se base en costos energéticos estables. Según Restrepo y Ramírez (2021), esta previsibilidad puede mejorar la calificación crediticia de la empresa en hasta un punto porcentual, lo cual, en términos de acceso a crédito, representa tasas de interés más bajas y mejores condiciones de pago.

En el ámbito comunitario, los beneficios a largo plazo también son significativos. El documento del Programa de Generación Distribuida Sostenible (2022) reporta que, en cooperativas agroindustriales, la autogeneración ha permitido financiar programas de capacitación y modernización de maquinaria con los ahorros obtenidos en la factura eléctrica. En regiones como la Costa Caribe, donde la infraestructura eléctrica es más inestable y las tarifas suelen ser más altas, el impacto positivo se percibe en plazos incluso menores, llegando a retornos de inversión de entre 3 y 4 años para instalaciones medianas de 50 a 100 kWp.

En zonas rurales, la falta de acceso a crédito y la ausencia de experiencia técnica pueden retrasar la puesta en marcha, generando un horizonte de retorno más prolongado. Por ejemplo, la Cooperativa Agroindustrial de Santander amortizó su inversión en 48 meses, mientras que la textil del Valle lo hizo en 42 (UPME, 2023).

En síntesis, la transición energética en pymes colombianas ofrece, tanto a mediano como a largo plazo, una reducción sostenida de costos energéticos que oscila entre el 30 % y el 40 % de la factura. Esta disminución no solo mejora la competitividad, sino que fortalece la capacidad

de reinversión y la estabilidad financiera de las empresas. La evidencia empírica confirma que, en condiciones favorables, estos proyectos no solo se amortizan antes de cinco años, sino que continúan generando beneficios tangibles durante dos décadas adicionales, contribuyendo así a un modelo empresarial más eficiente y resiliente.

Incentivos Fiscales y su Impacto en Diferentes Sectores: Industrial, Comercial, Agropecuario

La transición energética en Colombia no es únicamente el resultado de una voluntad ambiental o de la presión de compromisos internacionales, sino que también ha sido impulsada por una arquitectura legal que busca hacer económicamente viable la adopción de energías limpias. La Ley 1715 de 2014, modificada por la Ley 2099 de 2021, se ha convertido en la columna vertebral de este proceso, estableciendo un conjunto de incentivos fiscales que han permitido que proyectos energéticos avancen más rápido de lo que habrían podido sin ese respaldo.

El artículo 1 de la Ley 1715 de 2014 establece que su objeto es “el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, sistemas de almacenamiento de tales fuentes y uso eficiente de la energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nación I, mediante su integración al mercado eléctrico” (Congreso de Colombia, 2014, art. 1). Para lograrlo, el legislador incluyó un paquete de incentivos fiscales y aduaneros que buscan equilibrar el alto costo inicial de estas tecnologías con beneficios tributarios concretos. La Ley 2099 de 2021 no solo ratificó estas medidas, sino que también las amplió y precisó, reconociendo su importancia estratégica para la transición energética nacional (Congreso de Colombia, 2021, arts. 2-5). Dichos incentivos no se limitan a la deducción de renta, sino que abarcan mecanismos como la exclusión del impuesto al valor agregado (IVA), la exención de

aranceles para importaciones, la depreciación acelerada de activos, y otras disposiciones menos visibles, pero igualmente útiles, como la priorización en trámites ambientales y la calificación de utilidad pública, que facilita procesos administrativos y de ordenamiento territorial.

En el marco de estas leyes, se pueden identificar al menos seis medidas concretas que tienen un impacto directo en la viabilidad de proyectos solares fotovoltaicos, las cuales se resumen en la Tabla 1, donde se presentan los principales incentivos fiscales y aduaneros establecidos en la Ley 1715 de 2014 y sus modificaciones introducidas por la Ley 2099 de 2021.

Tabla 1

Incentivos fiscales y aduaneros para proyectos FNCER en Colombia

N.º	Incentivo	Descripción
1	Deducción del impuesto de renta	Autoriza deducir hasta el 50 % del valor total de la inversión en proyectos con FNCER, distribuido en un periodo de cinco (5) años, lo que reduce la carga tributaria en el corto y mediano plazo.
2	Exclusión del IVA	Elimina el cobro del IVA en la compra de equipos, materiales y servicios asociados a la implementación de proyectos con FNCER, incluyendo sistemas solares fotovoltaicos.
3	Exención de aranceles	Libera del pago de aranceles a la importación de maquinaria, equipos y repuestos destinados a la generación con FNCER.
4	Depreciación acelerada	Permite depreciar los activos utilizados en proyectos con FNCER en un periodo mínimo de tres (3) años, facilitando la recuperación rápida de la inversión inicial.
5	Prioridad en licenciamiento y trámites	Al ser declarados de utilidad pública e interés social, los proyectos con FNCER tienen prelación en procesos de ordenamiento territorial, licencias y permisos ambientales.
6	Acceso a beneficios financieros complementarios	Posibilita la articulación con fondos como el FENOGE, creado para promover y financiar planes y proyectos de energías no convencionales, maximizando el efecto de los incentivos tributarios.

Nota. La información presentada corresponde a los principales incentivos tributarios aplicables a proyectos de generación con energías renovables. Elaboración propia con base en la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021.

Estos beneficios actúan de forma complementaria. Por ejemplo, la deducción del impuesto de renta y la depreciación acelerada permiten que el impacto financiero positivo se sienta en los primeros años de operación, lo que es crucial para sectores con alta inversión inicial como el industrial (PNUMA, 2021, p. 117). A su vez, la exclusión del IVA y la exención de aranceles disminuyen de inmediato el costo de adquisición de equipos y repuestos, algo especialmente relevante para pymes y productores agropecuarios que no cuentan con grandes márgenes de capital.

Incluso incentivos menos comentados, como la prioridad en licenciamiento, tienen un valor tangible: al reducir el tiempo de tramitación, se disminuyen costos indirectos y se acelera la entrada en operación, lo cual mejora el flujo de caja proyectado del proyecto. Además, el vínculo con mecanismos financieros como el FENOGE permite apalancar recursos adicionales, combinando alivio fiscal con capital blando o subsidios, tal como lo ha hecho el programa Energía Solar para Economías Populares, que ha instalado sistemas en pequeños negocios de la región Caribe con coberturas de hasta el 100% del costo inicial (FENOGE, 2023, párr. 6).

del artículo 11 de la Ley 1715, “las personas naturales o jurídicas que realicen inversiones en proyectos de generación con fuentes no convencionales... tendrán derecho a deducir de su impuesto de renta el 50% del valor total de la inversión realizada” (Congreso de Colombia, 2014, art. 11). Este tipo de disposiciones, combinadas con las demás medidas listadas, han creado un escenario fiscal en el que la transición a energía solar no es solo una decisión ambientalmente responsable, sino una estrategia financieramente sensata.

Impacto en el Sector Industrial

El sector industrial ha sido uno de los más favorecidos por estos incentivos, principalmente porque maneja inversiones de gran escala y tiene la capacidad de aprovechar la

deducción de renta en toda su magnitud. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2021, p.11), “las grandes instalaciones en industrias constituyen el 65% de la potencia técnica y económicamente viable, debido a sus condiciones de tarifa.” de la generación solar distribuida en Colombia. Esto significa que la mayor parte del potencial solar rentable está precisamente en este sector, lo que se alinea perfectamente con la existencia de beneficios tributarios.

La deducción de renta del 50% permite reducir sustancialmente el tiempo de retorno de inversión. Si a esto se suma la depreciación acelerada, que según la Ley 1715 permite depreciar equipos en un periodo mínimo de tres años (en lugar de los diez que exige la norma general), el flujo de caja mejora y el incentivo se convierte en un catalizador real para que las empresas industriales migren hacia la energía solar.

En la práctica, esto ha hecho que empresas del sector manufacturero, cementero, alimenticio y de bebidas instalen plantas solares en sus techos o terrenos adyacentes. El PNUMA (2021, p.18) señala que, “el costo de la energía generada a partir de los sistemas de generación solar fotovoltaica distribuida (GSD), hacen que la tecnología sea altamente competitiva a comparación de otras fuentes de energía tradicional”. Este fenómeno, sumado al alivio fiscal, incrementa la competitividad de las industrias que lo implementan, ya que disminuyen su dependencia de la red y estabilizan sus costos energéticos.

Impacto en el Sector Comercial

En el comercio, especialmente en las pequeñas y medianas empresas, el acceso a estos incentivos fiscales ha sido un motor para la transición energética. Programas como “Energía Solar para Economías Populares” del FENOGE han aprovechado la estructura fiscal ya establecida por la Ley 1715 para reducir barreras de entrada. Aunque en muchos casos el ahorro

inicial viene de subsidios o cofinanciación de equipos, los comerciantes también se benefician de la exclusión del IVA y la importación sin aranceles, lo que disminuye notablemente el costo total del sistema.

De acuerdo con el FENOGE (s.f., párr.4), los tenderos y emprendedores que instalan sistemas solares pueden ahorrar “hasta el 70% en la factura de energía eléctrica” y reinvertir esos recursos en el crecimiento del negocio. Este ahorro directo se potencia cuando los equipos adquiridos están exentos de IVA y arancel, reduciendo el tiempo de amortización.

Así mismo, afirma en la primera fase de las etapas de implementación que “En la región Caribe, se cubre el 100% de los costos de instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV) en pequeños negocios, permitiendo a los tenderos y emprendedores optimizar sus recursos y fortalecer sus operaciones de forma sostenible” (FENOGE, s.f., párr. 3). En un mercado cada vez más competitivo, el hecho de poder decir “operamos con energía solar” se convierte en un activo de marketing adicional, apoyado indirectamente por la legislación fiscal vigente.

Impacto en el Sector Agropecuario

El sector agropecuario, aunque con características muy distintas a las de la industria y el comercio, también se ha visto beneficiado de los incentivos de la Ley 1715. En zonas rurales, donde la red eléctrica es inestable o inexistente, la energía solar es a menudo la única opción viable. Los beneficios fiscales permiten que productores agropecuarios adquieran sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua, refrigeración de productos perecederos o iluminación de galpones, reduciendo su dependencia de combustibles fósiles como el diésel.

En el proyecto implementado en la vereda La Arena, en Ciénaga de Oro (Córdoba), Care Aparicio y Sotomayor Jiménez (2021, p.7) destacan que la inversión en un sistema fotovoltaico “reduce costos energéticos significativamente” y mejora la seguridad energética de la

comunidad. Si bien en este caso hubo apoyo de cooperación internacional, el marco de incentivos fiscales existente abre la puerta a que iniciativas similares sean replicadas con capital privado o mixto, especialmente cuando los equipos y materiales están exentos de IVA y arancel.

La agricultura tecnificada, que requiere sistemas de riego controlado, ha sido uno de los mayores beneficiados. Según Cortés et al. (2021, p. 16), “Colombia cuenta con un potencial positivo de energía fotovoltaica frente al resto del mundo” su aprovechamiento, sumado a beneficios tributarios, hace que la inversión sea rentable y sostenible incluso para pequeños productores.

El diseño de incentivos fiscales en la Ley 1715 ha tenido un efecto directo y positivo en la adopción de energía solar en los sectores industrial, comercial y agropecuario. En la industria, ha reducido los tiempos de retorno de inversión y mejorado la competitividad. En el comercio, ha permitido a pymes y microempresas acceder a tecnología que antes era costosa, mejorando su rentabilidad y proyección de imagen. En el agro, ha facilitado la transición hacia un modelo productivo más sostenible y autónomo energéticamente.

Estos beneficios no son teóricos: se evidencian en el crecimiento del número de instalaciones, en la reducción de costos energéticos y en la creación de capacidades locales para operar y mantener sistemas solares. La combinación de incentivos fiscales y el contexto de costos decrecientes en la tecnología solar es, posiblemente, uno de los motores más efectivos de la transición energética en Colombia.

Ventajas de la Transición Energética

La transición energética hacia fuentes renovables liderada por la energía solar, por su viabilidad técnica y potencial de acceso, abre un abanico de beneficios ambientales y sociales que, si se gestionan con criterio, pueden transformar territorios enteros: desde la reducción de

emisiones de gases de efecto invernadero hasta la mejora del acceso eléctrico en zonas aisladas, pasando por la generación de empleo local y el fortalecimiento de capacidades comunitarias.

Entre las ventajas están:

Reducción de la Huella de Carbono y Contribución a los ODS

Una de las ganancias más evidentes de desplegar proyectos solares es la disminución directa de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI). Como señalan varios de los documentos revisados, la generación de energía a partir de combustibles fósiles es la responsable de más del 70 % de emisiones de GEI a nivel global un diagnóstico que coloca a la descarbonización del sector eléctrico en el centro de la acción climática. La sustitución, parcial o total, de generación térmica por fotovoltaica reduce la intensidad de carbono del sistema energético; es decir, menos toneladas de CO₂ por MWh producido (Tejada Guzmán, 2022).

Esta contribución es coherente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible: ODS 13 (Acción por el clima) se apoya claramente en la disminución de emisiones que permite la electrificación limpia, y ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) se ve favorecido por la incorporación de infraestructuras renovables y tecnologías limpias en la industria y en la red. Raihan (2023) sugiere que un mayor consumo de energía renovable podría reducir significativamente las emisiones de Colombia a largo plazo, lo que conecta la expansión solar con las metas Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC).

Es importante recalcar que el efecto no es solo local: los proyectos solares agregan a la matriz nacional capacidad baja en emisiones, lo que facilita alcanzar metas de mayor alcance (por ejemplo, las metas a 2030 y la visión de carbono neutralidad a 2050). En resumen: cada megavatio solar instalado desplaza, en la práctica, generación basada en combustibles fósiles y reduce la huella de carbono del país (UPME y MME, 2020; IRENA, 2025).

Mejora de la Calidad del Aire y Co-Beneficios para La Salud

La reducción de emisiones de fuentes fósiles va acompañada, casi de forma automática, de mejoras en la calidad del aire local. Menos combustión térmica significa menos material particulado (PM2.5, PM10) y óxidos de nitrógeno (NOx), contaminantes vinculados directamente con enfermedades respiratorias y cardíacas. Los documentos revisados enfatizan este co-beneficio: la transición energética no solo es climática sino sanitaria, con impacto inmediato en bienestar humano, sobre todo en zonas urbanas o periurbanas donde la población está más expuesta (Tejada Guzmán, 2022; Raihan, 2023).

Diversificación de la Matriz Energética y Resiliencia Climática

Colombia ha dependido históricamente de la hidroelectricidad en buena medida; sin embargo, la vulnerabilidad de los embalses frente a variaciones hidrológicas (sequías, cambios en el régimen de lluvias) ha quedado en evidencia. La incorporación de solar (y otras ERNC) diversifica la matriz y reduce la exposición del sistema a choques climáticos o hidrológicos. Como se señala en el estudio, la diversificación aumenta la seguridad energética y reduce el riesgo sistémico que trae asociada la dependencia de un único recurso (Tejada Guzmán et al., 2022, pp. 31, 36).

Conservación de Ecosistemas y Menores Externalidades

Los proyectos solares, bien ubicados como en techos, áreas ya transformadas, terrenos con baja biodiversidad producen externalidades ambientales positivas: menor erosión por extracción, menor contaminación por residuos de combustibles, y un menor sello de contaminación química respecto a otras fuentes. La literatura práctica sobre proyectos fotovoltaicos en Colombia muestra ejemplos donde la instalación en cubiertas industriales o

techos comunitarios maximiza el beneficio ambiental al minimizar el uso de territorio nuevo (Care Aparicio & Sotomayor Jiménez, 2021).

Electrificación de Zonas no Interconectadas (ZNI) y Mejora del Acceso: el Caso Práctico

Una de las ventajas sociales más tangibles es la capacidad de los sistemas solares especialmente los *off-grid* y los sistemas híbridos de llevar electricidad a Zonas No Interconectadas (ZNI) y a comunidades rurales remotas, donde extender la red convencional resulta costoso o inviable. Los documentos hablan de instrumentos y fondos específicos (FAER, FAZNI, IPSE, programas de electrificación rural) que han permitido financiar instalaciones y acometidas en territorios apartados.

En regiones como el Chocó o en áreas dispersas de La Guajira, los pilotos con tecnología solar han demostrado que la electrificación local no solo enciende bombillas: habilita refrigeración de vacunas, iluminación para educación nocturna, motores para actividades productivas (pequeña agroindustria, molienda, bombeo de agua), y comunicaciones. Este enfoque se alinea con la política nacional, ya que, como se establece en el Plan de Acción Sectorial, este “propone facilitar la entrada de un mayor número de energías renovables en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), la generación de energía con tecnologías renovables no convencionales en Zonas No Interconectadas (ZNI) y la eficiencia energética” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2014, como se citó en Tejada Guzmán, 2022, p. 34).

Prácticamente: si una vereda logra energía estable con paneles y baterías, las posibilidades educativas y productivas crecen rápidamente; la evidencia de casos locales incluidos en las fuentes muestra incrementos en horas de estudio y en pequeños emprendimientos que antes no podían operar por falta de energía. El documento de la UPME y estudios de caso (Antioquia, Magdalena Medio) señalan además que la solar es altamente

predecible (radiación estable) y que puede integrarse con mini-redes o soluciones híbridas con baterías para cubrir demanda nocturna (Restrepo Román et al., 2024).

Democratización del Acceso y Comunidades Energéticas

La figura de comunidades energéticas (autogeneración colectiva y autoconsumo compartido) emerge como un mecanismo social clave: permite que grupos locales vecinos, pequeñas empresas, instituciones se unan para producir y distribuir energía renovable y compartan beneficios. El PND 2022–2026 y análisis recientes establecen metas explícitas (por ejemplo, “la meta del gobierno es tener 20.000 comunidades energéticas hacia 2026”) y normativas para su constitución; esto abre vías para que la gestión energética deje de ser sólo estatal o de grandes privados y pase a manos de actores locales (Vega-Araújo, Muñoz Cabré y Gil, 2025).

Un ejemplo ilustrativo (no técnico, sino social) lo resume una explicación práctica: un polideportivo con paneles de 100 kW puede articular 99 vecinos que aportan capital social y reciben descuentos de autoconsumo un esquema que, además de abaratar facturas, fortalece la cohesión social y genera un ingreso fiscal compartido (Endesa, guía práctica). La experiencia internacional (comunidades en Alemania, Dinamarca, Países Bajos) se cita como evidencia de impacto positivo en ahorro y empoderamiento local; en Colombia, la regulación reciente busca fomentar esquemas semejantes adaptados al contexto territorial y social.

Empleo Local - Formación Técnica y Desarrollo Productivo

La expansión solar con enfoque territorial genera empleos en obra civil, instalación, operación y mantenimiento; además, crea demanda por formación técnica local. El estudio SEI proyecta que el sector solar puede ofrecer empleos directos (miles de puestos), y la Ley 2099 de 2021 impulsa priorizar contratación de residentes locales en proyectos de generación (Vega-

Araújo et al., 2025). Esto implica que, bien instrumentado, un parque o una red de sistemas fotovoltaicos se traduzca en oportunidades laborales sostenibles para técnicos, instaladores y operadores locales.

Hay además efectos multiplicadores: con electricidad fiable, los emprendimientos locales (panaderías, artesanías, procesamiento de alimentos) pueden ampliar producción y calidad, incrementando ingresos y reduciendo dependencia de migración. Según (UPME; BID) la reconversión de economías locales hacia actividades con menor huella de carbono es factible si se acompaña de acceso energético estable y financiación orientada.

Equidad y Reducción de la Pobreza Energética

En Colombia, uno de los retos más persistentes del sector eléctrico es la pobreza energética, entendida como la dificultad de los hogares para acceder a un suministro confiable y asequible de energía que cubra sus necesidades básicas. Este fenómeno afecta principalmente a los hogares de bajos ingresos, especialmente en áreas rurales y en sectores urbanos marginales. Frente a esta problemática, se han desarrollado programas focalizados que buscan ampliar los beneficios de la transición a energías limpias hacia los sectores más vulnerables.

Vega-Araújo, Muñoz Cabré y Gil (2025) explican que el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, administrado por el Ministerio de Minas y Energía, financia proyectos de energía solar en comunidades que de otro modo no podrían costear estas tecnologías. Este fondo cubre parte de la inversión inicial, reduciendo así la barrera económica que impide a muchos hogares y microempresas adoptar sistemas fotovoltaicos.

A su vez, el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de Zonas No Interconectadas, administrado por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas, prioriza la instalación de soluciones solares

autónomas o híbridas en territorios donde no existe conexión al Sistema Interconectado Nacional. Estos proyectos no sólo proporcionan energía eléctrica, sino que también mejoran la calidad de vida de las familias, al permitir la refrigeración de alimentos y medicamentos, el uso de electrodomésticos esenciales y el alumbrado para actividades educativas nocturnas (Unidad de Planeación Minero-Energética & Banco Interamericano de Desarrollo, 2024).

El mecanismo de Obras por Impuestos, gestionado por la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, también se ha convertido en una vía indirecta para promover la equidad en el acceso a la energía limpia. Este esquema permite que empresas destinen hasta el 50 % del impuesto de renta a financiar proyectos de interés social, incluyendo instalaciones solares en comunidades de municipios priorizados por sus altos índices de pobreza y baja cobertura eléctrica.

Por último, el Sistema General de Regalías, que administra los recursos provenientes de la explotación de recursos naturales no renovables, ha financiado en los últimos años proyectos de energía solar para beneficiar a instituciones educativas, centros de salud y hogares en situación de vulnerabilidad energética. Estos proyectos no solo reducen el gasto mensual en electricidad, sino que liberan recursos para que las familias puedan destinarlos a alimentación, educación o mejoras de vivienda, contribuyendo de manera directa a la reducción de la pobreza energética estructural (Unidad de Planeación Minero-Energética & Banco Interamericano de Desarrollo, 2024).

En conjunto, estas estrategias confirman que la transición a la energía solar, si se acompaña de políticas públicas inclusivas y mecanismos de financiación adecuados, puede ser una herramienta poderosa para cerrar las brechas de acceso a la energía y mejorar las condiciones de vida de las poblaciones más vulnerables.

Fortalecimiento Comunitario y Gobernanza Local

La implementación de proyectos solares en Colombia no solo supone un cambio tecnológico, sino también un cambio en la forma en que las comunidades se organizan y toman decisiones. Cuando la generación de energía se desarrolla de manera colectiva, por ejemplo, a través de comunidades energéticas, se requiere establecer estructuras claras de coordinación, espacios de deliberación y mecanismos para la administración de los recursos que se generan. Este proceso, aunque pueda parecer un asunto estrictamente técnico, tiene profundas implicaciones en la gobernanza local.

Vega-Araújo, Muñoz Cabré y Gil (2025) destacan que el modelo de comunidades energéticas impulsado en el país fomenta la creación de juntas o comités de gestión, en las que participan representantes de los distintos sectores de la comunidad. Estas instancias no solo se encargan de supervisar el funcionamiento del sistema fotovoltaico, sino también de definir criterios para el uso de excedentes energéticos o para la inversión de ingresos derivados de la venta de energía a la red.

El fortalecimiento comunitario surge de manera natural en este tipo de esquemas. A través de la experiencia de trabajar juntos en un objetivo común, los miembros de la comunidad desarrollan capacidades organizativas, adquieren conocimientos técnicos básicos sobre mantenimiento y operación de los sistemas, y aprenden a negociar con actores externos como empresas proveedoras, entidades financieras o autoridades locales. Es un aprendizaje que se extiende más allá del ámbito energético: esas habilidades pueden luego aplicarse a otros proyectos comunitarios, desde la gestión del agua hasta iniciativas productivas.

Un ejemplo citado en el informe del *Stockholm Environment Institute* -SEI, es el de comunidades en La Guajira que, tras la instalación de sistemas solares colectivos, crearon

reglamentos internos para decidir de forma participativa cómo distribuir los beneficios. Esto no solo redujo conflictos internos, sino que fortaleció la confianza entre vecinos, algo que a veces vale tanto como la energía que se produce.

Además, la gobernanza local se ve reforzada porque los proyectos de energía renovable suelen involucrar procesos de consulta previa, capacitación y acompañamiento técnico. Todo ello promueve un diálogo más constante entre la comunidad y las instituciones, lo que, a largo plazo, puede traducirse en una mayor incidencia de estas comunidades en las políticas energéticas y de desarrollo territorial.

Se puede decir que, la energía solar, cuando se implementa con enfoque comunitario, actúa como un catalizador para la cohesión social y el fortalecimiento de las capacidades locales. No se trata únicamente de encender bombillas, sino de encender también procesos de participación, confianza y gestión autónoma que perduran en el tiempo.

Desafíos para una Transición Inclusiva

Barreras Estructurales

La transición energética en Colombia enfrenta un conjunto de barreras estructurales que limitan su alcance inclusivo, manifestándose de manera diferenciada en el sector empresarial y en las comunidades vulnerables. Estas limitaciones incluyen rezagos tecnológicos, carencias en la formación de capacidades, desigualdades en la distribución de recursos y una infraestructura que en muchos casos no responde a las necesidades locales ni a las exigencias de una economía baja en carbono. Según el Plan Energético Nacional (UPME, 2024), el país ha avanzado en la definición de metas de diversificación y eficiencia, pero persisten brechas que limitan la implementación de proyectos en contextos donde las condiciones técnicas, sociales y económicas son más restrictivas (BID, 2024; Endesa, 2023; FENOGE, 2022).

Limitaciones Técnicas Diferenciadas

Las limitaciones técnicas se expresan de manera desigual entre empresas y comunidades. En el sector industrial, el problema radica en la obsolescencia de la infraestructura y su falta de integración con nuevas tecnologías. Como señala el Plan Energético Nacional - PEN 2024-2054, Tomo I, "Uno de los principales obstáculos para la diversificación energética es la falta de infraestructura adecuada para transportar la energía generada a partir de fuentes renovables a las zonas de consumo. Muchas de las fuentes renovables, como la solar y eólica, están ubicadas en áreas alejadas de los centros urbanos, lo que exige fuertes inversiones en infraestructura de transmisión y distribución (UPME, 2024, p. 94). Esto obliga a las empresas a asumir costos adicionales de adecuación y enfrentar incertidumbres regulatorias.

El Banco Interamericano de Desarrollo (2024) destaca que varias compañías han manifestado que la transición implica costos de ajuste en equipos, procesos productivos y

sistemas de gestión energética que superan sus capacidades de inversión a corto plazo. Además, se han detectado problemas de integración entre sistemas de autogeneración y las redes eléctricas interconectadas, lo que limita la eficiencia de proyectos a gran escala (IRENA, 2025).

En contraste, las comunidades rurales enfrentan desafíos más básicos, como la falta de capacitación técnica para el mantenimiento y operación de tecnologías renovables. El profesor Andrés Aristizábal, citado en el informe de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (2023, párr. 8.), identifica "problemas con la aceptación social y obstáculos institucionales" como factores críticos que afectan la sostenibilidad de los proyectos. Asimismo, (Vega-Araújo et al., 2025, p. 8) enfatiza que la viabilidad de las comunidades energéticas y los proyectos en Zonas No Interconectadas (ZNI) está "sujeta a reglas claras y fuentes de financiamiento adecuadas" lo que indirectamente subraya la necesidad de capacidades locales para la sostenibilidad. Aunque el documento de FENOGE (2025) se centra en los beneficios de los sistemas solares, la existencia de su programa "Energía Solar ¡Para Economías Populares!" evidencia la necesidad de abordar la brecha de implementación y conocimiento en comunidades y negocios de economías populares.

La experiencia recogida en la Guía Práctica de Energía Solar (Borvarán et al., 2015) muestra cómo, en contextos rurales aislados, incluso la instalación de sistemas fotovoltaicos básicos requiere acompañamiento técnico continuo. De no existir, los equipos terminan en desuso o con bajos niveles de eficiencia. Además, en territorios apartados, la limitada cobertura de redes eléctricas de respaldo y la baja disponibilidad de repuestos agravan las limitaciones técnicas Herrera, Pesca y Cortés (2021).

La Universidad EAN documenta que, a pesar de la alta radiación solar promedio en Colombia (4,5 kWh/m²/día), "la generación de electricidad a partir de sistemas fotovoltaicos sigue siendo irrisoria" (Ramírez, Murcia & Rojas, 2016, citado en Herrera et al., 2021, p. 5).

En síntesis, las limitaciones técnicas en Colombia son asimétricas: mientras las empresas enfrentan obstáculos relacionados con la modernización de infraestructura y la integración tecnológica, las comunidades tienen dificultades vinculadas al conocimiento, el mantenimiento y el acceso a insumos, lo que reproduce la desigualdad entre sectores.

Asimetrías en Acceso a Financiamiento

El acceso al financiamiento es otra barrera crítica que marca diferencias entre empresas y comunidades. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (2024), "la distribución del financiamiento climático en Colombia se concentra en un 78 % en proyectos empresariales de gran escala, mientras que menos del 10 % llega a iniciativas comunitarias" (p. 34). Esta brecha evidencia una inequidad que compromete los principios de justicia energética. La Cartilla de Planes de Gestión Eficiente de la Energía (UPME, 2020) resalta que mecanismos como el PROURE o los incentivos de la Ley 1715 son más accesibles para actores con capacidad institucional y jurídica robusta, mientras que las comunidades rurales carecen de garantías financieras, historial crediticio y conocimiento técnico para aplicar a estos instrumentos. Como lo expresa Cortés (2021), "la banca tradicional no reconoce los proyectos comunitarios de energía como inversiones seguras, lo que excluye a gran parte de la población rural" (p. 89).

La Ley 1715 de 2014 creó incentivos tributarios para energías renovables, pero su implementación ha sido más aprovechada por el sector empresarial formal que por comunidades rurales, debido a los requisitos técnicos y fiscales exigidos (Congreso de Colombia, 2014).

Aunque la Ley 2099 de 2021 buscó corregir estas limitaciones al fortalecer fondos como el FENOGÉ, el BID (2024) advierte que los criterios de costo-beneficio pueden excluir iniciativas comunitarias, pues estas no siempre generan retornos económicos inmediatos. Endesa (2023) señala que las comunidades locales enfrentan mayores dificultades para acceder a financiamiento tradicional, ya que no cuentan con garantías patrimoniales ni historial crediticio formal, lo que contrasta con las empresas, que sí pueden respaldar créditos mediante activos y balances contables. En consecuencia, "la transición energética corre el riesgo de consolidarse como un proceso excluyente, donde los sectores vulnerables no logran participar plenamente por falta de acceso a recursos financieros" (Endesa, 2023, p. 18).

Además, la dependencia de la cooperación internacional para financiar proyectos comunitarios plantea dudas sobre su sostenibilidad a largo plazo. La IRENA (2025) señala que en Colombia el 40% de los proyectos renovables comunitarios en ejecución entre 2020 y 2024 fueron cofinanciados con fondos externos. Mientras tanto, las empresas acceden con mayor facilidad a créditos verdes y bonos de transición, beneficiándose de un mercado financiero que favorece a quienes tienen mayor capacidad de pago (BID, 2024).

En conclusión, las asimetrías en el acceso a financiamiento reflejan un sesgo estructural: el sector empresarial dispone de herramientas más robustas, mientras que las comunidades enfrentan trabas burocráticas, exigencias de rentabilidad y carencias institucionales. Esta disparidad perpetúa la exclusión energética que afecta a millones de personas en el país.

Obstáculos Socio Institucionales

La transición energética en Colombia se enfrenta a una serie de barreras que trascienden lo técnico o financiero, ancladas en problemas estructurales de gobernanza y en dinámicas socioculturales complejas. Estos obstáculos, lejos de ser independientes, se refuerzan

mutuamente, creando un escenario donde el avance de los proyectos renovables no necesariamente se traduce en un desarrollo más justo o inclusivo.

Desarticulación Normativa

Uno de los principales desafíos estructurales radica en la marcada fragmentación y descoordinación del marco normativo que debería impulsar la transición. Si bien la Ley 1715 de 2014 se concibió como un instrumento pionero para promover las fuentes no convencionales de energía mediante incentivos tributarios y mecanismos de inversión (Congreso de la República, 2014), en la práctica su impacto ha sido limitado.

Diversos análisis, incluidos los de la UPME (2020), resaltan que la ley resultó insuficiente al no lograr una gobernanza sólida que asegurara la continuidad, el monitoreo y la articulación entre los distintos niveles de gobierno. El Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE, 2019) reconoció que, inicialmente, la aplicación de la ley tropezó con la baja claridad sobre cómo acceder a los beneficios, lo que restringió el alcance de iniciativas comunitarias y de pequeña escala.

Posteriormente, la Ley 2099 de 2021 intentó modernizar este marco, introduciendo conceptos innovadores como el hidrógeno verde y fortaleciendo los instrumentos de financiación (Congreso de la República, 2021). Sin embargo, su implementación ha sido lenta y opaca. El Banco Interamericano de Desarrollo (2024) advierte que, a pesar de ampliar el espectro regulatorio, los procedimientos para acceder a recursos siguen siendo complejos y burocráticos, desincentivando la participación de comunidades y pymes. Esta crítica se ve respaldada por la evidencia académica; un estudio de la Universidad EAN identificó que esta desarticulación genera desconfianza en potenciales usuarios, quienes perciben que las leyes priorizan a los

grandes inversionistas en lugar de fomentar una participación ciudadana genuina (Herrera, Pesca, & Cortés, 2021).

En términos generales, el problema no son solo vacíos legales aislados, sino una falta crónica de coordinación interinstitucional, donde ministerios, agencias y autoridades locales con frecuencia duplican funciones, tal como lo señala el Plan Energético Nacional 2024-2054 de la UPME. Esta descoordinación retrasa los proyectos y genera una profunda incertidumbre regulatoria. Además, la carencia de marcos legales específicos para comunidades energéticas locales ha frenado el desarrollo de proyectos descentralizados que podrían mejorar la equidad territorial (Endesa, 2022). En síntesis, existe una brecha palpable entre el discurso prometedor de las leyes y su ejecución concreta en los territorios, una tensión que socava la posibilidad de una transición verdaderamente integral y justa.

Resistencia al Cambio y Desconfianza Cultural

Paralelamente a los vacíos normativos, emerge un obstáculo de carácter sociocultural igualmente determinante: la resistencia al cambio y la profunda desconfianza de las comunidades hacia los proyectos de transición energética. Este fenómeno es particularmente ilustrativo en el caso de La Guajira. Allí, la expansión de megaproyectos eólicos y solares, lejos de ser recibida con entusiasmo, ha generado tensiones sociales significativas. Como documenta el SEI (2025), para los pueblos indígenas Wayuu estas iniciativas se han percibido como intervenciones externas impuestas, que replican un modelo extractivista al realizarse sin procesos de consulta previa efectivos y sin reconocer sus formas propias de organización y gobierno (Cortés, 2021).

La raíz del conflicto, según análisis de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (2023) y Dyner (2023), no es un rechazo a las energías renovables en sí mismas, sino el choque entre la lógica empresarial y estatal (que prioriza la eficiencia y los resultados rápidos) y la

cosmovisión indígena, que enfatiza el cuidado del territorio y el bienestar colectivo. El Banco Interamericano de Desarrollo (2024) corrobora que las comunidades suelen cuestionar la efectividad de las consultas previas, viéndolas como un mero trámite formal más que como un mecanismo de participación real. Esta brecha cultural se traduce en bloqueos sociales, acciones legales y retrasos en la ejecución, demostrando que la transición no puede reducirse a un simple despliegue tecnológico.

La experiencia comparada, recogida en guías prácticas sobre energía solar (Borvarán et al., 2015), así como investigaciones locales (Herrera, Pesca, & Cortés, 2021), indican que la aceptación comunitaria mejora sustancialmente cuando los proyectos se diseñan con una participación auténtica y procesos de capacitación local que construyan confianza. Por el contrario, en territorios con historial de conflictividad, el rechazo es más evidente. Endesa (2022) añade que el arraigo de una cultura energética centralizada también dificulta la adopción de esquemas descentralizados, ya que estos suelen cuestionar estructuras de poder establecidas.

En consecuencia, la resistencia observada refleja una desconfianza generada por prácticas de exclusión históricas y la falta de beneficios tangibles inmediatos, como mejoras en acceso al agua, salud o educación. Organismos internacionales como IRENA (2025) destacan que, para que la transición sea justa, debe trascender lo tecnológico e incorporar de manera fundamental componentes sociales, pedagógicos y de respeto por las dinámicas culturales. El caso de La Guajira deja en evidencia que, sin una inclusión real y modelos de cogestión adaptados a las particularidades de cada territorio, la transición energética no solo encuentra barreras, sino que corre el serio riesgo de profundizar la exclusión social en lugar de reducirla.

Riesgos de una Transición no Justa

La transición energética, si bien es fundamental para la descarbonización, conlleva riesgos significativos si no se diseña bajo un enfoque de justicia. De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía (2023, p. 9), las dificultades de aceptación social "no solo se extienden a los proyectos mineros y de hidrocarburos, sino también a los de FNCER" lo que evidencia que el modelo de implementación es en sí mismo un factor crítico que puede perpetuar e incluso exacerbar las desigualdades existentes. Este capítulo aborda dos riesgos centrales: la concentración de beneficios en grandes empresas y la marginalización de comunidades rurales.

Concentración de Beneficios en Grandes Empresas

Uno de los riesgos más palpables es que los beneficios económicos y productivos se concentren en manos de grandes capitales, reproduciendo dinámicas de exclusión propias del modelo extractivista tradicional. El diagnóstico del Ministerio de Minas y Energía (2023, p.18.) advierte que el despliegue global de renovables ha estado históricamente dominado por grandes proyectos, donde "el 96,1 % del acumulado de capacidad instalada de FNCER para 2022" correspondía a solo cuatro tecnologías. Esta tendencia, si se replica en Colombia sin mecanismos correctivos, favorece inherentemente a los grandes desarrolladores.

Esta concentración se ve facilitada por un marco normativo que, según el Foro-Región Central (2023, citado en Ministerio de Minas y Energía, 2023, p.10) "no estableció lineamientos para que en estos proyectos se garanticen derechos a la participación, el ambiente sano y la integralidad cultural de las poblaciones étnicas". Además, estudios como el del BID y la UPME muestran que el mercado energético colombiano está altamente concentrado: solo tres empresas EPM, Emgesa e Isagén dominan una porción significativa de la generación, lo que refuerza el

riesgo de que la renta de nuevos parques solares y eólicos quede en manos de actores con mayor capacidad financiera y técnica.

Sin instrumentos que promuevan la distribución equitativa de beneficios como esquemas de propiedad local, Acuerdos de Compra de Energía (Power Purchase Agreement - PPA, por sus siglas en inglés) con cláusulas sociales o participación accionaria comunitaria, es probable que los ingresos, empleos y oportunidades derivadas de la transición se concentren en pocos agentes, limitando el potencial democratizador de las energías renovables.

Marginalización de Comunidades Rurales

El riesgo de marginalizar aún más a las comunidades rurales y étnicas es igualmente grave. Según el Ministerio de Minas y Energía (2023), diversos estudios han vinculado el modelo de desarrollo actual con el conflicto socioambiental, señalando que “distintos estudios han vinculado el creciente número de disputas socioambientales en Colombia con actividades extractivas como la minería o la exploración y producción de hidrocarburos” (Duarte et al., 2021; PARES, 2018; Pérez-Rincón, 2014; Velásquez, 2021b; como se cita en Ministerio de Minas y Energía, 2023, p. 10).

Este patrón de conflictividad, caracterizado por “relaciones verticales que limitan la consecución de acuerdos y, en algunos casos, han profundizado las desigualdades sociales y económicas” (Velásquez, 2021b; Duarte et al., 2021; como se cita en Ministerio de Minas y Energía, 2023, p. 10), podría trasladarse fácilmente a la transición energética bajo la lógica del llamado *extractivismo verde*. Este concepto alude a un modo de explotación y apropiación de recursos naturales como la radiación solar o el viento que, especialmente en países del Sur Global, tiende a relegar a las comunidades locales a un papel de proveedores de territorios y recursos, sin que participen significativamente en los beneficios. Un ejemplo concreto de esta

exclusión se observa en el acceso energético: en el sector residencial rural, “la leña para cocción corresponde al 67 % del consumo total de energía, debido a que los fogones de leña que se usan actualmente cuentan con eficiencias por debajo del 10 %” (UPME, 2022e, como se cita en Ministerio de Minas y Energía, 2023, p. 108).

Además, según FENOGE (2020) y SEI (2025), en zonas no interconectadas (ZNI) la cobertura energética aún depende en gran medida de combustibles fósiles costosos y contaminantes. La falta de acompañamiento técnico, financiero e institucional para proyectos comunitarios como los sistemas fotovoltaicos de pequeña escala limita su sostenibilidad y reduce la posibilidad de que las comunidades capturen beneficios económicos duraderos. Como señala Endesa (2023), cuando las poblaciones no son integradas desde la fase de diseño, los proyectos suelen generar resistencia social y bajo nivel de apropiación.

En síntesis, los riesgos de una transición no justa en Colombia se manifiestan tanto en la concentración de beneficios en grandes empresas como en la exclusión de comunidades rurales. Para evitar profundizar las desigualdades, es necesario replantear la interacción social, política y económica de los proyectos de energías limpias con los territorios, garantizando una distribución equitativa de cargas y beneficios, así como el acceso participativo y sostenible a las nuevas tecnologías energéticas.

Casos Exitosos de Transición Energética Justa y Sostenible en Colombia

Sector Empresarial

Enfoque: Modelos que integran sostenibilidad, rentabilidad y equidad.

Energía Solar: Ecopetrol - Parque Solar Castilla y San Fernando en el Meta

La transición energética en Colombia encuentra uno de sus ejemplos más sólidos y reveladores en las iniciativas del sector de hidrocarburos, particularmente en la estrategia del Grupo Ecopetrol. Lejos de resistirse al cambio, la empresa ha implementado un modelo de transición corporativa que busca armonizar la eficiencia operacional con impactos socioambientales positivos, utilizando sus propias operaciones como campo de prueba. Este modelo quedó ejemplificado con la puesta en marcha de dos proyectos solares gemelos, pero independientes, en el departamento del Meta: Castilla y San Fernando. Juntos, forman la columna vertebral inicial de la apuesta renovable de la compañía y ofrecen un valioso estudio de caso sobre evolución y aprendizaje corporativo.

El primer hito de esta estrategia fue el Parque Solar Castilla, inaugurado en octubre de 2018. Este proyecto se erigió como el mayor parque de autogeneración del país en su momento, con una capacidad de 21 MWp, suficiente para abastecer el equivalente a una ciudad de 27.000 habitantes y suplir parte de la demanda del cercano campo petrolero del mismo nombre (Ecopetrol, 2018). Su importancia radica no solo en su escala pionera sino en su ejecución impecable: construido en un tiempo récord de siete meses, generó 388 empleos, incorporando de manera temprana un componente de equidad al dar trabajo a más de 100 mujeres de la región (Ecopetrol, 2018). La inversión, cercana a los US\$20 millones, sentó un precedente financiero y demostró que la energía solar era un complemento viable y rentable incluso para las operaciones más intensivas en energía.

El éxito de Castilla funcionó como un catalizador para un proyecto de mayor envergadura y ambición. Dos años después, en agosto de 2020, el Grupo Ecopetrol adjudicó el contrato para el Parque Solar San Fernando, ubicado también en el municipio de Castilla La Nueva, Meta. Si Castilla fue el piloto exitoso, San Fernando representó la escalada industrial. Con una capacidad muy superior (59 MWp), este segundo parque elevó la capacidad solar total del Grupo a 80 MWp, consolidando un *clúster* de autogeneración renovable en la región (Ecopetrol, 2020, párr.8).

Pero la evolución no fue solo de escala, sino de sofisticación y profundización del impacto social. San Fernando incorporó tecnología de punta, como paneles bifaciales y seguidores solares, para maximizar la eficiencia. Además, elevó el listón de la equidad al establecer un compromiso explícito de que "como mínimo el 38% de la mano de obra contratada para el desarrollo del proyecto corresponderá a mujeres" (Ecopetrol, 2020, párr. 4), e inyectó más de \$15 mil millones de pesos en la economía local a través de la contratación de bienes y servicios.

La visión detrás de estos dos proyectos gemelos trasciende lo ambiental. Para la compañía, se trataba de "aprovechar la abundancia del recurso solar de los Llanos Orientales" para lograr "mayor eficiencia energética en nuestras operaciones" (Ecopetrol, 2020, párr.7), un argumento que sitúa la rentabilidad y la seguridad energética como motores centrales. Esta triangulación sostenibilidad, rentabilidad y equidad, es la contribución más valiosa de este caso. No se trata de acciones aisladas de responsabilidad social, sino de un modelo de negocio resiliente y alineado con políticas públicas, como lo reconocía el entonces Ministro de Minas y Energía, Diego Mesa, al destacar que estas iniciativas "demuestran que la política del Gobierno

Nacional ha generado una atracción que nos permitirá seguir ampliando la capacidad instalada en este tipo de fuentes” (Ecopetrol, 2020, párr.11).

En síntesis, los parques Castilla y San Fernando funcionan de manera conjunta como el caso introductorio por excelencia de la transición energética en el sector empresarial colombiano. Muestran una evolución clara: de un piloto pionero a un proyecto a escala industrial, y de una iniciativa principalmente ambiental a un modelo integral con equidad de género y desarrollo local en su núcleo. Este caso sienta un precedente fundamental, demostrando que la transición es un proceso de aprendizaje y escalamiento, donde el éxito de una iniciativa abre la puerta a la siguiente, más grande y ambiciosa, como se ilustra en las Figuras 4 y 5.

Figura 4

Parque solar Castilla, departamento del Meta, Colombia



Nota. Reproducido de *World Energy Trade* – Para el 2021 operativo mega parque solar San Fernando en Colombia [Fotografía], por SER Colombia, 2020, SER Colombia (<https://ser-colombia.org/2020/noticias-del-sector/world-energy>).

Figura 5

Parque solar San Fernando, Meta, Colombia



Nota. Reproducido de *En Castilla La Nueva fue inaugurado el parque solar* [Fotografía], por Llano al Mundo, 2021, Llano al Mundo (<https://llanoalmundo.com/en-castilla-la-nueva-fue-inaugurado-el-parque-solar>).

Energía Eólica: Enel Green Power - Parque Eólico Windpeshi en la Guajira

El Parque Eólico Windpeshi, desarrollado inicialmente por Enel Green Power, experimentó una suspensión indefinida en mayo de 2023 debido a "constantes vías de hecho" que impedían el normal desarrollo de las obras (Enel Colombia, 2023). A pesar de esta interrupción, el proyecto había sido concebido para generar importantes beneficios ambientales y sociales. Con una capacidad planificada de 205 MW, estaba previsto que produjera aproximadamente 1.011 gigavatios-hora (GWh) de energía limpia anual, suficiente para abastecer a alrededor de 500.000 hogares colombianos (Enel Green Power, 2022). Esta generación de energía renovable evitaría la emisión de aproximadamente un millón de toneladas de CO₂ cada año, contribuyendo significativamente a las metas de descarbonización del país.

Durante su fase de desarrollo, el proyecto logró avances notables en materia de inversión social. Se ejecutaron proyectos de valor compartido por más de \$7.100 millones de pesos,

enfocados en educación, salud y acceso al agua potable (Enel Colombia, 2023). La construcción de 14 jagüeyes benefició a más de 1.670 indígenas wayuu, mejorando sustancialmente su acceso al recurso hídrico (Enel Green Power, 2022). Adicionalmente, el proyecto generó 325 empleos locales durante su fase constructiva, priorizando la mano de obra de los municipios de Uribia y Maicao.

En julio de 2025, Ecopetrol adquirió el 100% de las acciones de la Compañía Wind Autogeneración S.A.S., propietaria del proyecto eólico (Guerrero, 2025). La petrolera estatal anunció planes para reactivar las obras antes de finalizar 2025, con expectativas de iniciar operaciones comerciales antes de 2028. Según Guerrero (2025), el parque aportará aproximadamente 1.006 GWh anuales, equivalentes al 8-9% de la demanda energética total del Grupo Ecopetrol, evitando la emisión de 4.8 millones de toneladas de CO₂ durante su vida útil. Este proyecto representa el primer desarrollo de energía renovable no convencional que Ecopetrol construirá integralmente en La Guajira, como se ilustra en la Figura 6.

Figura 6

Proyecto eólico Windpeshi



Nota. Reproducido de *Ecopetrol compra a Enel el proyecto eólico Windpeshi en La Guajira*

[Imagen], por Bloomberg Línea, 2025, Bloomberg Línea.

[\(https://www.bloomberglinea.com/latinoamerica/colombia/ecopetrol-compra-a-enel-proyecto-eolico-windpeshi-en-la-guajira/\)](https://www.bloomberglinea.com/latinoamerica/colombia/ecopetrol-compra-a-enel-proyecto-eolico-windpeshi-en-la-guajira/)

Energía Hidráulica: Pequeña Central Hidroeléctrica Celsia San Andrés de Cuerquia

La empresa Celsia, perteneciente al Grupo Argos, inauguró en septiembre de 2020 la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) San Andrés de Cuerquia, ubicada en el norte de Antioquia, Colombia. Este proyecto representa un modelo de generación de energía limpia y renovable que integra sostenibilidad ambiental, rentabilidad económica y equidad social (Celsia, 2020).

La central tiene una capacidad de generación de 19,9 MW, suficiente para abastecer aproximadamente 25.000 hogares. Se caracteriza por ser una central “a filo de agua”, es decir, no cuenta con embalse, sino que toma el agua directamente del río San Andrés y la devuelve en las mismas condiciones después de pasar por las turbinas, minimizando así el impacto ambiental (Celsia, 2020). Durante su construcción, se generaron 1.046 empleos, reactivando la economía local en municipios como San Andrés de Cuerquia y San José de la Montaña.

Como parte de su compromiso socioambiental, Celsia realizó importantes inversiones en compensación y protección ambiental. Entregó a la Corporación Autónoma Regional de Antioquia (Corantioquia) predios ubicados en el Distrito de Manejo Integrado del páramo de Santa Inés para proteger la cuenca del río San Andrés. Además, ejecutó programas de rescate y traslado de flora nativa, incluyendo bromelias, orquídeas, helechos arbóreos y robles, y publicó el libro *Las plantas del aire y la lluvia. Epífitas de San Andrés de Cuerquia, Antioquia* (Celsia, 2020).

En el ámbito social, la empresa llevó a cabo jornadas de capacitación, mejoras en infraestructura educativa, programas de salud y esterilización de mascotas, y entregó parques

infantiles en ambos municipios. Adicionalmente, las transferencias anuales por ventas de energía, estimadas en \$1.200 millones, se destinarán a proyectos de saneamiento básico y mejoramiento ambiental (Celsia, 2020).

El ministro de Minas y Energía, Diego Mesa, destacó que este tipo de proyectos “encaja perfectamente en los objetivos y compromisos internacionales en materia de desarrollo sostenible, pues es una central que no tiene emisiones de CO₂” (Celsia, 2020, p. 3). Por su parte, el presidente del Grupo Argos, Jorge Mario Velásquez, resaltó que la matriz energética del país avanza hacia fuentes renovables, complementando esta central con inversiones en energía solar y eólica (Celsia, 2020).

Este caso evidencia cómo el sector empresarial puede impulsar una transición energética justa y sostenible, articulando la generación de energía limpia con el desarrollo territorial inclusivo y la protección ambiental, como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7

La pequeña central hidroeléctrica San Andrés



Nota. Reproducido de *La Pequeña Central Hidroeléctrica San Andrés* [Fotografía], por @Celsia_Energia, 2020, X (https://x.com/Celsia_Energia/status/1309166591700017159).

Biomasa: Biol Comercial Certificado como Acondicionador Orgánico de Suelos a Partir de Porcinaza

Un ejemplo destacado de transición energética justa y sostenible en el sector agroindustrial colombiano es la implementación del sistema de producción de biol a partir de porcinaza, desarrollado por Porkcolombia – FNP en conjunto con una granja porcícola ubicada en Guarne, Antioquia. Este proyecto, ejecutado entre 2016 y 2018, no solo resuelve un problema ambiental asociado al manejo de residuos porcícolas, sino que genera valor agregado y diversificación de ingresos para el sector, integrando sostenibilidad, rentabilidad y equidad de manera tangible.

El proceso inicia con la conducción de excretas, orina y aguas residuales de la granja hacia un tanque estercolero, desde donde se dirige a un biodigestor tipo Taiwán. Allí, mediante digestión anaeróbica, se produce biogás que es utilizado para la calefacción de lechones, reduciendo así el consumo de combustibles convencionales. El efluente resultante se somete a un proceso de filtrado, se envasa y se comercializa como enmienda orgánica certificada por el ICA bajo la Resolución 150 de 2003 (Porkcolombia - FNP, 2021).

Este modelo demuestra cómo la valorización energética de la biomasa residual –en este caso, la porcinaza– contribuye a la transición energética al sustituir fuentes convencionales de calor y al mismo tiempo producir insumos agrícolas sostenibles. Como señala Rodríguez (2021), subdirectora ambiental de Porkcolombia, "la transformación de la porcinaza en un producto comercial permite a la empresa porcícola diversificar sus ingresos y solventar épocas de recesión" (p. 4). Además, el proceso reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y previene la contaminación hídrica y por olores, impactando positivamente en el entorno local.

Un aspecto clave de este caso es su potencial replicabilidad en contextos de pequeña y mediana escala, tanto en granjas empresariales como en sistemas productivos de comunidades rurales, siempre que se cuente con acompañamiento técnico y acceso a tecnologías apropiadas. El papel de actores como CORNARE y Porkcolombia fue fundamental para el éxito de la iniciativa, ya que proporcionaron asistencia técnica y facilitaron el cumplimiento de normativas ambientales y sanitarias.

Este caso ilustra cómo la transición energética en el sector empresarial puede ir más allá de la adopción de tecnologías verdes; se trata también de reconfigurar cadenas de valor, generar nuevos mercados y, sobre todo, integrar la sostenibilidad como eje central del modelo de negocio. Como bien concluye el reporte del caso, "la porcinoza es un subproducto con el cual se puede sustituir la aplicación de fertilizantes de síntesis química" (Porkcolombia - FNP, 2021, p. 4), lo que abre puertas no solo a la mitigación ambiental sino también a la autonomía productiva y la resiliencia económica del sector agropecuario, como se ilustra en la Figura 8.

Figura 8

Proceso de producción de biol a partir de porcinoza en biodigestor tipo Taiwán



Nota. Reproducido de *Casos de éxito – Estrategia Nacional de Economía Circular* [Fotografía], por Gobierno de Colombia, 2021, Gov.co

(<https://economiecircular.minambiente.gov.co/index.php/casos-de-exito/>).

Proyectos Comunitarios y Rurales

Enfoque: Acceso energético con participación local y reducción de pobreza.

Electrificación Rural con Energía Solar: Un Enfoque Comunitario del Proyecto IPSE-MME

Dentro de las estrategias para materializar una transición energética con enfoque de justicia social en Colombia, un caso emblemático lo constituye el proyecto de instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales liderado por el Ministerio de Minas y Energía y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE). Esta iniciativa, que requirió una inversión superior a los \$40 mil millones, tuvo como objetivo principal llevar energía eléctrica "continua y segura" a más de 1.112 familias residentes en zonas rurales no interconectadas (ZNI) de los departamentos de Valle del Cauca, Cauca, Magdalena, Cesar y Antioquia (Noticias RCN, 2025).

El impacto del proyecto trasciende el mero acceso a un servicio básico, representando una transformación profunda en la calidad de vida de los beneficiarios. El programa permitió reemplazar fuentes de energía tradicionales, contaminantes y de alto costo, como "velas y lámparas de gasolina", por sistemas solares de 1,1 kilovatio pico (kWp). Esta transición tecnológica no solo ilumina los hogares, sino que, como señaló Danny Ramírez, director del IPSE, "enciende oportunidades" al facilitar actividades económicas, mejorar las condiciones de salud, permitir la conservación de alimentos mediante la refrigeración y crear un ambiente propicio para el estudio y el trabajo después del ocaso (Noticias RCN, 2025, p. 2).

El enfoque del proyecto incorporó un componente crucial de participación y apropiación local para garantizar su sostenibilidad. No se limitó a la instalación física de los paneles solares, sino que incluyó la capacitación de las familias "en el uso eficiente de la energía", buscando reducir la dependencia de fuentes contaminantes y asegurar que la comunidad pudiera operar y

mantener los sistemas de manera adecuada en el largo plazo (Noticias RCN, 2025, p. 3). Este aspecto es vital, ya que convierte a los habitantes de agentes pasivos en participantes activos de su propio desarrollo energético.

Desde la perspectiva gubernamental, este esfuerzo se enmarca explícitamente en la visión de una "transición energética justa". El entonces Ministro de Minas y Energía, Edwin Palma Egea, afirmó que “La energía no es solo un servicio, es una herramienta de transformación social. Con estos proyectos demostramos que sí es posible una transición energética justa que beneficie a las comunidades más apartadas del país” (Noticias RCN, 2025, p. 2). Esta declaración subraya la intención política de utilizar la transición energética como un mecanismo para cerrar brechas de inequidad y priorizar a poblaciones históricamente excluidas del desarrollo nacional.

Los avances reportados en la implementación reflejan un progreso significativo y tangible: para septiembre de 2025, el Valle del Cauca registraba un avance del 80% (171 familias beneficiadas en municipios como Bolívar, Dagua, Florida y Pradera), Magdalena un 85%, Cesar un 76%, Antioquia un 55%, y en el Cauca se preparaba la instalación de 238 sistemas adicionales (Noticias RCN, 2025, p. 2).

Este caso exitoso demuestra que es viable abordar simultáneamente los desafíos del acceso energético, la reducción de la pobreza y la mitigación ambiental, siempre que exista voluntad política, inversión pública dirigida y un modelo de intervención que priorice la participación y el beneficio directo de las comunidades locales, tal como se evidencia en la figura 9.

Figura 9*Acceso a energía solar en hogares rurales*

Nota. La figura muestra a dos mujeres habitantes de zonas rurales beneficiarias del proyecto de Electrificación Rural con Energía Solar. Reproducido de *Con energía solar, más de mil hogares de cinco departamentos del país mejoran su calidad de vida* [Fotografía], por Ministerio de Minas y Energía, 2025, Gov.co (<https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/con-energia-solar-mas-mil-hogares-cinco-departamentos-pais-mejoran-calidad-vida/>).

Mingueo: Electromovilidad Solar y Retrofitting Comunitario como Pilares de una Transición Energética Inclusiva

En el marco de los proyectos comunitarios y rurales que buscan promover una transición energética justa y sostenible en Colombia, el caso de Mingueo, corregimiento de Dibulla en La Guajira, destaca como un referente nacional. Aquí, la comunidad, con el apoyo de la organización POLEN Transiciones Justas, logró la puesta en marcha de la primera electrolinera comunitaria del país, una estación de carga solar compartida para motocicletas eléctricas (POLEN Transiciones Justas, 2024). Esta iniciativa no solo representa un avance técnico, sino también un modelo de participación local y reducción de la pobreza a través del acceso a energías renovables.

La electrolinera está equipada con 12 paneles solares con capacidad de 6,5 kWp, 7 baterías de litio de 24 kWh y un inversor monofásico de 6 kW, lo que permite la carga de vehículos eléctricos mediante energía solar. Según POLEN Transiciones Justas (2024), este sistema "marca un paso significativo hacia la adopción de tecnologías renovables tanto en entornos urbanos como rurales" (párr.1), además de ser un impulso crucial para la transición energética justa. La instalación contó con el respaldo financiero del *Drive Electric Campaign's Leapfrogging to E-mobility Acceleration Partnership (LEAP) Fund* y el apoyo logístico de la Junta de Acción Comunal del barrio San Martín, cuya presidenta, Kelly Mindiola, jugó un rol clave en la cesión del espacio y la articulación comunitaria.

Un aspecto fundamental de este proyecto es su enfoque integral, que va más allá de la infraestructura energética. Como señala la fuente, no solo se instaló la electrolinera, sino que también se están realizando pruebas con motocicletas eléctricas para el transporte de personas y carga agrícola hacia la Sierra Nevada de Santa Marta. Entre los modelos utilizados se encuentran las Super Soco, con autonomía de 70 km, y una *Scooter Portiva* con 50 km de alcance. Adicionalmente, se están adaptando motos de gasolina mediante retrofit (conversión a tecnología eléctrica), lo que aumenta su autonomía hasta los 100 km y extiende su vida útil (POLEN Transiciones Justas, 2024).

La participación de la comunidad fue meticulosamente planificada. Los usuarios de las motocicletas fueron seleccionados bajo criterios como experiencia previa en transporte, condición de madre cabeza de hogar, emprendimiento local o pertenencia al campesinado. Este proceso aseguró la inclusión de tres mujeres y tres hombres, quienes además recibirán capacitación en retrofit gracias a una alianza con Eoloblastos SAS y la Universidad de La Guajira (POLEN Transiciones Justas, 2024). De esta forma, el proyecto no solo mejora el acceso

al transporte sostenible, sino que también genera oportunidades de formación y reconversión laboral.

Durante la inauguración, llevada a cabo el 16 de abril de 2024, representantes del Ministerio de Minas y Energía, la alcaldía local y la Universidad de La Guajira destacaron el potencial de réplica de esta iniciativa a nivel nacional. La electrolinera de Mingueo se consolida así como un caso exitoso de cómo la energía solar, combinada con la organización comunitaria, puede facilitar una transición energética justa, reducir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar las condiciones de vida en territorios históricamente vulnerables; este avance se refleja en la infraestructura fotovoltaica instalada para el proyecto, como se ilustra en la Figura 10.

Figura 10

Mingueo: electromovilidad solar y retrofitting comunitario



Nota. La figura muestra la cubierta con paneles solares correspondiente a la electrolinera comunitaria de Mingueo, equipada con paneles fotovoltaicos. Reproducido de *En Mingueo, La Guajira, la comunidad enciende la primera electrolinera comunitaria del país* [Fotografía], por Comunicaciones POLEN Transiciones Justas, 2024, POLEN Transiciones Justas (<https://polentj.org/en-mingueo-la-guajira-la-comunidad-enciende-la-primera-electrolinera-comunitaria-del-pais>).

Autonomía Alimentaria y Energética: El Modelo Comunitario Solar del Pueblo Pijao

Un ejemplo paradigmático de transición energética justa con profundo impacto comunitario es el liderado por las comunidades indígenas Pijao de los resguardos de Tamirco, Hilarquito y Palma Alta, en el departamento del Tolima. A mediados de 2020, estas comunidades implementaron sistemas de paneles solares como parte del proyecto *“La inclusión energética como motor de desarrollo centrado en la comunidad”*, una iniciativa apoyada por la ONG Grupo Semillas y organizaciones nacionales e internacionales como Fastenaktion, Corpoema, EBP y REPIC (Urán Sierra, 2024).

El éxito del proyecto radica en su diseño comunitario y su aplicación directa para fortalecer la seguridad alimentaria. La energía solar se destinó principalmente a impulsar motobombas para extraer agua de aljibes y jagüeyes, permitiendo el riego constante de cultivos y el sostenimiento de proyectos piscícolas. Esto permitió a las comunidades “mejorar la producción de sus alimentos” de manera sostenible y autónoma (Urán Sierra, 2024, párr. 2).

En el resguardo de Tamirco, el sistema solar permitió optimizar la cosecha de mojarra. El agua impulsada por la motobomba solar “llega a tres tanques de 5.000 litros” (Urán Sierra, 2024, párr. 6), lo que ha asegurado un suministro vital para reactivar sus cultivos de pancoger como plátano, yuca, auyama y maíz y para el engorde de animales, consolidando así un modelo de soberanía alimentaria resiliente. Adicionalmente, la entrega de refrigeradores solares de 708 litros permitió conservar la producción pesquera, evitando pérdidas económicas significativas y generando ingresos estables para las familias mediante su venta en mercados locales.

Por su parte, la comunidad de Hilarquito dirigió la energía solar hacia el fortalecimiento de su sistema de agrosilvopastoreo. La instalación de seis paneles solares impulsa una cerca eléctrica que protege los cultivos de frijol, maíz, plátano y flor de jamaica, así como los árboles

de cítricos. Asimismo, una motobomba conectada a un jagüey y un tanque de almacenamiento de 5.000 litros garantiza el riego, apoyando una iniciativa de seguridad alimentaria que, como señala Urán Sierra (2024, párr. 15), ya llevaba seis años trabajando en “la recuperación y adaptación de las semillas criollas, la agroecología y la reforestación.”

Mientras tanto, en Palma Alta, la energía solar se convirtió en la base para potenciar la producción avícola, un recurso fundamental que, en palabras del gobernador Orlando Pamo, “proporciona huevos y carne de calidad, abono para sus huertas y brinda ingresos principalmente a las mujeres” (Urán Sierra, 2024, párr. 18). La comunidad recibió una incubadora solar de 500 huevos, una bomba de agua y maquinaria para procesar alimentos concentrados para animales. A través de un proceso de aprendizaje práctico, lograron dominar el uso de la incubadora, identificando las condiciones óptimas de temperatura y el manejo de las baterías del sistema fotovoltaico, lo que ha permitido sostener y mejorar su producción de pollos de manera significativa.

Un pilar fundamental del éxito de este proyecto fue el componente de formación. Doce personas, cuatro por cada resguardo en su mayoría mujeres y jóvenes, se capacitaron durante año y medio como “técnicos solares comunitarios”. Este enfoque asegura la sostenibilidad a largo plazo, ya que son los propios miembros de la comunidad quienes ahora están “a cargo del manejo y su sostenibilidad del sistema” y pueden replicar estos conocimientos (Urán Sierra, 2024, párr. 22). Este empoderamiento local convierte la tecnología en una herramienta de autonomía y no de dependencia.

En síntesis, la experiencia del pueblo Pijao demuestra que la transición energética justa es viable cuando la tecnología se adapta a las necesidades productivas y culturales específicas de una comunidad. El proyecto no solo provee energía limpia, sino que actúa como un motor de

desarrollo comunitario que fortalece la seguridad alimentaria, genera ingresos, empodera a sus habitantes y consolida la soberanía sobre sus territorios, sentando un precedente inspirador para iniciativas similares en otras regiones de Colombia, como se evidencia en la Figura 11.

Figura 11

Emprendimientos con energía solar



Nota. La figura muestra una vivienda tradicional y una edificación comunitaria con paneles solares instalados en la cubierta, asociadas a emprendimientos locales impulsados mediante el uso de energía solar. Reproducido de *Energía solar mueve emprendimientos de El Tolima* [Fotografía], por John Fredy Sánchez Cruz – Sancho, 2024, Prensa Grupo Semillas (<https://www.radionacional.co/noticias-colombia/energia-solar-mueve-emprendimientos-de-el-tolima>).

Energía Solar para la Paz: Acceso Energético como Herramienta de Reparación Colectiva y Desarrollo Comunitario

En el marco de la transición energética justa y sostenible en Colombia, un ejemplo paradigmático lo constituye la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica en comunidades vulnerables afectadas por el conflicto armado. Bajo el Convenio 1165 entre la Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas (UARIV) y el Programa de las

Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se llevó a cabo la instalación de soluciones renovables en siete sujetos étnicos y uno no étnico, como parte de las medidas de reparación colectiva contempladas en los Planes Integrales de Reparación Colectiva (PIRC) (UARIV & PNUD, 2021). Esta iniciativa no solo respondió a la necesidad de restituir el servicio de energía eléctrica en zonas no interconectadas, sino que también se orientó a compensar las afectaciones socioeconómicas derivadas del conflicto.

Como señalan Rodríguez y Mesa (2021), directivos de la UARIV, la apuesta por energías renovables en contextos de posconflicto permite “fortalecer la política pública de eficiencia y reparación integral a las víctimas” (p. 2). Por su parte, el PNUD destacó el alineamiento de estas acciones con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 16 (paz, justicia e instituciones sólidas), enfatizando el rol de las tecnologías limpias en la construcción de sociedades inclusivas y pacíficas (Ferrer & Pacheco, 2021).

Los proyectos se implementaron en territorios como los resguardos Embera Katíos de Ciparadó, Citara, Chimá y Cutí (Chocó), La Puria (Consuelo Parte Baja), El Arenillo (Valle del Cauca), y el Cabildo Nasa We'sx La Gatana y el Resguardo Honduras (Caquetá). En estos lugares, la energía solar se convirtió en un catalizador para el desarrollo comunitario, permitiendo no solo la iluminación y la carga de dispositivos, sino también el funcionamiento de talleres de confección, sistemas de refrigeración para alimentos autóctonos, equipos de sonido y salas de sistemas (UARIV & PNUD, 2021, pp. 12-13).

Un aspecto clave de este modelo fue la participación local en la gestión y mantenimiento de los sistemas. Se desarrollaron cartillas educativas con enfoque comunitario, que incluían desde recomendaciones técnicas (como la prohibición de manipular reguladores, interruptores y

baterías sin supervisión especializada) hasta horarios de uso consensuados para optimizar el consumo energético (UARIV & PNUD, 2021, p. 16). Además, se enfatizó en la importancia del mantenimiento preventivo, la limpieza adecuada de los paneles y la planificación colectiva para asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

Este caso evidencia cómo la transición energética puede ser una herramienta de paz, reparación y reducción de pobreza cuando se articula con procesos de participación local, enfoque étnico y reparación colectiva. No se trata solo de instalar tecnología, sino de construir capacidades comunitarias, generar confianza y promover usos productivos de la energía que fortalezcan la autonomía territorial.

Como concluye la publicación, la energía eléctrica “debe considerarse una posibilidad para mejorar la calidad de vida y como una fuente adicional para motivar el desarrollo integral y sostenible de estas regiones” (UARIV & PNUD, 2021, p. 3). Esta apropiación comunitaria del proceso técnico y organizativo se refleja en las dinámicas de instalación y acompañamiento del proyecto, tal como se aprecia en la Figura 12.

Figura 12

Energía solar para la paz



Nota. La figura muestra el proceso participativo de instalación de un sistema fotovoltaico en una comunidad rural. Adaptado de *Energía solar para la paz* [Ilustración], por Unidad para la

Atención y Reparación Integral a las Víctimas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2021, PNUD

(https://files.acquia.undp.org/public/migration/co/UNDP_Co_PAZ_Publicaciones_Energia_Solar_Paz_nov11_2021.pdf).

Alianzas Público-Privadas

Enfoque: Cooperación para escalar impactos.

Energía Solar: Proyecto Sol-Kai

La Alta Guajira, una región con profundas brechas de inequidad, se ha convertido recientemente en el escenario de una iniciativa que ilustra el potencial transformador de las alianzas estratégicas. El proyecto Sol-Kai, liderado por el consorcio entre AES Colombia, Soluna y la Financiera de Desarrollo Nacional de ahora en adelante (FDN), surge como un caso emblemático de cómo la cooperación entre actores privados y de desarrollo puede materializar la transición energética en territorios vulnerables. Como se documenta en la prensa especializada, la iniciativa busca llevar energía solar a “más de 800 hogares” de comunidades Wayúu en el municipio de Uribía (El Periódico Deportivo, 2025, p. 1), abordando un déficit crítico donde, según los datos citados, el 31.4% de la población carece de acceso a electricidad.

Lo que distingue a este proyecto no es solo su objetivo social, sino su innovador esquema de financiación y ejecución. La FDN desempeñó un rol crucial al aprobar un crédito senior por \$11.600 millones y una línea de liquidez por \$1.120 millones, mientras que las empresas privadas canalizaron recursos adicionales a través de un patrimonio autónomo (El Periódico Deportivo, 2025, p. 2). Esta estructura, que además incorpora recursos de fondos climáticos internacionales y el Banco Interamericano de Desarrollo, se configura como el primer modelo de *project finance* aplicado a electrificación rural con energías renovables en Colombia. Según

Francisco Lozano, presidente de la FDN, el propósito central es “cerrar brechas sociales” (El Periódico Deportivo, 2025, p. 2), lo cual va más allá de instalar paneles solares: se busca un cambio tangible en la calidad de vida.

El impacto esperado es significativo. Las familias beneficiadas contarán por primera vez con energía eléctrica continua, lo que facilitará “el uso de electrodomésticos esenciales, el acceso a tecnología y mejores condiciones para la educación y la productividad” (El Periódico Deportivo, 2025, p. 2). Además, el modelo está diseñado para escalar; una primera fase de 840 viviendas sentará las bases para alcanzar eventualmente hasta 3.000, demostrando que es posible crecer de manera sostenible sin sacrificar la inclusión.

Un elemento clave del éxito de esta alianza es la claridad en los roles: AES Colombia aporta su expertise en generación y sostenibilidad corporativa, Soluna se encarga de la operación y el mantenimiento garantizando permanencia y confiabilidad, y la FDN provee la arquitectura financiera y el respaldo para atraer capital internacional. Como señaló Federico Echavarría, gerente de AES Colombia, se trata de un proyecto que “fortalece la transición energética justa en el país” (El Periódico Deportivo, 2025, p. 3), enfatizando un compromiso que trasciende lo ambiental para incluir dimensiones sociales y económicas.

En conclusión, el caso Sol-Kai muestra que las alianzas público-privadas, cuando se estructuran con visión de largo plazo y mecanismos financieros innovadores, pueden garantizar el acceso a la energía solar a quienes históricamente han quedado al margen del desarrollo. No se trata de un esfuerzo aislado, sino de un referente metodológico y operativo que puede ser replicado en otras regiones no interconectadas de Colombia, siempre con un enfoque de justicia energética y una cooperación entre múltiples actores, lo cual se refleja en la implementación del sistema fotovoltaico desarrollado en La Alta Guajira, presentado en la Figura 13.

Figura 13

Proyecto Sol-Kai en la Guajira



Nota. La figura muestra la instalación de un sistema solar fotovoltaico en una estructura comunitaria de La Alta Guajira, con un panel solar de gran tamaño montado sobre una cubierta de lámina en un entorno rural. Adaptado de *Proyecto Sol-Kai en La Guajira* [Ilustración], por AES Colombia, 2025, X (https://x.com/AES_Colombia/status/1963675119261307249).

Energía Eólica: SENA Regional Guajira el Primer Laboratorio Eólico del País

Dentro del marco de las alianzas público-privadas, como mecanismo para escalar los impactos de la transición energética, destaca la implementación del primer laboratorio eólico de Colombia, desarrollado en la regional Guajira del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Esta iniciativa, liderada por el Ministerio de Minas y Energía y el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), representa un modelo de cooperación estratégica que articula esfuerzos institucionales, formativos y tecnológicos con el fin de fortalecer las capacidades locales y nacionales en materia de energías renovables (Ministerio de Minas y Energía, 2025).

El laboratorio, inaugurado en agosto de 2025, cuenta con equipos de última tecnología que permiten la realización de prácticas reales en generación y uso eficiente de energía eólica, solar e híbrida. Según el Ministerio de Minas y Energía (2025), esta infraestructura beneficiará

directamente a 25.245 personas, entre estudiantes de formación complementaria, técnicos, tecnólogos, instructores y personal administrativo. De esta manera, no solo se fortalece la formación técnica especializada, sino que también se posiciona a La Guajira como un referente nacional en la capacitación para el sector energético.

El ministro de Minas y Energía, Edwin Palma Egea, enfatizó que “estamos formando el talento humano que será clave para la industrialización limpia de Colombia” (Ministerio de Minas y Energía, 2025, p. 3). Por su parte, la directora ejecutiva de FENOGE, Ángela Álvarez, señaló que el laboratorio tendrá un “impacto multiplicador”, ya que desde allí se formarán instructores para otras regiones, consolidando al departamento como epicentro del conocimiento en energías renovables (Ministerio de Minas y Energía, 2025, p. 3).

Este proyecto, con una inversión superior a los \$4.411 millones, se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 4, 7, 8, 9 y 13) y con el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026, demostrando cómo la articulación entre lo público y lo privado puede generar empleo verde, innovación tecnológica y equidad energética.

Así, el laboratorio no solo es un caso exitoso de formación técnica, sino también un ejemplo de cómo las alianzas estratégicas pueden acelerar la transición energética justa y sostenible en regiones con alto potencial renovable como la Guajira, lo cual se materializa en la infraestructura del primer laboratorio eólico del SENA, presentada en la Figura 14.

Figura 14

El primer laboratorio eólico del país SENA Regional Guajira



Nota. La figura muestra la infraestructura del laboratorio eólico del SENA en La Guajira, destinado a la formación técnica en energías renovables y al fortalecimiento de capacidades para la transición energética. Reproducido de *Primer laboratorio eólico del país forma a más de 25 mil técnicos para la transición energética* [Fotografía], por Ministerio de Minas y Energía, 2024, Gov.co (<https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/primer-laboratorio-eolico-pais-forma-mas-25-mil-tecnicos-para-transicion-energetica/>).

Energía Hidráulica: Proyecto Ituango

El Proyecto Hidroeléctrico Ituango, desarrollado por Empresas Públicas de Medellín (EPM), se erige como un referente nacional en materia de transición energética bajo un modelo de alianza público-privada que prioriza la escalabilidad de impactos ambientales, sociales y económicos. Con una inversión social y ambiental que supera los 2,5 billones de pesos (EPM, 2022), esta iniciativa no solo aporta energía limpia y renovable (reduciendo anualmente 4,4 millones de toneladas de CO₂ una vez alcance su capacidad máxima de 2.400 MW), sino que articula esfuerzos con entidades gubernamentales, comunidades locales y actores del sector pesquero y ambiental para maximizar su contribución al desarrollo territorial.

La cooperación interinstitucional ha sido fundamental para ampliar el alcance de las acciones asociadas al proyecto. Por ejemplo, EPM estableció convenios con once entidades, incluida la Gobernación de Antioquia, Corantioquia y el Fondo Especial para la Paz, para implementar estrategias de conservación y rehabilitación de ecosistemas degradados en el Bajo Cauca. En este marco, se rehabilitaron 400 hectáreas, de las cuales 156 fueron aportadas directamente por EPM (EPM, 2022). Asimismo, se destaca el “Proyecto Bagre”, ejecutado con la participación de 638 pescadores, comerciantes y asociaciones de la región, mediante el cual se intervienen 19 ecosistemas cenagosos y se adelantan investigaciones para la conservación de especies ícticas endémicas.

Desde el punto de vista social, el modelo de contratación comunitaria ha permitido vincular a la población local en actividades de restauración ecológica, generando cerca de 400 empleos en labores como siembra de plántulas nativas y sombreado de árboles en la franja de protección del embalse (EPM, 2022). Adicionalmente, se han implementado más de 120 proyectos productivos que benefician a más de 6.000 familias de 377 veredas, junto con mejoras en infraestructura educativa, vial y de servicios públicos que impactan positivamente la calidad de vida de los habitantes de la zona de influencia.

Estos logros reflejan cómo la articulación entre lo público, lo privado y lo comunitario puede potenciar los beneficios de la transición energética, siempre que se base en el diálogo constante, el respeto por las dinámicas locales y el compromiso con la sostenibilidad a largo plazo. Ituango demuestra que, más allá de la generación de energía renovable, un proyecto de esta envergadura puede ser catalizador de desarrollo integral siempre que se construya sobre alianzas estratégicas y con un enfoque de corresponsabilidad, lo cual se evidencia en la

participación comunitaria en procesos de restauración ecológica desarrollados en el territorio, presentada en la Figura 15.

Figura 15

Mujeres participando en actividades de restauración ecológica



Nota. La figura muestra a dos mujeres de la comunidad local participando en actividades de restauración ecológica, relacionadas con procesos de recuperación ambiental en el área de influencia del proyecto Hidroituango. Reproducido de *Hidroituango contribuye a la sostenibilidad del territorio* [Fotografía], por Empresas Públicas de Medellín, 2022, EPM (<https://www.epm.com.co/institucional/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/hidroituango-contribuye-a-la-sostenibilidad-del-territorio/>).

Biomasa: Estrategias de Incauca en la Transición hacia la Energía Limpia

Un ejemplo destacado de cómo las alianzas público-privadas pueden catalizar una transición energética justa y sostenible en Colombia lo constituye el caso de Incauca, empresa agroindustrial con más de seis décadas de trayectoria. Lejos de limitarse a un cambio de imagen corporativa, la compañía ha reorientado su estrategia hacia la generación de energía limpia a partir de biomasa, específicamente utilizando el bagazo de la caña de azúcar, un subproducto de su actividad principal (Pulzo, 2025). Este modelo de cogeneración no solo le permite autoabastecerse de electricidad, sino que inyecta aproximadamente 32 millones de kWh

mensuales al Sistema Interconectado Nacional (SIN), un aporte equivalente al consumo de ciudades medianas colombianas (Pulzo, 2025). El presidente de Incauca, Roberto Klinger, ha subrayado que este proceso representa un “compromiso a largo plazo” en el que la energía limpia es un pilar central (como se cita en Pulzo, 2025). Esta sinergia entre el sector privado y los objetivos nacionales de política energética evidencia cómo la cooperación puede materializar proyectos de gran escala.

El éxito de esta apuesta tecnológica se sustenta en un marco de colaboración implícita con las instituciones públicas. El Ministerio de Minas y Energía de Colombia ha identificado el potencial de la biomasa para diversificar la matriz eléctrica nacional, tradicionalmente dependiente de las hidroeléctricas (Pulzo, 2025). En este sentido, Incauca actúa como un caso pionero que valida la viabilidad técnica y económica de esta fuente renovable a nivel industrial, demostrando al mismo tiempo cómo el sector privado puede alinearse con las metas ambientales del país, como las establecidas en el Acuerdo de París. La empresa contribuye directamente a estos objetivos mediante la producción de bioetanol, un biocombustible que, según la compañía y el Instituto Nacional de Biodiversidad y Agropecuario (INBAR), reduce en un 74% las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles (Pulzo, 2025).

Sin embargo, el impacto trasciende lo ambiental y se articula con una dimensión social clave para una transición justa. Incauca genera más de 4.500 empleos directos y realiza una significativa inversión en salarios y beneficios, superando los 313.000 millones de pesos en 2024 (Pulzo, 2025). Además, la empresa ha establecido alianzas productivas con comunidades locales, como la comunidad Nasa de Miranda (Cauca), para la producción de mora. Estas iniciativas, junto con programas educativos a través de la Escuela Incauca y actividades deportivas que

involucran anualmente a cerca de 1.400 menores, reflejan un modelo de negocio que integra el desarrollo comunitario y la inclusión social (Pulzo, 2025). De este modo, la empresa no solo escaló el impacto de su transición energética, sino que lo hizo fortaleciendo el capital social y económico de su entorno inmediato. En síntesis, el caso de Incauca ilustra cómo una alianza estratégica entre capacidades empresariales y prioridades nacionales puede escalar soluciones energéticas sostenibles. La empresa no solo logró reinventar su operación hacia la autosuficiencia y la contribución limpia a la red eléctrica, sino que integró este avance tecnológico con un fuerte componente de valor compartido.

Este enfoque holístico (que combina biomasa, bioetanol, gestión de residuos agrícolas y alianzas comunitarias) constituye un referente para demostrar que la transición energética en Colombia puede ser un vehículo para la competitividad industrial, la mitigación del cambio climático y, fundamentalmente, el desarrollo territorial inclusivo, lo cual se materializa en los procesos industriales asociados al aprovechamiento de la biomasa cañera, como se presenta en la Figura 16.

Figura 16

Proceso de carga y transporte de biomasa cañera en instalaciones industriales



Nota. La figura muestra una cargadora de caña de azúcar transfiriendo caña previamente cortada hacia un remolque, como parte del proceso logístico de manejo de biomasa en instalaciones

industriales. Reproducido de *Incauca y la transición energética en Colombia: biomasa, bioetanol y desarrollo sostenible* [Fotografía], por Pulzo, 2024, Pulzo

(<https://www.pulzo.com/economia/incauca-y-la-transicion-energetica-en-colombia-biomasa-bioetanol-y-desarrollo-sostenible-PP4769794A>).

Conclusiones

La transición energética justa y sostenible en Colombia representa una oportunidad estratégica para diversificar la matriz energética, reducir la dependencia de combustibles fósiles y avanzar hacia el cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales. La evidencia analizada permite concluir que esta transición ofrece incentivos tributarios concretos establecidos en la Ley 1715 de 2014 y sus actualizaciones, los cuales incluyen la deducción de hasta el 50 % en el impuesto de renta, la exclusión del IVA, la exención de aranceles y la depreciación acelerada de activos (Congreso de Colombia, 2014; Congreso de Colombia, 2021). Estos beneficios fiscales fomentan decisivamente la adopción de energías renovables al mejorar la viabilidad financiera de los proyectos para una amplia gama de actores.

Se evidencia que el sector empresarial en Colombia ha capitalizado efectivamente los incentivos fiscales y su capacidad técnica y financiera para desarrollar proyectos de energía renovable a gran escala, lo que ha permitido diversificar la matriz energética nacional, generar ahorros económicos, mejorar su competitividad y contribuir a la reducción de emisiones (UPME, 2024).

Se identifica que el fortalecimiento del financiamiento accesible, el desarrollo de capacitación técnica local y la articulación institucional son elementos cruciales para superar las barreras estructurales y garantizar una participación plena y justa de las comunidades vulnerables, especialmente aquellas en zonas no interconectadas (ZNI), en los beneficios de la transición energética (BID, 2024; FENOGE, 2025).

Los casos exitosos documentados, como los parques solares de Ecopetrol en el Meta, la electrificación comunitaria del IPSE y la electrolinera solar de Mingueo, demuestran que la transición es viable y genera impactos positivos cuando se articula con la participación

comunitaria, el fortalecimiento de capacidades locales y modelos de gestión adaptados al territorio. Estos ejemplos subrayan la importancia de diseñar proyectos que no solo instalen tecnología, sino que construyan confianza y empoderen a las comunidades en la gestión de su energía.

Se identificó que los principales desafíos para una transición inclusiva trascienden lo técnico y se enraízan en problemas socio institucionales, como la resistencia al cambio por desconfianza histórica, la lentitud regulatoria y la falta de mecanismos efectivos de participación y distribución equitativa de beneficios. El caso del parque eólico Windpeshi en La Guajira ilustra cómo la imposición de proyectos sin un diálogo genuino puede generar conflictos sociales y poner en riesgo las inversiones.

El futuro de la transición energética en Colombia depende críticamente de la capacidad para cerrar las brechas entre el sector empresarial y las comunidades vulnerables mediante políticas públicas diferenciadas, alianzas público-privadas- comunitarias innovadoras y una gobernanza que priorice la equidad territorial. Solo mediante una planificación que integre de forma coherente las dimensiones económica, ambiental y social se podrá asegurar que el paso hacia las energías limpias sea verdaderamente sostenible y justo para todos los actores involucrados.

Finalmente, a partir de los casos documentados, se evidencia un avance significativo en la capacidad instalada de energías renovables en Colombia entre 2015 y 2025. En energía solar, proyectos como los parques Castilla (21 MWp) y San Fernando (59 MWp) de Ecopetrol, junto con iniciativas comunitarias y empresariales, han contribuido a una capacidad que supera los 2.030 MW a junio de 2025 (Becerra, 2025). En energía eólica, aunque con retos en su implementación, se registran proyectos como Windpeshi (205 MW) y otros 30 en cartera. En

biomasa, se destacan al menos cuatro proyectos activos, como el de Incauca, que genera 32 millones de kWh mensuales. En el ámbito hidráulico, además de la gran hidroeléctrica Ituango (2.400 MW), se han desarrollado pequeñas centrales como la PCH San Andrés de Cuerquia (19,9 MW), reflejando una diversificación progresiva de la matriz energética nacional.

Referencias Bibliográficas

- Becerra, A. (2025, 14 de julio). *Estos son los avances y retos que enfrenta Colombia para la producción de energía solar*. El País. <https://www.elpais.com.co/economia/estos-son-los-avances-y-retos-que-enfrenta-colombia-para-la-produccion-de-energia-solar-1434.html>
- Cabrales, S. [@SergioCabrales]. (2025, 9 de agosto). *A junio de 2025, el 61,9 % de la capacidad solar instalada en Colombia se concentra en la región Caribe* [Publicación en X]. X. <https://x.com/SergioCabrales/status/1946528695952499035>
- Care Aparicio, C. V., & Sotomayor Jiménez, K. M. (2021). *Disminución de los costos en el consumo de energía eléctrica en la Arena, zona rural del municipio de Ciénaga de Oro – Córdoba, mediante la implementación de un sistema fotovoltaico por medio de estrategias de cooperación internacional* [Trabajo de grado, Universidad de Córdoba]. Repositorio Institucional Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/2a04885d-7960-4dc7-b623-ec1c195d247f/content>
- Castro Agudelo, G. A., & Luna Serna, D. C. (2021). *Valoración de un proyecto de energía solar en Colombia, implementando opciones reales* [Tesis de maestría, Colegio de Estudios Superiores de Administración - CESA]. Repositorio CESA. https://repository.cesa.edu.co/bitstream/handle/10726/4402/MFC_1020770220_2021_2.pdf
- Celsia. (2020, 24 de septiembre). *Celsia inaugura central de generación de energía hídrica sostenible en Antioquia*. Celsia. <https://www.celsia.com/es/noticias/celsia-inaugura-central-de-generacion-de-energia-hidrica-sostenible-en-antioquia/>

Cortés, C. (2022). *Energías renovables no convencionales en Colombia: Análisis de viabilidad técnica y económica* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].

Repositorio

UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40173/ccortegatee.pdf?sequence=3>

Cortés, D. F., Herrera, L. M., & Pesca, J. P. (2021). *Energías renovables fotovoltaicas: una aproximación descriptiva de su estado y su aplicación en Colombia*. Repositorio

Institucional Universidad

EAN. <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/85762295-4e19-432f-b377-f235f6559675/content>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2023, 5 de mayo). *Boletín técnico:*

Cuenta ambiental y económica de flujos de energía (CAEF-E) 2020–2021 provisional.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuenta_ambiental_economica_energia_emisiones/Bol_Energia_emisiones_2021_provisional.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2024). *Energía renovable en Colombia: resolver el trilema energético.*

[Informe]. <https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Planeacion/Paginas/energia-renovable-en-colombia-resolver-el-trilema-energetico.aspx>

Dyner, I. (2023). *Colombia en camino a la transición energética: retos y perspectivas.*

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo

Lozano. <https://www.utadeo.edu.co/es/noticia/especiales/home/1/colombia-en-camino-la-transicion-energetica-retos-y-perspectivas>

Ecopetrol. (2018, 3 de octubre). *Ecopetrol y AES pusieron en operación Parque Solar*

Castilla. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias>

Ecopetrol. (2020, 18 de agosto). *Grupo Ecopetrol adjudicó contrato para la construcción de nuevo*

megaparque. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Noticias+2020/Noticias+Noviembre/nuevo-megaparque-solar-meta>

EDP Energía. (2024). *Beneficios de las comunidades*

solares. <https://www.edpenergia.es/es/blog/energia-fotovoltaica/beneficios-comunidad-solar/>

El Heraldó. (2025, 23 de julio). *Gobierno entrega detalles de Licencia Ambiental Solar para proyectos de generación de*

energía. <https://www.elheraldo.co/atlantico/2025/07/23/gobierno-entrega-detalles-de-licencia-ambiental-solar-para-proyectos-de-generacion-de-energia/>

El Periódico Deportivo. (2025, 2 de septiembre). *Más de 800 hogares en La Alta Guajira tendrán energía solar gracias a AES Colombia, Soluna y la*

FDN. <https://elperiodicodeportivo.com.co/mas-de-800-hogares-en-la-alta-guajira-tendran-energia-solar-gracias-a-aes-colombia-soluna-y-la-fdn/>

Enel Colombia. (2022, 23 de mayo). *Así funcionará el Parque Eólico Windpeshi en el departamento de la Guajira* [Comunicado de

prensa]. <https://www.enel.com.co/es/prensa/news-2022/05/parque-windpeshi-guajira.html>

Endesa. (2022, 7 junio). *Comunidades energéticas locales: ¿Qué son y cómo*

funcionan? <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/comunidades-energeticas-locales-que-son>

- Energía Estratégica. (2020, 9 de octubre). *La UPME concedió beneficios tributarios para 800 proyectos de renovables y eficiencia energética*. <https://www.energiaestrategica.com/la-upme-concedio-beneficios-tributarios-para-800-proyectos-de-renovables-y-eficiencia-energetica/>
- Empresas Públicas de Medellín. (2022, 23 de diciembre). *Hidroituango contribuye a la sostenibilidad del territorio*. <https://www.epm.com.co/institucional/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/hidroituango-contribuye-a-la-sostenibilidad-del-territorio/>
- Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía. (2023). *Energía Solar ¡Para Economías Populares!* <https://fenoge.gov.co/proyectos/energia-solar-para-economias-populares/>
- Congreso de Colombia (2021). *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, 10 de julio de 2021. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>
- GMAS Energy. (2024). *Energía solar y democratización energética en zonas no interconectadas de Colombia*. <https://gmasenergy.co/energia-solar-democratizacion-de-la-energia-en-zonas-sin-acceso-a-electricidad/>
- Guerrero, D. (2025, 7 de julio). *Ecopetrol compra a Enel proyecto eólico Windpeshi en la Guajira*. *Bloomberg Línea*. <https://www.bloomberglinea.com/latinoamerica/colombia/ecopetrol-compra-a-enel-proyecto-eolico-windpeshi-en-la-guajira/>

International Renewable Energy Agency. (2025). *Renewable Energy Statistics*

2025. <https://www.irena.org/->

/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Jul/IRENA_DAT_RE_Statistics_2025.pdf

Lumen S.A.S. (2025). *El crecimiento del mercado de energía solar en Colombia: oportunidades*

y desafíos. <https://lumen.com.co/el-crecimiento-del-mercado-de-energia-solar-en->

<colombia-oportunidades-y-desafios/>

Martínez de Bourio, Á. (2025, 16 de mayo). Colombia ante la nueva etapa de la transición

energética: entre la urgencia global y la oportunidad local. *Forbes*

Colombia. <https://forbes.co/2025/05/16/red-forbes/colombia-ante-la-nueva-etapa-de-la->

<transicion-energetica-entre-la-urgencia-global-y-la-oportunidad-local>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Cartilla GEE: Guía para la elaboración*

de reportes de gases de efecto invernadero (GEI). Unidad de Planeación Minero-

Energética. https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Cartilla_GEE.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2023). *Diagnóstico base para la transición energética*

justa. https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2._Diagn%C3%B3stico_base_pa

ra_la_TEJ.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2025). *Decreto Colombia*

solar. <https://www.minenergia.gov.co/documents/13280/2025-02->

28_Decreto_Colombia_Solar.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2025, 27 de agosto). *Primer laboratorio eólico del país forma a*

más de 25 mil técnicos para la transición

energética. <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/primer->

<laboratorio-eolico-pais-forma-mas-25-mil-tecnicos-para-transicion-energetica/>

- Ministerio del Medio Ambiente (Chile). (2019). *Guía de energía solar fotovoltaica: Manual para el desarrollo de proyectos*. Repositorio Ambiental. <https://repositorioambiental.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/265P4-Gu%C3%ADa-Energ%C3%ADa-Solar.pdf>
- Niño Villamizar, Y. A., Nieves Plata, M. E., & Cortés Jiménez, C. A. (2023). Desafíos de la transición energética sostenible: Perspectivas para la investigación y la gestión. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 31(2). <https://www.redalyc.org/journal/909/90978510009/90978510009.pdf>
- Noticias RCN. (2025, 3 de septiembre). *Energía solar transforma la vida de más de mil familias rurales en Colombia*. <https://www.noticiasrcn.com/colombia/energia-solar-transforma-la-vida-de-mas-de-mil-familias-rurales-en-colombia-930542>
- Piñeres Castillo, A., Cabello Eras, J. J., & Hinojosa Rivera, M. (2022). Factores determinantes para la evaluación de la eficiencia energética en las organizaciones: Una visión desde las condiciones de Colombia. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2). <https://repositorio.cuc.edu.co/server/api/core/bitstreams/b16bf29d-8de1-4632-9ffa-e60ed9e3daee/content>
- POLEN Transiciones Justas. (2024, 14 de mayo). *En Mingueo, la Guajira, la comunidad enciende la primera electrolinera comunitaria del país*. <https://polentj.org/en-mingueo-la-guajira-la-comunidad-enciende-la-primera-electrolinera-comunitaria-del-pais>
- Porkcolombia - FNP. (2021). *Ficha de iniciativas exitosas: Biol comercial certificado como acondicionador orgánico de suelos a partir de porcínaza*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp->

content/uploads/2021/09/casos-exito-BIOL-COMERCIAL-CERTIFICADO-COMO-ACONDICIONADOR-ORGANICO-DE-SUELOS-A-PARTIR-DE-PORCINAZA-.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). *Energía solar para la paz:*

Experiencias comunitarias en

Colombia. https://files.acquia.undp.org/public/migration/co/UNDP_Co_PAZ_Publicaciones_Energia_Solar_Paz_nov11_2021.pdf

Pulzo. (2025, 22 de septiembre). *Incauca y la transición energética en Colombia: Biomasa,*

bioetanol y desarrollo sostenible. [https://www.pulzo.com/economia/incauca-y-la-](https://www.pulzo.com/economia/incauca-y-la-transicion-energetica-en-colombia-biomasa-bioetanol-y-desarrollo-sostenible-PP4769794A)

[transicion-energetica-en-colombia-biomasa-bioetanol-y-desarrollo-sostenible-](https://www.pulzo.com/economia/incauca-y-la-transicion-energetica-en-colombia-biomasa-bioetanol-y-desarrollo-sostenible-PP4769794A)

[PP4769794A](https://www.pulzo.com/economia/incauca-y-la-transicion-energetica-en-colombia-biomasa-bioetanol-y-desarrollo-sostenible-PP4769794A)

Raihan, A. (2023). The influences of renewable energy, globalization, technological innovations,

and forests on emission reduction in Colombia. *Innovation and Green Development*, 2,

100071. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100071>

Restrepo Román, A., Villegas, D. J., Rodriguez, C., Cogollo, A., Bedoya, I. D., & Amell Arrieta,

A. A. (2024). Implementation of a hierarchical cluster model to analyze wind and solar

availability in the department of Antioquia, Colombia. *Case Studies in Chemical and*

Environmental Engineering, 10, 101006. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101006>

Romero, I., & Borrello, F. (2021). *La oportunidad de negocio de la generación solar distribuida*

en Colombia: Mecanismos de financiamiento para la banca comercial [Informe técnico].

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; SER Colombia. [https://ser-](https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2021/11/Generacio%CC%81n-Sole-Financiamiento-GDS-Col.pdf)

[colombia.org/wp-content/uploads/2021/11/Generacio%CC%81n-Sole-Financiamiento-](https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2021/11/Generacio%CC%81n-Sole-Financiamiento-GDS-Col.pdf)

[GDS-Col.pdf](https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2021/11/Generacio%CC%81n-Sole-Financiamiento-GDS-Col.pdf)

- Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2022). *Guía de la sostenibilidad energética completa*. https://oab.ambientebogota.gov.co/wp-content/uploads/dlm_uploads/2022/03/GUIA-DE-LA-SOSTENIBILIDAD-ENERGETICA-COMPLETA.pdf
- SER Colombia. (2021,12 de marzo). *Los 37 proyectos de energías renovables que se inaugurarán en Colombia este año*. <https://ser-colombia.org/2021/noticias-del-sector/energia-estrategica-exclusivo-los-37-proyectos-de-energias-renovables-que-se-inauguraran-en-colombia-este-ano/>
- SER Colombia. (2021). *Retos y oportunidades ambientales de la energía verde en Colombia*. <https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2021/11/5.-Retos-y-Oportunidades-ambientales-de-la-energia-verde-en-Colombia.pdf>
- Shell Colombia. (2025). *Transición energética: Definición e importancia*. <https://www.shell.com.co/sostenibilidad/transicion-energetica.html>
- Tejada Guzmán, P. M. (2022). *Energías renovables en Colombia: Avances para la transición energética*. Asociación Ambiente y Sociedad. https://www.ambienteysociedad.org.co/wp-content/uploads/2022/11/Energi%CC%81as-renovables-en-Colombia_compressed.pdf
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2023). *Monografía sobre el caso de conflictividad social generada por la construcción del parque eólico Windpeshi por parte de Enel en jurisdicción de los municipios de Uribia y Maicao en La Guajira*. https://www1.upme.gov.co/Documents/Enfoque-territorial/Resultados_convenios/3_Monografia_sobre_caso_parque_eolico_windpeshi_PARES_v2.pdf

- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2024, 27 de marzo). *Estudio para incluir las dimensiones energética y económica del territorio en las metodologías de planificación nacional del sector minero-energético* [Informe 3]. https://www1.upme.gov.co/Documents/Coop_internacional/1_BID_CO1607_2024/BI_D_CO1607_Informe_3_Informe_final_VF_2024.pdf
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2024). *Plan Energético Nacional 2024-2054: Tomo I - Diversificación de la matriz energética*. https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2024_2054/PDF3_PE_Diversificacion_Publicacion_Tomo_I.pdf
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2024). *Plan Energético Nacional 2024-2054: Tomo I - Eficiencia energética*. https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2024_2054/PDF2_PE_Eficiencia_Energetica_Publicacion_Tomo_I.pdf
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2024). *Plan Energético Nacional 2024-2054: Tomo I - Fundamentos*. https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2024_2054/PDF1_PEN_2024-2054_Tomo_I.pdf
- Universidad EAFIT. (2023). *Evaluación financiera de proyectos solares: Métodos TIR y VAN*. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/4d98719d-cd9b-442b-9ea2-388424b8fe6c/content>
- Urán Sierra, V. (2024, 8 de abril). *Sistemas solares para la seguridad alimentaria: La apuesta del pueblo indígena Pijao*. Climate Tracker

Latam. <https://climatetrackerlatam.org/historias/sistemas-solares-para-la-seguridad-alimentaria-la-apuesta-del-pueblo-indigena-pijao/>

Vega-Araújo, J., Muñoz Cabré, M., & Gil, M. P. (2025). *Energía solar, eólica y comunidades energéticas en Colombia: Panorama 2025*. Stockholm Environment

Institute. <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2025/04/solar-eolica-colombia-sei2025.pdf>