

**La energía solar como potencial catalizador del desarrollo socioeconómico del Caribe
colombiano**

Michael Steven Alonso Salgado

Directora

Danna Ángel Rubiano

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios ECACEN

Economía

2025

Dedicatoria

A mis padres, por el inmenso regalo de la oportunidad y la tranquilidad. Su sacrificio y confianza incondicional son el verdadero cimiento de este logro.

A mi hermana, por ser la más brillante inspiración para construir un futuro mejor.

Y a Laura, mi compañera. Por tu amor, tu apoyo infinito y por creer en nuestro futuro con una fuerza que me impulsó hasta el final.

Agradecimientos

Deseo expresar mi gratitud a quienes contribuyeron a la culminación de esta monografía. En primer lugar, a mi directora, Danna Ángel Rubiano, por su arduo trabajo. Sus detalladas retroalimentaciones fueron la guía fundamental para constituir y dar forma al presente documento. Agradezco también a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y a la Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios (ECACEN) por la formación académica recibida a lo largo de estos años.

Un reconocimiento especial a aquellos compañeros de batalla con quienes compartí los desafíos de este exigente camino. El aprendizaje colaborativo fue un pilar de mi formación, y aunque nuestros senderos se separen, les deseo el mayor de los éxitos en sus futuros proyectos.

En el plano personal, mi más profundo y sincero agradecimiento es para mi familia. A mis padres, por su sacrificio inmenso, su paciencia y por brindarme el espacio y la tranquilidad necesarios para dedicarme por completo a este proyecto. Este logro es tan suyo como mío. A mi hermana, por ser mi recordatorio constante del futuro que aspiro a construir.

Finalmente, y con todo mi corazón, a mi compañera, Laura. Gracias por tu amor, por ser un pilar incondicional y por tu apoyo vital en los momentos más complejos. Tu fe en mí fue, y sigue siendo, mi mayor motivación.

Resumen

Esta monografía explora la profunda paradoja energética de la región Caribe colombiana: a pesar de poseer un recurso solar de clase mundial, sufre de costos eléctricos elevados y un servicio deficiente que limitan su desarrollo. El objetivo principal es analizar el potencial transformador de la energía solar fotovoltaica como catalizador para el desarrollo económico sostenible, identificando las barreras sistémicas que impiden su aprovechamiento y las vías para su materialización. A través de una investigación documental con enfoque cualitativo, se revisó sistemáticamente literatura académica, informes gubernamentales y marcos regulatorios pertinentes. Los hallazgos revelan la existencia de un "bloqueo sistémico" conformado por una tríada de barreras interconectadas: una infraestructura de red precaria (técnica), una elevada percepción de riesgo que frena la inversión (financiera) y una profunda desconfianza ciudadana (social). A su vez, se confirma que la energía solar posee un inmenso potencial catalizador para mejorar la competitividad regional, promover la equidad social y garantizar la sostenibilidad ambiental. Se concluye que el impacto transformador de la tecnología no es automático; su éxito depende de una gobernanza integral que aborde simultáneamente la modernización de la infraestructura, la mitigación del riesgo inversor y la construcción de legitimidad social, convirtiendo la transición energética en un proyecto de desarrollo territorial justo y sostenible.

Palabras clave: Energía Solar Fotovoltaica, Desarrollo Sostenible, Competitividad Regional, Región Caribe, Transición Energética.

Abstract

This monograph explores the profound energy paradox of the Colombian Caribbean region: despite possessing world-class solar resources, the area suffers from high electricity costs and poor service that limit its development. The primary objective is to analyze the transformative potential of solar photovoltaic energy as a catalyst for sustainable economic development, identifying the systemic barriers hindering its deployment and the pathways for its implementation. Through a qualitative documentary research approach, academic literature, government reports, and relevant regulatory frameworks were systematically reviewed. The findings reveal the existence of a "systemic blockade" comprising a triad of interconnected barriers: precarious grid infrastructure (technical), high risk perception deterring investment (financial), and deep-seated social distrust (social). The research confirms that solar energy holds immense potential to enhance regional competitiveness, promote social equity, and ensure environmental sustainability. The study concludes that the technology's transformative impact is not automatic; its success depends on comprehensive governance that simultaneously addresses infrastructure modernization, the mitigation of investment risk, and the building of social legitimacy, thereby turning the energy transition into a project of just and sustainable territorial development.

Keywords: Solar Photovoltaic Energy, Sustainable Development, Regional Competitiveness, Colombian Caribbean Region, Energy Transition.

Tabla de Contenido

Introducción	11
Planteamiento del Problema	12
El Problema	12
Antecedentes: Un Legado de Dependencia y Deficiencias	13
Contexto Actual del Problema: Potencial Desaprovechado y Costos Elevados	17
Descripción del Problema Central: La Subutilización del Potencial Solar	22
Sponsors y Stakeholders	24
Preguntas de Investigación	30
Pregunta General	30
Preguntas Específicas	30
Justificación	31
Objetivos	33
Objetivo General	33
Objetivos Específicos	33
Alcance y Limitaciones	34
Fundamentos Teóricos, Conceptuales, Históricos y Regulatorios	36
Marco Teórico	36
Marco Conceptual	40
Marco Histórico	45
Marco Legal y Regulatorio	49
Metodología	55
Enfoque, Diseño y Alcance de la Investigación	55

Corpus Documental y Dispositivo Analítico	57
Operacionalización de las Categorías	58
Procedimiento de Análisis e Interpretación	62
Análisis de Resultados	64
Diagnóstico del Estado Actual: La Profunda Paradoja Energética del Caribe	64
Análisis de las Barreras Sistémicas al Despliegue Solar	67
Barreras Técnicas y de Infraestructura	73
Barreras Económicas y Financieras	75
Barreras Regulatorias y Sociales	76
Evaluación del Potencial: La Energía Solar como Motor de Desarrollo Sostenible	78
Dimensión Económica: Impulso a la Competitividad	79
Dimensión Social: Hacia la Equidad Energética	80
Dimensión Ambiental: Sostenibilidad y Resiliencia	82
Síntesis y Discusión a la Luz del Marco Teórico	83
Discusión, Conclusiones y Recomendaciones	87
Discusión de los Hallazgos Principales	87
Aportes y Originalidad de la Investigación	88
El Potencial Transformador a la Luz del Marco Teórico	89
Conclusiones	90
Recomendaciones de Política Pública	93
Limitaciones y Futuras Líneas de Investigación	95
Referencias Bibliográficas	98
Apéndices	105

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Municipios con Peores Indicadores de Calidad de Servicio Eléctrico (2022) – Agrupado por departamento.....</i>	16
Tabla 2 <i>Matriz de Operacionalización.....</i>	59
Tabla 3 <i>Matriz de Categorización y Evidencia.....</i>	68
Tabla 4 <i>Matriz de Recomendaciones Estratégicas.....</i>	94

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Distribución del consumo total de energía – Colombia 2021</i>	15
Figura 2 <i>Generación eléctrica de Colombia en 2022</i>	19
Figura 3 <i>Mapa de Actores en el Desarrollo de la Energía Solar FV en el Caribe Colombiano</i>	29
Figura 4 <i>Cómo la Generación Solar Supera las Expectativas</i>	42
Figura 5 <i>Comparación de Tarifas Eléctricas Promedio (COP/kWh) - Región Caribe vs. Promedio Nacional (2023)</i>	66
Figura 6 <i>Indicadores de Calidad del Servicio Eléctrico (DIU/FIU) - Región Caribe vs. Otras Regiones (2022)</i>	74
Figura 7 <i>Modelo Integrador del Potencial Catalizador de la Energía Solar</i>	91

Lista de Apéndices

Apéndice A *Modelo de Ficha de Análisis Documental*.....105

Apéndice B *Atlas de Radiación Solar Sobre una Superficie Plana*.....107

Introducción

La región Caribe colombiana presenta una profunda paradoja energética que es central para el futuro del país: a pesar de ser el territorio con el más rico potencial solar a nivel nacional, sufre de las tarifas eléctricas más altas y de un servicio crónicamente deficiente que lastra su progreso. Esta contradicción histórica no es una mera disfuncionalidad, sino un bloqueo estructural que frena la competitividad económica, erosionando el dinamismo de sus sectores productivos clave. Al mismo tiempo, esta situación agudiza la pobreza energética y perpetúa la inequidad social, limitando gravemente el desarrollo sostenible de la región y comprometiendo el bienestar a largo plazo de sus habitantes.

Esta disonancia estructural plantea la pregunta central que guía esta monografía: ¿Cómo puede el desarrollo del potencial de la energía solar fotovoltaica actuar como un catalizador para el desarrollo económico sostenible en la región? Alineado con la línea de investigación de Desarrollo Sostenible y Competitividad, este estudio se justifica en la urgente necesidad de explorar soluciones integrales que conviertan este recurso endógeno en un motor de competitividad, equidad social y resiliencia ambiental. Se aborda, por tanto, la transición no como un fin tecnológico, sino como una oportunidad estratégica para superar vulnerabilidades históricas. Para responder a esta interrogante, la investigación se apoya en un marco teórico que articula los paradigmas del desarrollo sostenible, la competitividad regional y las transiciones energéticas. El análisis de la evidencia demuestra la existencia de un "bloqueo sistémico", compuesto por barreras técnicas, financieras y sociales que se refuerzan mutuamente, impidiendo el aprovechamiento del vasto potencial solar. Se concluye que el éxito de la transición depende de una gobernanza integral y justa, análisis que da inicio en la siguiente sección con la descripción de la crisis estructural que configura el planteamiento del problema.

Planteamiento del Problema

La transición hacia fuentes de energía limpias y sostenibles es un imperativo global, y la energía solar fotovoltaica (FV) emerge como una de las tecnologías más prometedoras para afrontar este desafío. En el contexto colombiano, la región Caribe presenta una situación paradójica: a pesar de contar con un recurso solar excepcional, enfrenta profundos y persistentes problemas en su sistema energético que limitan su desarrollo económico y social. Esta primera sección sienta las bases de la presente monografía, dedicada a explorar el potencial de la energía solar FV como catalizador para el desarrollo económico sostenible en esta región. Para ello, se define y contextualiza el problema central de la subutilización del potencial solar, examinando sus antecedentes históricos, el panorama actual de costos elevados y baja confiabilidad, y los actores clave involucrados. Asimismo, se formulan las preguntas de investigación que guiarán el estudio, se justifica su relevancia en el marco de la línea de investigación de Desarrollo Sostenible y Competitividad, se establecen los objetivos a alcanzar y se delimitan el alcance y las limitaciones inherentes a este trabajo documental.

El Problema

La región Caribe colombiana, si bien está dotada de un considerable potencial en recursos naturales y energéticos, enfrenta una profunda paradoja manifestada en desafíos estructurales históricos que aquejan su sistema de abastecimiento eléctrico, imponiendo una carga económica sustancial a hogares y empresas a través de tarifas eléctricas que superan en más de un 40% el promedio nacional y mermando la competitividad regional debido a la baja confiabilidad del servicio. Esta compleja situación ha impuesto limitaciones significativas a su desarrollo económico y social a lo largo del tiempo, creando un ciclo persistente de vulnerabilidad. La marcada dependencia de fuentes de energía no renovables, intrínsecamente volátiles en precio y

ambientalmente costosas, se combina con elevados costos de generación y deficiencias crónicas en la infraestructura de transmisión y distribución. Este conjunto de factores ha perpetuado un escenario de inseguridad energética que no solo frena a los sectores productivos clave, sino que también impacta directamente la calidad de vida de las comunidades locales, exacerbando las desigualdades existentes.

En este contexto, resulta fundamental emprender un análisis profundo y crítico de las causas, tanto históricas como estructurales, que han configurado esta intrincada problemática energética regional. Es imperativo comprender no solo el legado histórico, sino también el entorno actual en el que opera el sistema energético, evaluando con rigor las barreras multifacéticas que obstaculizan una transición energética efectiva y necesaria. Dicha transición no es un fin en sí mismo, sino un medio crucial para catalizar un desarrollo socioeconómico más robusto, inclusivo y sostenible en la región Caribe. A lo largo de esta sección, se examinarán estos aspectos con el objetivo primordial de justificar la necesidad apremiante de explorar y explotar la energía solar fotovoltaica (FV). Se argumentará que la energía solar FV representa una alternativa no solo viable y sostenible desde una perspectiva técnica y ambiental, sino también estratégica, capaz de transformar radicalmente el panorama energético del Caribe colombiano. Su desarrollo podría fortalecer la competitividad regional a nivel nacional e internacional, alineándose directamente con la línea de investigación de Desarrollo Sostenible y Competitividad.

Antecedentes: Un Legado de Dependencia y Deficiencias

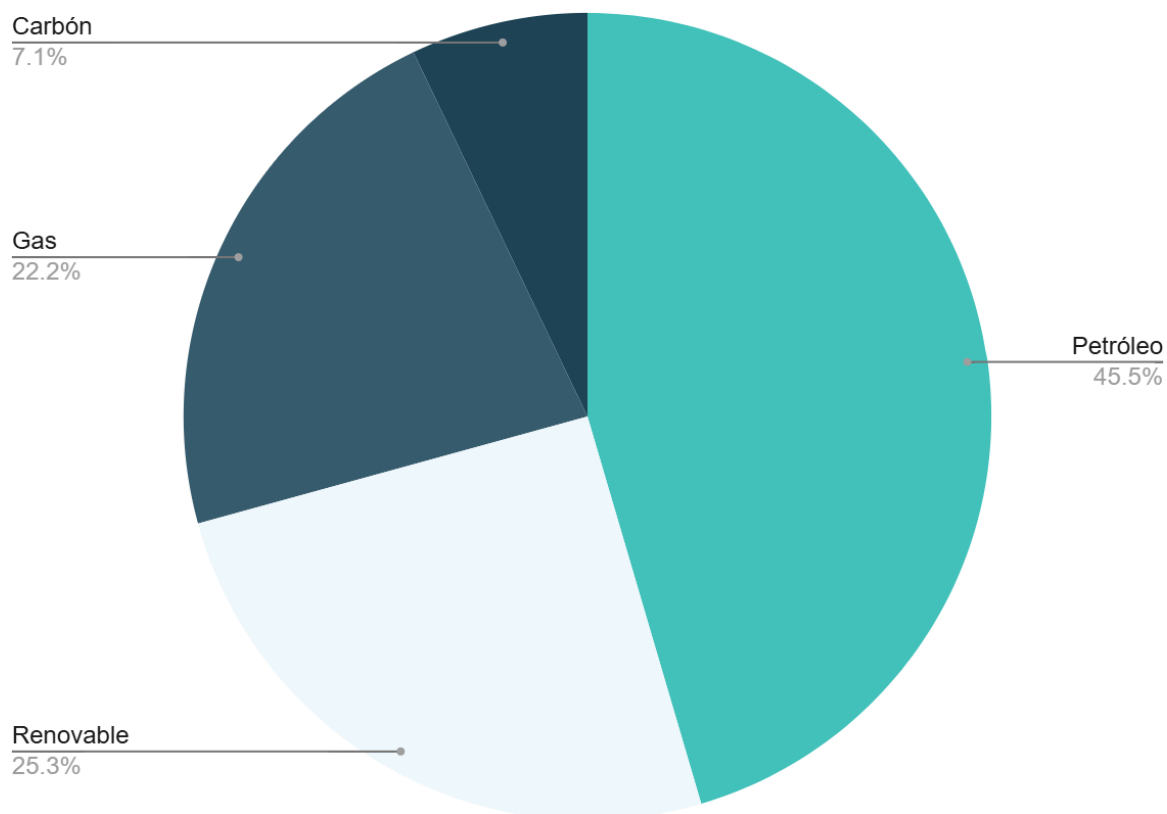
Históricamente, la configuración del sistema energético en la región Caribe colombiana se ha cimentado sobre una dependencia significativa y estructural de fuentes de energía no renovables. Combustibles fósiles como el gas natural, el carbón y, en menor medida, productos

derivados del petróleo (ACPM o diésel) son la base de su matriz energética. Según datos de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2024), el Suministro Total de Energía (TES) en 2021 dependía en un 75% de fuentes no renovables (1.336.534 Tera julios). Si bien la participación renovable aumentó al 25% (448.062 TJ) desde el 17% en 2016, el TES incluye toda la energía consumida (transporte e industria) y las fuentes fósiles dominantes siguen siendo petróleo (45%), gas (22%) y carbón (7%) (Ver Figura 1). Esta dependencia se exagera en el Caribe, generando desafíos que trascienden la composición de la matriz.

Desde sus inicios, la infraestructura eléctrica regional ha adolecido de limitaciones considerables que afectan la capacidad de generación, la eficiencia y la robustez de las redes de transmisión y distribución. Esta debilidad infraestructural se ha traducido históricamente en altos costos operativos, que inevitablemente se trasladan a los usuarios finales, y, de manera crucial, en problemas crónicos de confiabilidad del suministro eléctrico. La calidad del servicio eléctrico en la costa Caribe ha sido consistentemente inferior a la de otras regiones del país, un hecho sustentado en datos concretos. Evidencia de ello se encuentra en el informe de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2023) para el año 2022, el cual revela una realidad preocupante: los operadores de la costa Caribe (AIR-E y AFINIA) reportaron un número desproporcionadamente alto de interrupciones. AFINIA, por ejemplo, registró cerca del 16% del total nacional de interrupciones y un alarmante 46% de los casos de usuarios con duración media de interrupciones (DIU) superior a 360 horas anuales, lo que representa un incremento del 190% respecto a 2021. Esta falta de confiabilidad no es un problema menor; implica pérdidas económicas directas para las empresas, interrupciones en la vida cotidiana de los hogares y un freno constante al desarrollo. Asimismo, el análisis por municipios revela focos críticos de esta problemática como se detallará más adelante en la Tabla 1. (Ver Tabla 1).

Figura 1

Distribución del Consumo Total de Energía – Colombia 2021.



Nota. El gráfico representa el consumo total de energía dentro del territorio colombiano, representa tanto la energía utilizada en la generación eléctrica como en calefacción, industria, transporte y demás áreas de la sociedad. *Obtenido de.* Figura de elaboración propia con información de IRENA 2024.

Tabla 1

Municipios con Peores Indicadores de Calidad de Servicio Eléctrico (2022) – Agrupado por Departamento.

Departamento	Indicador	Valor Consolidado
Bolívar	DIU (Duración de Interrupción del Usuario)	334,41 horas (promedio)
Bolívar	FIU (Frecuencia de Interrupción del Usuario)	218,21 veces (promedio)
Cesar	DIU	264,21 horas
Cesar	FIU	212,88 veces (promedio)
Magdalena	FIU	216,49 veces
Sucre	FIU	185,89 veces

Nota. La tabla muestra un extracto en el que se aprecian algunos de los municipios de la región Caribe junto a indicadores de la calidad del servicio eléctrico. Obtenido de. Elaboración propia con datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2023)

Como evidencia la Tabla 1, municipios en los departamentos de Bolívar, Cesar, Magdalena y Sucre presentaron en 2022 los peores indicadores de duración (DIU) y frecuencia (FIU) de interrupciones a nivel nacional (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2023). Estos indicadores no son solo cifras; representan horas sin energía para actividades productivas, educativas y domésticas, minando la calidad de vida y la competitividad local de manera sistemática. Estas condiciones históricas y persistentes han afectado negativamente a diversos sectores productivos clave para la región, como el turismo, la industria y la agricultura, y han mermado la calidad de vida de las comunidades locales durante décadas, generando un círculo vicioso de bajo desarrollo y vulnerabilidad energética.

En el contexto nacional más reciente, Colombia ha comenzado a reconocer formalmente la importancia estratégica de la transición energética, adoptando medidas legislativas para fomentar el uso de energías renovables. Destaca la promulgación de la Ley 2099 de 2021 (Congreso de la República de Colombia, 2021), cuyo objetivo es modernizar la legislación energética, dinamizar el mercado mediante la incorporación de fuentes no convencionales de energía (FNCE), incluyendo las renovables (FNCER), y contribuir a la reactivación económica post-pandemia. Esta ley busca promover activamente el desarrollo y utilización de FNCER en todo el sistema energético nacional (mercado eléctrico, Zonas No Interconectadas, servicios públicos, etc.), declarando estas actividades de utilidad pública e interés social. Además, modifica la Ley 1715 de 2014, define el Hidrógeno Verde, crea el Fondo FENOGE para financiar proyectos FNCER, y establece importantes incentivos tributarios y arancelarios. Sin embargo, como se analizará más adelante, la existencia de este marco normativo favorable no ha sido suficiente, por sí sola, para superar las barreras estructurales en la región Caribe.

Como se ha podido apreciar, este legado histórico de dependencia de combustibles fósiles, combinado con una infraestructura eléctrica deficiente y costosa que resulta en un servicio poco confiable, ha creado una situación de vulnerabilidad energética crónica en la región Caribe. A pesar de los recientes esfuerzos legislativos a nivel nacional para promover las energías renovables, la persistencia de estos problemas estructurales subraya la urgente necesidad de explorar alternativas disruptivas y eficaces, como la energía solar fotovoltaica, para romper este ciclo y habilitar un futuro energético más seguro y próspero para la región.

Contexto Actual del Problema: Potencial Desaprovechado y Costos Elevados

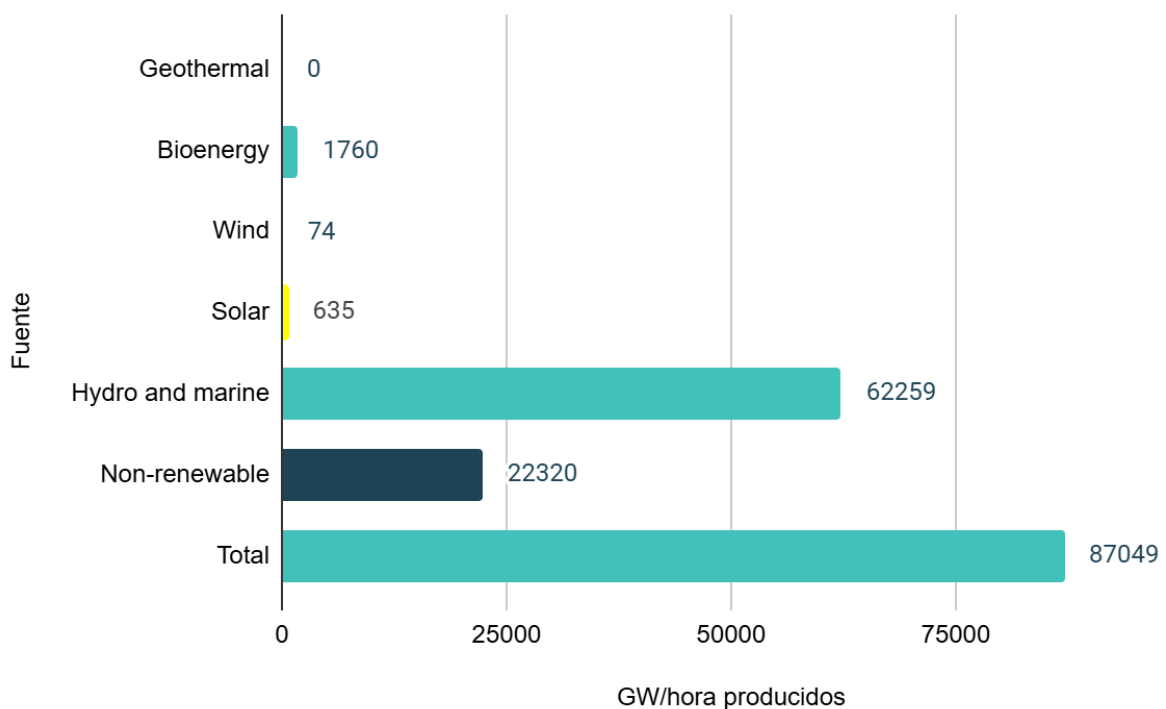
Actualmente, la región Caribe colombiana se encuentra inmersa en un contexto energético complejo y lleno de contrastes. Por un lado, posee una riqueza excepcional en

recursos solares, una ventaja geoestratégica que se puede apreciar visualmente en el Atlas de Radiación Solar de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (Ver Apéndice B). Este recurso se traduce en niveles de irradiación considerados de clase mundial, entre los más altos del país y del continente (UPME, 2005; Mejía García, 2021). Estos niveles no solo son significativamente superiores al promedio nacional, sino que son comparables e incluso superiores a los de muchos países que hoy lideran la transición global hacia la energía solar. Por ejemplo, según *SolarPower Europe* (2025), en 2023, China instaló 253 GW de nueva capacidad solar FV, Estados Unidos añadió 32.4 GW, y Brasil, un referente latinoamericano, instaló 15.4 GW. Incluso países europeos con menor irradiación como Alemania (15 GW añadidos) y España (8.9 GW añadidos) demuestran la escala de desarrollo industrial y energético posible. Esta comparación internacional no es trivial; subraya la magnitud de la oportunidad técnica y económica que la región Caribe está desaprovechando al no capitalizar su ventaja solar natural.

Sin embargo, este vasto potencial solar contrasta fuertemente con la realidad operativa del sistema eléctrico caribeño. La dependencia de fuentes no renovables sigue siendo alta, no solo en el Suministro Total de Energía (TES) general, sino específicamente en la generación de electricidad que abastece a hogares e industrias. A nivel nacional, aunque la hidroelectricidad domina la generación (72% en 2022), seguida por fuentes no renovables (principalmente térmicas a gas y carbón, con un 26%), la energía solar apenas representó en torno al 1% de la generación eléctrica total (635 GWh de 87,049 GWh) en 2022 (IRENA, 2024).

Figura 2

Generación Eléctrica de Colombia en 2022.



Nota. La tabla muestra la cantidad de energía eléctrica producida en Colombia en el año 2022 ordenada por fuentes y en su totalidad. Elaboración propia con datos de IRENA 2024.

Como ilustra la figura 2, la participación solar, aunque creciente en términos relativos, sigue siendo marginal en el mix eléctrico nacional que efectivamente llega a los consumidores. Esta mínima penetración, especialmente en una región con tan alto potencial como el Caribe, evidencia una clara subutilización del recurso y señala la existencia de barreras significativas que impiden su despliegue a mayor escala.

Las consecuencias de mantener este sistema energético desactualizado, poco diversificado y costoso en la región Caribe son severas y multifacéticas, impactando

negativamente la competitividad y el bienestar, algunas de las principales se exponen a continuación:

Costos Elevados de la Energía: Los precios de la energía eléctrica en la costa Caribe son significativamente más altos que en el resto de Colombia, constituyendo una carga económica insostenible para hogares y empresas. Como señala Pinto (2024), en diciembre de 2023, el costo promedio por kilovatio hora (kWh) en la región Caribe superaba los 1000 pesos, mientras que en otras regiones principales oscilaba entre 700 y 800 pesos. Esta disparidad representa un sobre costo de hasta un 40% o más en comparación con el promedio nacional. El impacto es particularmente agudo para los estratos de menores ingresos (con facturas que triplican las de Medellín para el estrato 1) y también para los estratos medios y el sector productivo, como evidencia el estrato 4 pagando más del triple que en Medellín. Estos altos costos se atribuyen en gran medida a las elevadas pérdidas de energía, técnicas y no técnicas, que con Afinia en 2023 representaban el 18.3% del costo total de la factura, y a un régimen regulatorio especial (Congreso de la República de Colombia, Ley 1955 de 2019) que, si bien buscaba mejorar la calidad, ha permitido trasladar costos de inversión a las tarifas sin resolver de raíz el problema de las pérdidas. Además, el rápido aumento de precios, como es el caso de Bolívar, donde el costo por kWh se duplicó entre enero de 2021 y noviembre de 2023, agrava la presión económica para los hogares y empresas de la región (Pinto, 2024).

Baja Confiabilidad del Suministro: Como se mencionó en los antecedentes y confirman los datos recientes (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2023), las interrupciones frecuentes y de larga duración son una característica endémica y persistente del servicio eléctrico en la región. Esta falta crónica de confiabilidad no es solo una molestia; interrumpe la producción industrial, daña equipos, afecta la prestación de servicios esenciales

como salud y educación, y limita el desarrollo de actividades económicas que dependen de un suministro estable, erosionando la confianza de inversores y ciudadanos.

Impacto Negativo en la Competitividad y el Desarrollo: Este panorama energético, caracterizado por altos costos y baja confiabilidad, impacta directa y negativamente la competitividad regional. Limita severamente la capacidad para atraer y retener inversiones, especialmente en sectores sensibles a la calidad y costo de la energía, como la industria manufacturera, la tecnología, el agronegocio moderno y el turismo avanzado. Según el Boletín Económico Regional del Banco de la República (2024), aunque la economía caribeña muestra dinamismo en servicios (comercio, turismo, finanzas, transporte), sectores clave como el industrial han mostrado reducción y la minería está en declive. Un suministro eléctrico costoso y poco fiable actúa como un freno estructural, impidiendo un mayor dinamismo industrial, limitando la expansión de servicios que requieren conectividad constante y dificultando la modernización agrícola e industrial. Además, el acceso limitado a energía asequible y confiable perpetúa las desigualdades sociales, afectando desproporcionadamente a las poblaciones más vulnerables, donde las tasas de pobreza monetaria y extrema se encuentran entre las más altas del país, como ocurre en departamentos como Bolívar (Pinto, 2024), y restringe el crecimiento de la economía digital, clave para el futuro desarrollo.

Este contraste entre un vasto potencial solar subutilizado y una realidad energética costosa y poco fiable no solo representa un freno para el desarrollo regional, sino que también dificulta la consecución de objetivos nacionales estratégicos. Abordar esta situación mediante el despliegue de la energía solar se alinea directamente con las metas de transición energética del país (establecidas en leyes como la 2099 de 2021), el fortalecimiento de la competitividad

nacional, la búsqueda de la equidad social y el cumplimiento de los compromisos de desarrollo sostenible.

En definitiva, la región Caribe se encuentra hoy en una encrucijada crítica: posee un recurso solar de clase mundial que permanece en gran medida sin explotar, mientras sufre las consecuencias de un sistema eléctrico caro, ineficiente y poco fiable. Esta brecha entre potencial y realidad no solo representa una oportunidad económica perdida, sino que actúa como un lastre fundamental para la competitividad regional, el desarrollo sostenible y la equidad social, haciendo imperativa la búsqueda de soluciones transformadoras basadas en sus recursos endógenos.

Descripción del Problema Central: La Subutilización del Potencial Solar

El problema central que aborda esta monografía radica, por lo tanto, en la subutilización del vasto potencial de energía solar fotovoltaica (FV) en la región Caribe colombiana. Esta subutilización no es un fenómeno aislado, sino que persiste y se agudiza a pesar de la confluencia de factores que claman por una solución urgente: por un lado, la existencia de desafíos energéticos significativos y crónicos (dependencia de fósiles, infraestructura deficiente, altos costos, baja confiabilidad) que limitan el desarrollo; y por otro, la necesidad imperiosa de impulsar un modelo de desarrollo económico que sea a la vez sostenible desde lo ambiental e inclusivo desde lo social en la región.

La situación actual presenta un agudo y paradójico contraste: por un lado, la región dispone de un recurso solar abundante y de alta calidad, que la posiciona como un lugar estratégico para la generación de energía limpia y, potencialmente, asequible. Por otro lado, se observa una adopción generalizada de la energía solar FV que aún no se materializa en una escala significativa. Esta brecha entre el potencial técnico-económico y la implementación real

representa una oportunidad perdida fundamental para la región Caribe. Concretamente, se pierde la oportunidad de impulsar la competitividad regional mediante la reducción sustancial de los costos energéticos para la industria y los hogares; se desaprovecha la posibilidad de generar empleo local de calidad en un sector tecnológico en auge como el solar; se renuncia a mejorar la seguridad y confiabilidad energética, diversificando la matriz y reduciendo la vulnerabilidad ante fluctuaciones de precios de combustibles fósiles y fallas en la red; y se incumple parcialmente con el potencial de contribución a los objetivos nacionales e internacionales de mitigación del cambio climático y desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

Es relevante notar que, a nivel global, los costos de la tecnología solar FV han experimentado una caída drástica y sostenida. Datos de Our World in Data (2025) muestran que el costo por vatio normalizado de los paneles solares ha disminuido desde más de \$100 dólares en 1975 a menos de 50 centavos de dólar en 2023. Esta impresionante reducción de precios, junto con continuos avances tecnológicos en eficiencia y almacenamiento, ha consolidado a la energía solar como una de las fuentes de energía nueva más competitivas a nivel mundial. Sin embargo, a pesar de esta tendencia global favorable y del excepcional potencial local, la región Caribe aún no ha logrado capitalizar esta oportunidad de manera decisiva. Esto sugiere la existencia de barreras significativas y complejas que dificultan la adopción masiva de esta tecnología. Entre ellas se pueden anticipar la posible falta de infraestructura de red adecuada para integrar generación solar variable a gran escala, limitaciones en el acceso a financiamiento para proyectos (tanto a gran escala como distribuidos), una articulación quizás insuficiente entre las políticas públicas nacionales y las capacidades y actores locales (en términos de proveeduría, instalación y mantenimiento), y posibles resistencias institucionales o de mercado.

En síntesis, la subutilización del potencial solar FV en el Caribe colombiano no es solo una constatación de un recurso no aprovechado, sino el núcleo de un problema complejo que impide a la región superar sus deficiencias energéticas históricas y catalizar un desarrollo económico más resiliente, equitativo y sostenible. Comprender en detalle las barreras multifacéticas (técnicas, económicas, regulatorias, sociales) que perpetúan esta subutilización y proponer estrategias efectivas para superarlas son pasos cruciales para transformar el panorama energético del Caribe colombiano y fortalecer su posición estratégica dentro del país y a nivel internacional.

Sponsors y Stakeholders

La necesaria transición hacia un modelo energético que aproveche el potencial solar fotovoltaico en la región Caribe colombiana no es un proceso técnico aislado ni que ocurra en el vacío. Por el contrario, implica la interacción dinámica y, a menudo, compleja, de una red de actores con diversos intereses, capacidades, niveles de influencia y expectativas. Identificar y comprender el rol de estos sponsors (aquellos actores que activamente promueven o facilitan la transición) y stakeholders (aquellas partes interesadas cuyos intereses se ven afectados positiva o negativamente por la transición) es fundamental para navegar los desafíos inherentes, aprovechar las oportunidades emergentes y alinear el proceso con los objetivos de desarrollo económico sostenible. La energía, reconocida como un instrumento crucial para el progreso económico y el bienestar social, requiere que su disponibilidad sea segura, confiable, accesible y sostenible, metas que dependen de la acción coordinada de estos actores.

A continuación, se exploran los principales grupos de actores relevantes para el desarrollo de la energía solar FV en la región Caribe, analizando su potencial rol y los desafíos asociados:

Gobierno Nacional: Entidades como el Ministerio de Minas y Energía (MinMinas) y la UPME actúan como sponsors primordiales. Su rol es definir el marco regulatorio (ej. Ley 2099 de 2021), establecer metas ambiciosas (como adicionar 6.000 MW de FNCER para 2026), promover mecanismos de financiación (alianzas con Banco Agrario, FNG, Bancóldex, movilización de regalías) y diseñar políticas específicas como las Comunidades Energéticas (CE) y la estrategia de Territorios Energéticos (Ministerio de Minas y Energía, 2024). Su función es habilitar y dirigir la transición. Sin embargo, la efectividad en la implementación, la coordinación interinstitucional y la agilidad administrativa pueden representar desafíos significativos, especialmente considerando la considerable cantidad de tiempo que los movimientos y aprobaciones dentro de estas organizaciones pueden tomar, lo que puede ralentizar el ritmo de desarrollo de proyectos.

Gobiernos Regionales y Locales: Las Gobernaciones y Alcaldías de la región Caribe son actores cruciales y tienen el potencial de ser sponsors clave a nivel territorial. La estrategia de Territorios Energéticos busca explícitamente otorgarles un rol activo, permitiéndoles potenciar proyectos con FNCER para lograr mayor autonomía energética y beneficios sociales y ambientales locales (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2019). Dado el alto potencial solar identificado, incluso en áreas urbanas, las administraciones locales pueden facilitar la implementación de proyectos mediante la planificación territorial, la agilización de permisos y la promoción activa de modelos como las CE. Su compromiso es vital, pero la frecuente falta de capacidad técnica o financiera a nivel local, así como la discontinuidad política, podrían constituir obstáculos importantes para materializar este potencial.

Empresas del Sector Energético: Este grupo es diverso y presenta roles duales. Por un lado, los desarrolladores de proyectos de energías renovables son sponsors directos, impulsados

por las oportunidades de mercado y los incentivos financieros disponibles. Su éxito es crucial para aumentar la capacidad instalada. Por otro lado, las empresas de transmisión y distribución existentes (como AIR-E y AFINIA) son stakeholders esenciales, ya que la conexión de nuevos proyectos a la red depende de ellas. Sin embargo, sus deficiencias operativas históricas, la necesidad de inversiones significativas en la modernización de la red para manejar la variabilidad de la solar, y su posible resistencia a modelos descentralizados podrían convertirlas en obstáculos si no logran adaptarse eficientemente o si las inversiones en red no se realizan al ritmo adecuado. Los generadores tradicionales basados en combustibles fósiles también son actores relevantes cuyo modelo de negocio se ve directamente desafiado por la transición, pudiendo actuar como freno si no encuentran vías para reconvertirse.

Comunidades Locales y Consumidores: Son los stakeholders finales y los principales beneficiarios potenciales de una transición exitosa, especialmente en términos de reducción de tarifas y mejora de la calidad del servicio. Las Comunidades Energéticas (CE) les otorgan un rol activo, transformándolos potencialmente en sponsors a nivel micro. Les permiten participar en la autogeneración, aumentar la eficiencia, democratizar la propiedad de los activos energéticos y descentralizar la toma de decisiones. Su aceptación, participación activa y la generación de empleo local asociado al despliegue masivo de FNCER son factores clave para la legitimidad social y el éxito a largo plazo. Sin embargo, la falta de información clara, la limitada capacidad organizativa o financiera, y la desconfianza hacia los actores externos pueden actuar como barreras significativas para su participación efectiva. Las comunidades en Zonas No Interconectadas (ZNI) son particularmente relevantes, ya que las soluciones solares (ej. Micro redes híbridas) son clave para lograr el acceso universal, aunque esto requiere inversiones significativas y modelos de gestión adaptados (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

Inversionistas e Instituciones Financieras: La movilización de capital privado y público es indispensable para financiar la escala de inversión requerida. Inversionistas privados, fondos de inversión especializados y la banca (tanto comercial como de desarrollo, como Banco Agrario y Bancóldex) son stakeholders críticos y actúan como facilitadores financieros. El gobierno promueve mecanismos de garantía (como el FNG) y el uso de regalías para apalancar esta financiación. Sin embargo, la percepción del riesgo (técnico, regulatorio, social), la estabilidad del marco normativo a largo plazo y la rentabilidad esperada de los proyectos solares determinarán su disposición a invertir. Su apetito por el riesgo y sus condiciones de financiación serán un factor decisivo para la escala y velocidad de la transición energética en la región.

Academia e Instituciones de Investigación: Universidades y centros de investigación actúan como stakeholders y facilitadores importantes. Proporcionan datos cruciales, desarrollan conocimiento contextualizado, forman el capital humano necesario para el sector y tienen el potencial de innovar en tecnologías y modelos de negocio adaptados a las condiciones específicas de la región Caribe. Su rol es fundamental para basar la toma de decisiones en evidencia y para fomentar una cultura de innovación en el sector energético regional.

Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y Sociedad Civil: Grupos ambientalistas, organizaciones de desarrollo social y asociaciones de consumidores son stakeholders activos que pueden actuar como sponsors al abogar por una transición justa y sostenible, promover la participación comunitaria informada y vigilar los impactos socioambientales de los proyectos. Sin embargo, también pueden actuar como obstáculos si perciben que los proyectos no cumplen con estándares ambientales o sociales adecuados, o si consideran que no benefician equitativamente a las comunidades locales, resaltando la importancia del diálogo y la transparencia.

La descripción detallada de los diferentes grupos de interés revela un ecosistema denso y multifacético. Para facilitar la comprensión de estas dinámicas, se ha construido un mapa de actores que sirve como una representación esquemática del campo de juego para el desarrollo de la energía solar en el Caribe (Ver Figura 3). Este instrumento gráfico no solo identifica a los participantes, sino que también busca ilustrar las dinámicas de poder e interés que configuran el panorama actual. El mapa distingue entre actores clave, cuyo accionar es determinante para el éxito de la transición; actores principales, con una influencia significativa; y actores secundarios, cuyo papel es más de soporte o tangencial. La disposición de estos agentes en los ámbitos del gobierno, el sector privado y la sociedad civil permite comprender mejor las potenciales alianzas, los puntos de fricción y las responsabilidades compartidas en este proceso de transformación energética regional.

El desarrollo exitoso del potencial solar fotovoltaico en el Caribe colombiano es intrínsecamente un esfuerzo colectivo que requiere la alineación estratégica y la colaboración efectiva entre estos múltiples actores. El éxito final dependerá de la capacidad colectiva para gestionar sus intereses a menudo divergentes, fortalecer el rol de los sponsors clave, mitigar activamente los posibles obstáculos planteados por otros actores o por limitaciones sistémicas, y asegurar que la transición energética no solo sea técnicamente viable y económicamente rentable, sino que también contribuya de manera demostrable y equitativa al desarrollo económico sostenible y al bienestar social de la región Caribe.

Preguntas de Investigación

El análisis precedente sobre el legado energético, el contexto actual de potencial desaprovechado y altos costos, la definición del problema central de subutilización solar, y la complejidad del ecosistema de actores involucrados, conduce a la necesidad de formular preguntas claras que guíen esta investigación monográfica. La pregunta central busca explorar la relación intrínseca entre el desarrollo del recurso solar y el progreso regional sostenible.

Pregunta General

¿Cómo puede el desarrollo del potencial de la energía solar fotovoltaica en la región Caribe colombiana contribuir al desarrollo económico sostenible de la región?

Preguntas Específicas

Para abordar la pregunta general de manera estructurada y profunda, se derivan las siguientes preguntas específicas:

Diagnosticar: ¿Cuál es el estado actual de la utilización de la energía solar fotovoltaica en la región Caribe colombiana y cómo se compara esta utilización real con su potencial técnico y económico identificado, considerando las particularidades geográficas y socioeconómicas de la región?

Identificar: ¿Cuáles son las principales barreras (técnicas, económicas, regulatorias, sociales, institucionales y de mercado) que limitan la adopción y el desarrollo a gran escala de la energía solar fotovoltaica en la región Caribe, impidiendo la capitalización de su potencial?

Proponer: ¿De qué manera específica la superación de estas barreras identificadas y el fomento estratégico de la energía solar fotovoltaica (a través de políticas, modelos de negocio y participación comunitaria) pueden impulsar la competitividad regional, mejorar la calidad de

vida y contribuir tangiblemente a los objetivos de desarrollo sostenible en la región Caribe colombiana?

Justificación

La transición global hacia energías limpias representa uno de los desafíos más significativos y urgentes de nuestra era, y la energía solar fotovoltaica (FV) se destaca como una de las soluciones más prometedoras debido a su creciente viabilidad tecnológica y sus costos en constante descenso. En este panorama, la región Caribe colombiana, bendecida con una excepcional irradiación solar (UPME, 2005), posee una oportunidad única y estratégica, no solo para participar en este cambio global, sino potencialmente para liderarlo a nivel nacional. Sin embargo, la justificación principal para explorar a fondo su potencial solar no reside únicamente en la magnitud de la oportunidad, sino en la urgente necesidad de resolver los problemas energéticos crónicos y estructurales que han lastrado a la región durante décadas: los altos costos de la electricidad, la baja confiabilidad del suministro y las consecuentes barreras que estos imponen al desarrollo económico sostenible y a la equidad social. Abordar la subutilización solar es, por tanto, abordar una causa raíz de la vulnerabilidad regional.

El desarrollo del potencial solar FV en el Caribe se justifica plenamente por su capacidad transformadora en múltiples dimensiones. Económicamente, tiene el potencial de reducir drásticamente los costos energéticos, liberando recursos para la inversión y el consumo tanto en hogares como en empresas, mejorando así la competitividad empresarial, especialmente en sectores electro-intensivos. Además, puede atraer inversión nacional y extranjera en nueva infraestructura de generación y servicios asociados, y generar empleo local de calidad en toda la cadena de valor, desde la manufactura y la instalación hasta la operación y el mantenimiento (Ministerio de Minas y Energía, 2024), dinamizando las economías locales. Socialmente, la

energía solar es crucial para mejorar la calidad de vida al facilitar el anhelado acceso universal a energía confiable y asequible, especialmente en zonas rurales, apartadas y vulnerables, cerrando brechas de inequidad. Asimismo, permite y fomenta modelos de empoderamiento comunitario a través de las Comunidades Energéticas, donde los ciudadanos pasan de ser meros consumidores a participantes activos y beneficiarios directos de la generación de energía, fortaleciendo el tejido social y la democracia energética. Ambientalmente, la energía solar FV es fundamental para la mitigación del cambio climático, ya que permite reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero al desplazar la generación basada en combustibles fósiles. Contribuye también a disminuir la dependencia de estos combustibles, mejorando la seguridad energética y la calidad del aire local, alineándose directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (Acción por el clima) (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

Además de estos impactos directos, esta monografía se justifica por su aporte al conocimiento y a la toma de decisiones informadas. Pretende llenar un vacío al generar evidencia específica y contextualizada para la región Caribe sobre cómo maximizar los beneficios multifacéticos de la energía solar. En términos prácticos y de política pública, este trabajo aspira a ofrecer insumos valiosos para los distintos actores (gobiernos nacionales y locales, reguladores, empresas energéticas, inversionistas, comunidades) identificando las oportunidades y los cuellos de botella, así como también proponiendo recomendaciones que puedan orientar el diseño e implementación de políticas energéticas regionales más efectivas y programas de fomento más exitosos. Al hacerlo, busca catalizar un desarrollo económico regional que sea genuinamente más sostenible, competitivo y equitativo para el Caribe colombiano.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el potencial de la energía solar fotovoltaica (FV) en la región Caribe colombiana como un catalizador para el desarrollo económico sostenible, identificando sus interrelaciones con la competitividad regional, la superación de barreras energéticas históricas y el cumplimiento de objetivos de sostenibilidad.

Objetivos Específicos

Diagnosticar el estado actual del aprovechamiento de la energía solar FV en la región Caribe colombiana, contrastando la capacidad instalada y la generación real con el potencial técnico y económico estimado, y considerando las particularidades geográficas y socioeconómicas de la región.

Analizar las principales barreras (técnicas, económicas, regulatorias, sociales, institucionales y de mercado) que limitan la adopción y el despliegue a gran escala de la energía solar FV en la región Caribe, impidiendo la capitalización efectiva de su potencial.

Evaluar cómo el fomento estratégico y la superación de las barreras identificadas para el desarrollo de la energía solar FV pueden contribuir de manera tangible a mejorar la competitividad regional (reducción de costos energéticos, atracción de inversión, generación de empleo), promover la equidad social (mejora en calidad de vida, acceso a energía) y avanzar hacia las metas de desarrollo sostenible en el Caribe colombiano, basándose en la evidencia documental disponible.

Sintetizar, a partir de la revisión documental, los factores clave y las posibles sinergias entre políticas públicas, iniciativas privadas y participación comunitaria que podrían maximizar

el impacto positivo de la energía solar FV en el desarrollo sostenible y la competitividad de la región Caribe.

Alcance y Limitaciones

Esta monografía enfoca su análisis en la exploración del potencial inherente a la energía solar fotovoltaica (FV) como un elemento dinamizador clave para el desarrollo económico sostenible y el fortalecimiento de la competitividad dentro de la región Caribe colombiana. El estudio se adentra en la situación actual del aprovechamiento de este recurso, identifica las barreras multifacéticas que frenan su despliegue masivo y evalúa, desde una perspectiva primordialmente económica pero integrando dimensiones sociales, ambientales y regulatorias, los impactos positivos que una mayor penetración de la tecnología FV podría generar.

Geográficamente, la investigación se circunscribe al contexto específico de la región Caribe, reconociendo sus singulares ventajas en irradiación solar y sus particulares desafíos energéticos y socioeconómicos. La metodología empleada es estrictamente documental, basándose en la revisión crítica y sistemática de fuentes secundarias como literatura académica revisada por pares, informes técnicos de entidades gubernamentales nacionales e internacionales (Por ejemplo: MinMinas, UPME, IRENA, Superservicios), legislación pertinente, datos estadísticos oficiales y análisis sectoriales relevantes, sin recurrir a la recolección de datos primarios.

Es fundamental reconocer las limitaciones inherentes a este enfoque y alcance. Al depender exclusivamente de fuentes documentales secundarias, la profundidad y amplitud del análisis están condicionadas por la disponibilidad, accesibilidad, calidad y actualidad de dicha información; las conclusiones, por tanto, se derivan de la síntesis e interpretación de este cuerpo documental existente. La naturaleza dinámica y compleja tanto del sector energético como de las

políticas de desarrollo sostenible implica que este trabajo representa una fotografía en un momento específico, sin poder capturar exhaustivamente todas las evoluciones tecnológicas, regulatorias o de mercado en tiempo real. Asimismo, dado el carácter de monografía de pregrado, ciertos análisis, particularmente sobre barreras muy específicas o modelaciones de impacto detalladas, tendrán un carácter más exploratorio que exhaustivo. Finalmente, aunque se analiza la región Caribe, se reconoce su heterogeneidad interna, por lo que las generalizaciones a nivel regional podrían no reflejar con total precisión las realidades de cada subregión o municipio específico, y se asume la posibilidad inherente de sesgos en las fuentes consultadas, aunque se procura mitigarla mediante la consulta diversificada.

Fundamentos Teóricos, Conceptuales, Históricos y Regulatorios

Una vez planteada en la sección anterior la problemática central de la subutilización del potencial solar fotovoltaico en la región Caribe colombiana, así como su impacto en el desarrollo económico sostenible, y definidos los objetivos y preguntas que orientan esta investigación, resulta imprescindible cimentar el análisis sobre un marco teórico y conceptual sólido. En este sentido, la presente sección tiene como propósito establecer el andamiaje analítico necesario para explorar el potencial de la energía solar fotovoltaica (FV) como catalizador del desarrollo económico sostenible y la competitividad regional. Para lograr una comprensión integral de este fenómeno multifacético, se abordarán de manera sistemática los marcos teórico, conceptual, histórico y legal-regulatorio. En conjunto, estos marcos permitirán definir los constructos clave y las teorías subyacentes, al tiempo que contextualizarán la problemática energética regional y el entorno normativo vigente, proporcionando así una base sólida para analizar cómo la energía solar puede transformar la dinámica socioeconómica del Caribe colombiano, en consonancia con los objetivos de sostenibilidad y competitividad.

Marco Teórico

La exploración del potencial de la energía solar FV como catalizador del desarrollo económico sostenible en la región Caribe colombiana requiere una sólida fundamentación teórica que permita interpretar las complejas interacciones entre tecnología, economía, sociedad y medio ambiente. Por ello, esta sección se adentra en las teorías económicas y de desarrollo que son cruciales para enmarcar el análisis. Se explorarán los paradigmas del desarrollo sostenible, los modelos de competitividad regional y las teorías sobre transiciones energéticas, con el fin de establecer un lente analítico robusto que guíe la comprensión del rol transformador de la energía solar FV en el contexto específico de la región Caribe.

El paradigma del desarrollo sostenible provee un marco esencial para analizar el potencial transformador de la energía solar en la región Caribe, al reconocer la interdependencia ineludible entre el bienestar económico, la equidad social y la integridad ambiental. Este enfoque trasciende visiones puramente economicistas, enfatizando la necesidad de internalizar las externalidades ambientales y valorar el capital natural como activos productivos. De hecho, como advierte el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2021) en su informe *Making Peace with Nature*, la degradación del capital natural y el desconocimiento de los límites biofísicos del planeta conducen inevitablemente a costos económicos crecientes, inestabilidad y la pérdida de oportunidades productivas, subrayando así la imperiosa pertinencia de integrar la sostenibilidad en la planificación del desarrollo a nivel subnacional para asegurar la viabilidad a largo plazo. Esta visión integral del desarrollo sostenible resalta que la prosperidad futura de regiones como el Caribe depende críticamente de su capacidad para fomentar una competitividad que sea, a la vez, económicamente robusta y ambientalmente responsable.

En este sentido, los modelos de competitividad regional, como los propuestos por Michael Porter (1988) o enfoques más recientes basados en la innovación y el capital humano, son fundamentales para entender cómo un territorio puede mejorar su productividad y bienestar a largo plazo. La infraestructura energética es un pilar crítico en estos modelos; su disponibilidad, costo y confiabilidad impactan directamente factores determinantes de la competitividad, como los costos de producción, la capacidad de atracción de inversiones y la sofisticación del tejido empresarial. El Consejo Privado de Competitividad (2024) evidencia en el Índice Departamental de Competitividad que las deficiencias energéticas pueden limitar el progreso regional, actuando como un cuello de botella.

Desde una perspectiva económica, la inversión en infraestructura energética moderna y diversificada, como la que podría habilitar la energía solar FV, está intrínsecamente ligada a la productividad de los factores y al crecimiento económico regional. Una infraestructura energética eficiente no solo reduce costos operativos directos, sino que también puede generar efectos multiplicadores, facilitando la adopción tecnológica y la creación de nuevas cadenas de valor. Por el contrario, una infraestructura deficiente, como la que históricamente ha afectado al Caribe, impone costos de oportunidad significativos, frenando el dinamismo industrial y la expansión de servicios.

Superar estos costos de oportunidad y catalizar los efectos multiplicadores de una infraestructura energética eficiente requiere más que una simple inversión; exige comprender y gestionar activamente el cambio estructural. En este sentido, las teorías de transición energética y difusión tecnológica, particularmente desde enfoques sociotécnicos, resultan cruciales. Estas teorías analizan los impulsores (políticos, económicos, sociales) y las barreras (técnicas, institucionales, de mercado) que modulan la adopción de nuevas tecnologías como la solar FV. La transición hacia fuentes más limpias, como lo destaca el Ministerio de Minas y Energía (2025) en su Hoja de Ruta, no es meramente una sustitución tecnológica. Implica, de manera más profunda, una transformación económica y social que, al reconfigurar la matriz energética, puede generar nuevas oportunidades de desarrollo, fomentar la creación de empleo en sectores emergentes y mejorar la calidad de vida al reducir la dependencia de fuentes contaminantes y costosas.

Para potenciar esta transformación socioeconómica y asegurar que los beneficios se arraiguen localmente, el enfoque de desarrollo territorial propuesto por Barca (2009) resulta especialmente pertinente. Este paradigma subraya la importancia de adaptar las estrategias de

desarrollo a las especificidades de cada lugar, reconociendo que el potencial de un territorio se libera cuando se movilizan sus activos endógenos y se fortalece la capacidad de sus actores locales. En el caso de la región Caribe, esto significa vincular la infraestructura energética solar directamente con los procesos de planificación territorial, considerando no solo la generación de energía, sino también su impacto en la diversificación productiva, la cohesión social y la sostenibilidad ambiental de las comunidades.

En este contexto, la adopción de la energía solar FV puede interpretarse como una ventana de oportunidad tecnológica para la región. Superar las barreras existentes para la adopción de nuevas tecnologías, como las analizadas por Rodríguez-Pedro (2024) en el ámbito más amplio de la transformación digital en América Latina y el Caribe, donde la confiabilidad energética es un prerrequisito, es crucial. Esto permitiría al Caribe no solo modernizar su matriz energética, sino también catalizar un desarrollo más inclusivo y resiliente, potencialmente "saltando" etapas de dependencia de sistemas energéticos convencionales que históricamente han limitado su progreso y exacerbado vulnerabilidades.

De esta manera, la confluencia de los principios del desarrollo sostenible, los determinantes de la competitividad regional anclados en un enfoque territorial, y las dinámicas inherentes a la transición energética, configura un corpus teórico integral y robusto fundamental para el presente estudio. Este entramado no solo provee las herramientas analíticas para comprender las interrelaciones complejas entre energía, economía y sociedad, sino que es esencial para evaluar el potencial de la energía solar fotovoltaica más allá de su mera capacidad de generación. Así, se argumenta que la energía solar FV, gestionada estratégicamente, puede actuar fundamentalmente como un motor de transformación económica, social y ambiental, capaz de impulsar a la región Caribe hacia un futuro más próspero, equitativo y ambientalmente

sostenible, alineándose de manera coherente con los desafíos y las crecientes oportunidades que definen el siglo XXI.

Marco Conceptual

Para abordar con rigor y profundidad académica la exploración del potencial inherente a la energía solar fotovoltaica en la región Caribe colombiana, resulta imprescindible una definición precisa de los conceptos clave que estructurarán y vertebrarán el presente análisis. Por consiguiente, esta sección se dedica a delinear con claridad los constructos fundamentales, con el objetivo de asegurar una comprensión unívoca, consistente y coherente a lo largo de toda la monografía. Específicamente, se definirán términos cruciales tales como energía solar fotovoltaica, desarrollo económico sostenible, competitividad regional, transición energética y el innovador concepto de "potencial catalizador", todos ellos elementos indispensables para desentrañar las complejas interrelaciones y los impactos multifacéticos esperados en el contexto específico de este estudio.

En ese sentido, uno de los conceptos centrales del objeto de estudio es la energía solar fotovoltaica (FV), que se materializa a través de un sistema fotovoltaico, entendido como el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos diseñados para producir energía eléctrica a partir de la radiación solar. El componente primordial de dicho sistema es el módulo fotovoltaico, el cual agrupa y protege a las células solares; estas últimas son dispositivos basados en la unión p-n de semiconductores como el silicio, que poseen la capacidad de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua mediante el efecto fotoeléctrico (Perpiñán, 2023). Sin embargo, la funcionalidad del sistema trasciende al módulo, pues requiere de componentes adicionales como los inversores, que convierten la corriente continua en corriente alterna apta para la red eléctrica, así como de estructuras de montaje y sistemas de monitoreo.

Esta naturaleza modular y escalable es una de sus características económicas más potentes, permitiendo su aplicación en un amplio espectro de escalas: desde pequeños sistemas autónomos para electrificación rural hasta vastas plantas de generación a escala de servicios públicos, adaptándose con flexibilidad a las diversas necesidades de un territorio.

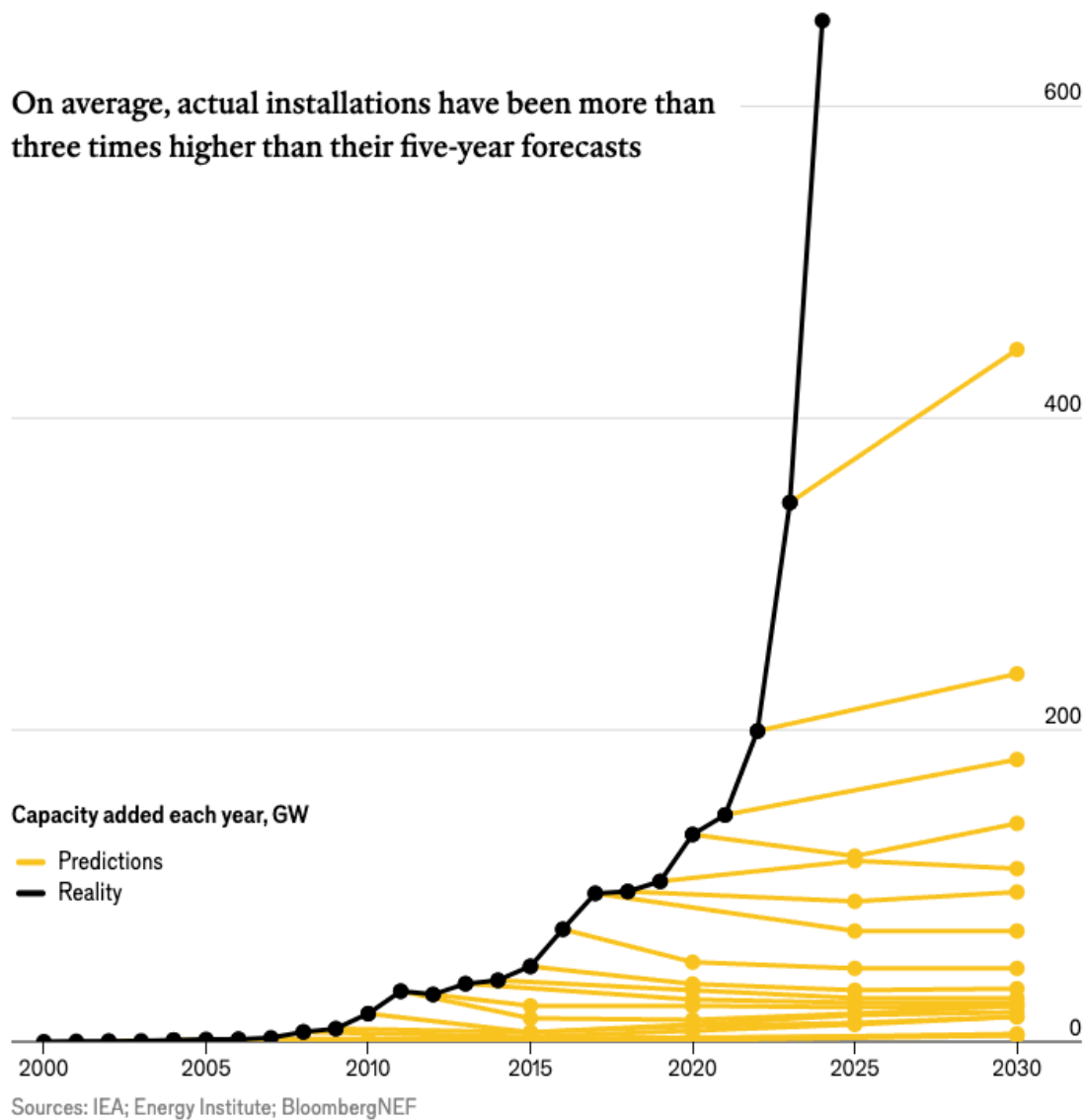
La relevancia actual de esta tecnología radica no solo en su naturaleza intrínsecamente limpia, pilar fundamental en la descarbonización global, sino también en la drástica y sostenida reducción de sus costos, impulsada por la innovación y las economías de escala. Esta confluencia la ha consolidado como una de las fuentes de energía nueva más asequibles y altamente competitivas a nivel mundial. Su viabilidad económica, unida a sus beneficios ambientales, ha generado un ciclo virtuoso de inversión y adopción que ha superado consistentemente las expectativas de crecimiento, tal como se puede apreciar en la Figura 4 (Ver Figura 4).

A pesar de estos notables avances y su creciente competitividad, la energía solar FV enfrenta desafíos inherentes que modulan su despliegue e integración a gran escala. El más prominente es su intermitencia, ya que la generación eléctrica depende directamente de la disponibilidad de la radiación solar, viéndose afectada por ciclos día-noche y condiciones climáticas. Esta variabilidad intrínseca, como señala la IEA (2023), subraya la imperiosa necesidad de su integración efectiva con sistemas de almacenamiento energético, como baterías o soluciones de hidrógeno verde, así como con redes eléctricas inteligentes y flexibles capaces de gestionar flujos bidireccionales y fluctuaciones para garantizar la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

Figura 4

Cómo la Generación Solar Supera las Expectativas

↓ **EASY PV** *how solar outgrew expectations*



Nota. El gráfico muestra como en promedio las instalaciones de potencial solar en el mundo añadido cada año, medido en giga vatios, ha superado considerablemente las predicciones que se tenían. Obtenido de. Imagen de IEA, Energy institute Bloomberg, citado en The Economist, 2024.

El desarrollo económico sostenible, por su parte, se ha de entender como aquel proceso de mejora continua del bienestar de la población de la región Caribe que integra de manera equilibrada la prosperidad económica, la equidad social y la sostenibilidad ambiental, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades (United Nations, 2024). Este concepto implica que el desarrollo de la energía solar FV debe evaluarse no solo por su viabilidad económica, sino también por su contribución a la reducción de la pobreza energética, la mejora de la calidad de vida y la mitigación del cambio climático.

Así, para que la energía solar FV contribuya efectivamente a este desarrollo económico sostenible multidimensional en la región Caribe, es fundamental que también potencie su capacidad para competir y prosperar en un entorno dinámico. En este contexto, la competitividad regional puede ser entendida como la capacidad de la región Caribe para generar, atraer y retener actividad económica y talento de manera sostenible, mejorando así el nivel de vida de sus habitantes a largo plazo. Esta capacidad está determinada por un conjunto de factores, instituciones y políticas, donde la infraestructura energética juega un rol crucial. Una energía más barata, confiable y limpia, como la que puede ofrecer la energía solar FV, tiene el potencial de reducir costos operativos, atraer inversión en sectores electro-intensivos y fomentar la innovación, mejorando la posición competitiva de los departamentos caribeños (Consejo Privado de Competitividad, 2024).

La transición energética, en el contexto colombiano y específicamente para la región Caribe, se concibe entonces como un cambio estructural profundo del sistema energético. Implica un alejamiento progresivo de la dependencia de combustibles fósiles y de un servicio históricamente costoso y poco confiable, hacia una matriz más diversificada, limpia, resiliente, asequible y con mayor participación ciudadana. La Hoja de Ruta para la Transición Energética

Justa (Ministerio de Minas y Energía, 2025) subraya que este proceso debe ser justo, articulando la confiabilidad energética con el cierre de brechas sociales y la reindustrialización.

La materialización de estos objetivos de justicia social y desarrollo productivo se alinea con la noción de que la energía solar FV actúa como un potencial catalizador. Dicho concepto refiere a la capacidad de esta fuente energética de ir más allá de la simple generación limpia, impulsando procesos más amplios de desarrollo económico sostenible y competitividad regional. Este efecto se materializa a través de múltiples vías: la creación de empleo directo e indirecto, el desarrollo de nuevas cadenas de valor en torno a la manufactura, instalación y mantenimiento de sistemas solares, y una menor vulnerabilidad energética. Fundamentalmente, como destaca la CEPAL (2022) al analizar la inversión para la recuperación, la inversión en sectores estratégicos como las energías limpias puede generar significativos efectos de arrastre y encadenamientos productivos, actuando como una palanca estratégica para su transformación socioeconómica alineando los imperativos ambientales con las necesidades de desarrollo y prosperidad local al dinamizar otros sectores, fortaleciendo el tejido social y empresarial de la región Caribe.

De esta forma, la articulación conceptual entre la energía solar fotovoltaica, los imperativos del desarrollo económico sostenible, los motores de la competitividad regional y las dinámicas de una transición energética justa, establece el andamiaje analítico de esta monografía. La precisa delimitación de estos constructos y la comprensión de sus interrelaciones son, por tanto, cruciales. Solo a través de este entendimiento integral se podrá evaluar con rigor cómo el aprovechamiento del vasto potencial solar del Caribe puede, efectivamente, trascender la mera generación eléctrica para convertirse en un genuino impulsor de transformación socioeconómica y desarrollo regional en el contexto contemporáneo.

Marco Histórico

La comprensión cabal de la situación energética contemporánea de la región Caribe colombiana, y del subsecuente potencial transformador que la energía solar fotovoltaica representa, exige un análisis retrospectivo de su evolución histórica. Este apartado se adentra en las raíces de los desafíos energéticos que han caracterizado a la región, marcados por una intrincada dependencia de fuentes convencionales, la persistencia de elevados costos del servicio y una deficiente confiabilidad en el suministro. Este legado histórico, como se demostrará, no solo ha condicionado negativamente el desarrollo económico y social regional, sino que también delinea con claridad la urgencia y la magnitud de la oportunidad que representa una transición hacia modelos energéticos más sostenibles y resilientes.

El sector eléctrico colombiano experimentó una transformación estructural a partir de los años noventa, impulsada en gran medida por las vulnerabilidades expuestas durante el fenómeno de "El Niño" de 1992-1993, que evidenció los riesgos de una matriz energética nacional excesivamente dependiente de la generación hidroeléctrica. En este contexto, como describen Paniagua y Duarte (2021), la expedición de las leyes 142 y 143 de 1994 sentó las bases para una reconfiguración del sector, promoviendo la desregulación, la libre competencia y la participación del capital privado. Fue bajo este nuevo paradigma que las antiguas electrificadoras regionales del Caribe fueron objeto de un proceso de reorganización que culminó en la creación de ElectriCaribe, entidad que, con la paulatina incorporación de inversión privada, inicialmente con Houston Electric y posteriormente con la consolidación de Unión Fenosa como actor principal; asumió la compleja tarea de la prestación del servicio en una vasta y heterogénea porción del territorio nacional.

El periodo que podría denominarse la "Era Fenosa", desde principios del siglo XXI hasta aproximadamente 2008, se caracterizó por la consolidación de un operador privado de gran envergadura en la región Caribe. No obstante, las expectativas de una mejora sustancial y generalizada en la calidad y eficiencia del servicio eléctrico no se materializaron plenamente. Por el contrario, comenzaron a evidenciarse o agudizarse problemas estructurales que persistirían durante años, entre ellos, una inversión en infraestructura de redes a menudo insuficiente para cubrir las necesidades de una demanda creciente y dispersa, crecientes dificultades en el recaudo efectivo de la facturación, y niveles preocupantes de pérdidas técnicas y no técnicas. Estos factores, como analizan Cubillos y Guevara (2020), ya prefiguraban las complejidades que marcarían la prestación del servicio eléctrico en los años subsiguientes.

La crisis de ElectriCaribe se profundizó significativamente en el periodo comprendido entre 2008 y 2016, tal como documentan Cubillos y Guevara (2020). Durante estos años, los desequilibrios financieros de la empresa se hicieron insostenibles, marcados por un déficit entre el valor facturado y el recaudo efectivo, lo que minó su capacidad de inversión y mantenimiento. Este círculo vicioso se tradujo en un progresivo deterioro de la calidad del servicio, situando a la región en una posición notablemente más precaria en comparación con otras zonas del país en términos de confiabilidad y costos energéticos. Esto se reflejó en un incremento en la frecuencia y duración de las interrupciones (SAIDI) y un aumento exponencial en las peticiones, quejas y reclamos (PQRS) por parte de los usuarios. Si bien factores como la cultura de no pago y el fraude incidían en la problemática, la percepción general era que la pobre calidad del servicio desincentivaba el cumplimiento de las obligaciones de los usuarios, exacerbando la crisis.

Ante la insostenibilidad financiera y operativa de ElectriCaribe, y el consecuente impacto negativo sobre millones de usuarios en la región Caribe, el Gobierno Nacional, a través de la

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, ordenó la intervención de la empresa en noviembre de 2016. Esta medida drástica, como detallan Cubillos y Guevara (2020), buscaba garantizar la continuidad en la prestación del servicio y encontrar una solución estructural a largo plazo. Sin embargo, el proceso de intervención se enfrentó a enormes complejidades, incluyendo fallidos intentos de negociación con los accionistas mayoritarios y la dificultad de atraer nuevos inversionistas dispuestos a asumir los pasivos y los retos de un mercado con profundas problemáticas. Finalmente, la inviabilidad de una recuperación bajo el esquema existente condujo a la decisión de liquidar la empresa y segmentar el mercado para buscar nuevos operadores, un proceso que generó considerable incertidumbre y expectativa en la región.

La búsqueda de una solución definitiva a la crisis energética del Caribe culminó en 2020 con la entrada en operación de dos nuevos prestadores del servicio: AIR-E y Afinia, producto de un complejo proceso de subasta y reestructuración del mercado regional. Como investiga La Fundación Vorágine (2021), esta división del área de influencia de la antigua ElectricCaribe buscaba, en teoría, crear operadores más focalizados y con mayor capacidad de gestión e inversión. No obstante, la transición no estuvo exenta de controversias y desafíos. Los nuevos operadores heredaron una infraestructura con un significativo rezago en mantenimiento e inversión, una cartera de difícil recaudo y una base de usuarios con una justificada desconfianza. Los detalles financieros de la transacción y el impacto inicial de los nuevos esquemas tarifarios sobre los usuarios fueron, y continúan siendo, objeto de un intenso debate público y escrutinio.

La entrada en operación de AIR-E y Afinia en 2020, si bien representó un cambio en la titularidad y una promesa de mejora, no ha estado exenta de persistentes y nuevos desafíos. Los nuevos operadores, a pesar de los compromisos de inversión, han enfrentado la compleja tarea de modernizar una infraestructura con décadas de rezago y gestionar una cartera de usuarios con

una cultura de pago afectada por la histórica deficiencia del servicio. Como analiza Pinto (2024), los incrementos en las tarifas eléctricas han continuado siendo una constante, generando un considerable malestar en la población y afectando la economía de los hogares y la competitividad empresarial. Factores como las pérdidas de energía, tanto técnicas como no técnicas, y los costos asociados a la prestación del servicio en una región con particularidades geográficas y socioeconómicas, siguen presionando las facturas al alza. Esta situación subraya que la sustitución de operadores, sin una transformación profunda de las condiciones estructurales y regulatorias del mercado, enfrenta serias limitaciones, lo que refuerza la necesidad de explorar soluciones energéticas más eficientes y adaptadas a las particularidades de la región, en orden de romper con los ciclos de crisis y descontento.

Este persistente ciclo de deficiencias y altos costos energéticos en la región Caribe no es meramente una cuestión de gestión operativa coyuntural, sino que se arraiga en una forma de exclusión territorial más profunda y estructural. Dicha exclusión se manifiesta en el rezago histórico y sistemático en la inversión y modernización de la infraestructura energética, una brecha que, como analizan Calvo et al. (2021) sobre las condiciones de vida y acceso a servicios básicos en la región, ha limitado crónicamente las oportunidades de desarrollo económico y social para vastos sectores de la población. Esta situación, donde el acceso desigual a un servicio eléctrico confiable, de calidad y asequible es la norma para muchos, configura un panorama claro de injusticia energética. Esta injusticia no solo impacta directamente la calidad de vida cotidiana de los hogares y reduce la competitividad de las empresas locales, sino que también actúa como un mecanismo que perpetúa y agrava otras desigualdades socioeconómicas preexistentes, impidiendo que una porción significativa de la población caribeña participe plenamente de los beneficios del desarrollo y acceda a un bienestar integral.

En definitiva, la trayectoria energética de la región Caribe colombiana ha estado marcada por una profunda vulnerabilidad. Esta no solo se origina en una dependencia de modelos de prestación con falencias estructurales y financieras, exacerbada por la crisis y liquidación de ElectriCaribe y los desafíos aún presentes con los nuevos operadores, sino que también evidencia un legado de exclusión territorial y dinámicas de injusticia energética. Este complejo panorama histórico, caracterizado por altos costos, un servicio a menudo deficiente y un acceso desigual, no solo ha limitado el desarrollo regional. Más importante aún, resalta con urgencia la oportunidad y la necesidad de una transición hacia fuentes energéticas endógenas, limpias y resilientes como la solar fotovoltaica, como una vía para redefinir su futuro energético y socioeconómico, buscando superar estas inercias históricas de desigualdad.

Marco Legal y Regulatorio

El desarrollo e implementación de la energía solar fotovoltaica en Colombia, así como la materialización de su considerable potencial en la región Caribe, están intrínsecamente ligados al marco legal y regulatorio que el país ha consolidado progresivamente. Este andamiaje normativo es de importancia crítica, pues define los incentivos, las reglas de juego y las condiciones de mercado que pueden actuar como catalizadores o, en su defecto, como barreras para la inversión y el despliegue de esta tecnología. En Colombia, se ha avanzado en la creación de un entorno propicio para las energías renovables no convencionales (FNCER), aunque su aplicación efectiva y adaptación a las particularidades regionales, como las del Caribe, presentan tanto oportunidades significativas como desafíos complejos que ameritan un análisis detallado.

El hito fundacional para el impulso de las FNCER en el territorio nacional fue, sin duda, la expedición de la Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República de Colombia, 2014). Esta legislación pionera estableció el marco general para la promoción, desarrollo e integración de

estas fuentes alternativas al Sistema Energético Nacional, con un énfasis particular en aquellas de carácter renovable como la solar. Los objetivos primordiales de la ley se centraron en la diversificación de la matriz energética, históricamente dependiente de la hidroelectricidad, el mejoramiento de la seguridad del abastecimiento a largo plazo y la contribución del sector energético a los compromisos nacionales de mitigación del cambio climático. Para ello, la Ley 1715 introdujo un conjunto de instrumentos cruciales, entre los que destacan significativos incentivos fiscales y tributarios, y la regulación de mecanismos como la autogeneración a pequeña y gran escala y la venta de excedentes de energía a la red, abriendo así el camino para la participación de nuevas tecnologías y actores en el mercado eléctrico colombiano.

Posteriormente, con el fin de acelerar la transición y dinamizar aún más el mercado, se promulgó la Ley 2099 de 2021, conocida como la Ley de Transición Energética (Congreso de la República de Colombia, 2021). Esta norma no solo actualizó y robusteció el marco establecido por la Ley 1715, sino que también buscó modernizar la legislación para adaptarla a los nuevos desafíos y oportunidades del sector, incluyendo la contribución a la reactivación económica. La Ley 2099 ratificó y en algunos casos amplió los incentivos existentes para las FNCER, e introdujo disposiciones específicas para tecnologías emergentes como el hidrógeno verde y el almacenamiento de energía, además de promover figuras innovadoras como las comunidades energéticas. Estos elementos son particularmente relevantes para la región Caribe, donde un despliegue más descentralizado y con participación comunitaria de la energía solar podría abordar problemáticas históricas de acceso y equidad energética.

Los instrumentos clave derivados de este cuerpo legislativo, diseñados para estimular la inversión privada y pública, incluyen una serie de beneficios tributarios como la deducción de hasta el 50% del valor de las inversiones en el impuesto sobre la renta, la exención del IVA para

la adquisición de equipos, sistemas y servicios destinados a proyectos FNCER, la depreciación acelerada de activos y la exención de gravámenes arancelarios para la importación de bienes relacionados. Adicionalmente, la creación del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) ha sido un paso fundamental para canalizar recursos hacia la financiación de proyectos e iniciativas. La existencia de programas gestionados o apoyados por FENOGE, como el de "Eficiencia Energética Caribe Energía Sostenible" que cuenta con el respaldo de la banca multilateral (Departamento Nacional de Planeación, 2022), o los proyectos de "Energía Solar ¡Para Economías Populares!" y "Energía Solar para Población Vulnerable" enfocados en el Caribe (FENOGE, 2025), son indicativos del esfuerzo por aplicar estos instrumentos nacionales en la región, reconociendo su particular problemática y potencial.

Un elemento legislativo crucial que ha moldeado el contexto energético reciente del Caribe es la Ley 1955 de 2019, que expidió el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 "Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad" (Congreso de la República de Colombia, 2019). Esta ley fue instrumental en la definición de la hoja de ruta para la solución a la crisis de ElectriCaribe y la entrada de los nuevos operadores AIR-E y Afinia. De particular relevancia fue el establecimiento de un régimen transitorio especial en materia tarifaria para la región, diseñado para permitir el reconocimiento de inversiones necesarias para mejorar la calidad del servicio y gestionar los altos niveles de pérdidas. No obstante, este régimen especial ha sido objeto de un intenso debate público y análisis, como el presentado por Pinto (2024), quien argumenta que dicho esquema ha contribuido significativamente al persistente y oneroso aumento de las tarifas eléctricas para los usuarios del Caribe, generando una considerable carga económica y social sin que necesariamente se perciba una mejora proporcional e inmediata en la calidad del servicio.

A pesar de la existencia de este marco legal y los incentivos nacionales, la materialización del vasto potencial solar en la región Caribe, evidenciado por estudios como el Atlas de Radiación Solar de la UPME (2005) (Ver Apéndice B), enfrenta desafíos específicos. La necesidad de robustecer y modernizar la infraestructura de transmisión y distribución para evacuar la energía generada por grandes proyectos solares, especialmente en zonas como La Guajira, es un obstáculo técnico y financiero considerable. Adicionalmente, los procesos de consulta previa con comunidades étnicas, que son prevalentes en varias zonas de alto potencial solar, requieren una gestión cuidadosa, transparente y respetuosa que a menudo implica tiempos extendidos. La Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa (Ministerio de Minas y Energía, 2025) reconoce estos desafíos territoriales y la importancia de desarrollar capacidades locales para la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, asegurando que la transición beneficie directamente a las comunidades.

Este andamiaje legal y regulatorio se complementa y se enmarca en políticas y planes estratégicos nacionales de más largo aliento, como el Plan Energético Nacional (PEN) y la mencionada Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa de Colombia (Ministerio de Minas y Energía, 2025). Estos documentos de política pública no solo reconocen el inmenso potencial de las FNCER, incluida la solar, para la transformación de la matriz energética del país, sino que también establecen metas ambiciosas para su incorporación y, crucialmente, enfatizan la necesidad de que esta transición sea justa, equitativa e inclusiva. Para una región como el Caribe, con sus particulares vulnerabilidades socioeconómicas y desafíos energéticos históricos, este enfoque de justicia en la transición es fundamental, implicando que el desarrollo del potencial solar debe ir acompañado de estrategias efectivas para el cierre de brechas sociales y la generación de beneficios tangibles para sus habitantes.

No obstante, la efectividad de este marco normativo progresista, como sucede con muchas políticas públicas ambiciosas, enfrenta el desafío inherente de traducir el diseño legal en una práctica territorial ágil y equitativa. La implementación de incentivos y el desarrollo de proyectos solares pueden verse ralentizados por la complejidad inherente a los procesos administrativos, las dificultades que pueden surgir en la coordinación entre los diferentes niveles de gobierno y la heterogeneidad en las capacidades técnicas y de gestión a escala local. Estos factores comunes en la ejecución de políticas complejas pueden, en efecto, generar una brecha entre los objetivos normativos y los resultados tangibles en el despliegue de la energía solar, mermando el impacto deseado de las políticas diseñadas.

Es en aras de mitigar el impacto de estas brechas de implementación y asegurar que los beneficios lleguen a todos, el enfoque de justicia en la transición adquiere mayor urgencia. Esto es especialmente cierto al considerar las profundas desigualdades en el acceso y calidad de la energía en el Caribe, documentadas por Calvo et al. (2021) en su análisis sobre pobreza energética. Para que los beneficios de la energía solar se distribuyan equitativamente, el marco legal debe ir más allá de la promoción tecnológica, asegurando mecanismos que protejan a las comunidades vulnerables y fomenten su participación. Paralelamente, para que la inversión necesaria se materialice y contribuya tanto a la justicia como a la eficiencia, la seguridad regulatoria y la estabilidad de las reglas de juego son cruciales. La percepción de riesgo para los inversores, ya sean grandes desarrolladores, pequeñas empresas o iniciativas comunitarias; se ve directamente afectada por la predictibilidad del entorno normativo. La variabilidad en la interpretación de las políticas, los cambios abruptos en los esquemas de incentivos o la judicialización de aspectos tarifarios incrementan la incertidumbre y pueden desincentivar la inversión a largo plazo, indispensable para capitalizar el potencial solar y asegurar una transición

ordenada y sostenible. En síntesis, es claro que Colombia ha construido un andamiaje legal y regulatorio robusto y progresivo para estimular la inversión en energías renovables como la solar fotovoltaica, mediante leyes seminales como la 1715 de 2014 y la 2099 de 2021, y políticas estratégicas de transición; sin embargo, la materialización efectiva de su vasto potencial en la región Caribe dependerá crucialmente de la superación de desafíos en la implementación. Esto incluye una mejor articulación interinstitucional, la reducción de la brecha entre norma y práctica, la garantía de una transición energética genuinamente justa que aborde la pobreza energética, y la consolidación de un entorno de seguridad regulatoria que fomente la inversión y contribuya al desarrollo sostenible y la competitividad regional.

Esta sección ha sentado las bases fundamentales para el análisis subsiguiente, delineando un entramado robusto que integra diversas perspectivas cruciales. Desde el marco teórico, se han explorado los paradigmas del desarrollo sostenible, la competitividad regional y las transiciones energéticas, ofreciendo el lente analítico. El marco conceptual ha precisado los términos clave, desde la energía solar fotovoltaica hasta su innovador potencial catalizador. Posteriormente, el recorrido histórico por la compleja trayectoria energética de la región Caribe colombiana ha revelado un legado de vulnerabilidades y desafíos estructurales, subrayando la urgencia de un cambio. Finalmente, el análisis del marco legal y regulatorio ha expuesto el andamiaje normativo existente, sus potencialidades y las cruciales consideraciones sobre su implementación efectiva, la justicia en la transición y la seguridad para la inversión. Estos cuatro pilares, interconectados, no solo contextualizan la problemática, sino que también proveen el fundamento indispensable para la exploración metodológica y el análisis del potencial transformador de la energía solar que se abordará a continuación.

Metodología

La presente sección expone de manera detallada y sistemática el andamiaje metodológico que sustenta esta investigación. Su propósito es describir el enfoque, diseño y alcance del estudio; definir las unidades de análisis y el corpus documental; presentar las técnicas e instrumentos para la recolección y sistematización de la información; y, finalmente, delinear el procedimiento para su análisis e interpretación. Este diseño se ha estructurado rigurosamente para responder a la pregunta central sobre cómo la energía solar fotovoltaica puede actuar como catalizador del desarrollo económico sostenible en la región Caribe colombiana, asegurando la validez de los hallazgos en el marco de la línea de investigación de Desarrollo Sostenible y Competitividad.

Enfoque, Diseño y Alcance de la Investigación

Este estudio se enmarca fundamentalmente en un enfoque cualitativo de carácter interpretativo-hermenéutico, elección que responde a la naturaleza compleja y multifacética del fenómeno investigado. Explorar el potencial transformador de una tecnología como la energía solar implica desentrañar una red de interacciones entre variables económicas, políticas, sociales e institucionales que no pueden ser plenamente capturadas mediante un análisis puramente cuantitativo. Por tanto, el enfoque cualitativo, como lo fundamentan Hernández Sampieri et al. (1997), se presenta como el idóneo para comprender en profundidad los contextos, interpretar las dinámicas entre los diversos actores involucrados y analizar las barreras y oportunidades que subyacen a los datos estadísticos, permitiendo una exploración rica y contextualizada.

El diseño de investigación seleccionado es el de investigación documental cualitativa, el cual se materializa en una monografía. Este diseño se define como un proceso de construcción de conocimiento a partir del análisis crítico y la interpretación de una masa de fuentes secundarias.

Seguendo a Vivero y Sánchez (2018), la investigación documental no es una mera recopilación, sino un ejercicio analítico y hermenéutico que ordena, clasifica, interpreta y sintetiza la información hallada en documentos de diversa índole (académicos, gubernamentales y técnicos) para construir una perspectiva teórica y argumentativa sólida, que responda de manera coherente al problema de investigación.

El alcance de la presente investigación es descriptivo-analítico. Es descriptivo en la medida en que se propone caracterizar con precisión el estado actual del aprovechamiento solar, detallando su potencial, barreras y actores clave. Trasciende a lo analítico al examinar las interrelaciones entre estos elementos, evaluando críticamente cómo la superación de dichas barreras puede catalizar el desarrollo sostenible. Esta doble naturaleza del alcance es común en estudios que, como indica Sampieri et al (1997), no solo buscan medir o describir conceptos, sino también analizar cómo se relacionan entre sí, sentando las bases para una comprensión más profunda del fenómeno estudiado.

En síntesis, la elección de un enfoque cualitativo, un diseño documental y un alcance descriptivo-analítico conforma una estrategia metodológica coherente y deliberada. Esta triada permite no solo describir la situación actual de la energía solar en el Caribe, sino también interpretar la compleja red de factores que definen su potencial. Al justificar el diseño con base en teóricos como Sampieri, se asegura que el abordaje es el más pertinente para explorar las dinámicas, barreras y oportunidades del fenómeno, sentando las bases para un análisis profundo y contextualizado que va más allá de la mera cuantificación.

Corpus Documental y Dispositivo Analítico

Al tratarse de una investigación documental, las unidades de análisis no son individuos ni organizaciones, sino los documentos mismos. Para asegurar una cobertura integral y permitir la triangulación de perspectivas, el corpus documental se construyó a partir de cuatro tipologías de fuentes: 1) Producción académica (artículos, tesis, libros); 2) Normativa y reportes gubernamentales (leyes, decretos, informes técnicos); 3) Informes de organismos multilaterales y gremios (IRENA, Banco Mundial, etc.); y 4) Análisis de prensa especializada. La conformación de este corpus se rigió por estrictos criterios de inclusión y exclusión. Se priorizaron fuentes de los últimos cinco años (2020-2025) y se circunscribió el análisis a la región Caribe. Como señalan los expertos en metodología, esta delimitación deliberada no representa una limitación, sino una fortaleza estratégica que asegura la coherencia y profundidad del análisis (Sampieri, 1997).

La técnica central para la recolección de la información fue la búsqueda sistemática de literatura, ejecutada mediante consultas estructuradas en bases de datos académicas con descriptores específicos. Esta se complementó con la estrategia de "bola de nieve", un método validado por autores como Sánchez-Rodríguez (2020) para expandir la base documental de forma dirigida. Para la sistematización, se empleó un método de análisis de contenido dirigido, cuyo instrumento principal fue la matriz de operacionalización detallada en el siguiente apartado. Como proponen Vivero y Sánchez (2018), este uso combinado de técnicas permite pasar de la simple recolección a la organización y representación precisa de la información, asegurando que la extracción de datos sea un proceso controlado y verificable.

Operacionalización de las Categorías

Con el fin de abordar el análisis del corpus documental de forma estructurada y sistemática, se ha diseñado una matriz de operacionalización. Este instrumento metodológico es crucial para la investigación cualitativa documental, pues descompone los complejos objetivos del estudio en unidades de análisis manejables y medibles. Específicamente, los conceptos clave del título se desglosan en categorías principales, que a su vez se dividen en dimensiones y subdimensiones temáticas. Para cada una de estas, se han definido indicadores precisos, formulados como preguntas guía, que orientarán la lectura crítica de las fuentes. Esta matriz actúa como un filtro analítico, asegurando que la recolección de información sea focalizada y pertinente. De este modo, se garantiza no solo la coherencia y profundidad del análisis, sino también la trazabilidad del proceso, presentando a continuación la estructura que vertebra esta monografía.

En definitiva, la investigación se apoya en una técnica de categorización deductiva, empleando la matriz de operacionalización (Ver Tabla 2 y Apéndice A). Esta herramienta permite que el proceso de análisis trascienda la mera descripción de hechos, facilitando la evaluación de las interdependencias entre las barreras institucionales y los fallos de mercado detectados en el Caribe colombiano. Al combinar una selección rigurosa de fuentes con una guía estructurada para su interrogación, se asegura que la recolección y sistematización de los datos sea un proceso controlado, verificable y directamente alineado con los objetivos de la monografía.

Tabla 2*Matriz de Operacionalización*

Categoría principal	Dimensión	Subdimensión	Indicadores (Preguntas guía para buscar en los textos)
Desarrollo económico sostenible	Competitividad		Reducción de costos energéticos para la industria.
	Regional		Atracción de nuevas inversiones. Creación de empleo en la cadena de valor solar.
	Equidad Social		Impacto en las tarifas residenciales. Soluciones para Zonas No Interconectadas (ZNI). Desarrollo de Comunidades Energéticas. Reducción de la pobreza energética.
	Sostenibilidad Ambiental		Reducción de emisiones de GEI. Cumplimiento de ODS (7 y 13). Diversificación de la matriz energética.
Energía solar fotovoltaica	Potencial y Aprovechamiento	Potencial Técnico-Geográfico	Niveles de irradiación solar (kWh/m ²).

Categoría principal	Dimensión	Subdimensión	Indicadores (Preguntas guía para buscar en los textos)
		Aprovechamiento Real	<p>Capacidad instalada de energía solar FV (MW) vs. Potencial estimado.</p> <p>Generación eléctrica real a partir de solar (GWh/año).</p> <p>Comparación del LCOE (Costo Nivelado de Energía) solar vs. otras fuentes.</p> <p>Proyecciones de crecimiento del mercado solar.</p>
	Barreras para el Despliegue	Técnicas y de Infraestructura	<p>Estado de la red de transmisión y distribución.</p> <p>Necesidades de inversión en infraestructura.</p> <p>Desafíos de intermitencia y almacenamiento.</p>
		Económicas y Financieras	<p>Acceso a financiación para proyectos.</p> <p>Percepción de riesgo de los inversionistas.</p> <p>Estructura de tarifas y subsidios.</p>
		Regulatorias e Institucionales	<p>Agilidad en trámites y licenciamiento.</p>

Categoría principal	Dimensión	Subdimensión	Indicadores (Preguntas guía para buscar en los textos)
		Sociales y Territoriales	Estabilidad y claridad del marco legal (Leyes 1715, 2099). Procesos de consulta previa. Aceptación social de proyectos. Capacidades locales (capital humano). Conflictos por uso del suelo.

Nota. La matriz desglosa las categorías centrales de la investigación en dimensiones, subdimensiones e indicadores, los cuales orientaron la búsqueda y sistematización de la información dentro del corpus documental. Obtenido de. Elaboración propia.

Procedimiento de Análisis e Interpretación

Finalmente, el análisis de la información se llevó a cabo mediante un procedimiento iterativo en tres fases:

Codificación: Se realizó una lectura crítica y detallada de cada documento. Esta primera fase es un proceso fundamental en la investigación cualitativa que, según Hernández Sampieri (1997), consiste en reducir los datos a través de la asignación de categorías o códigos a cada segmento de información. Para este estudio, se clasificó la información pertinente (datos, argumentos y citas) dentro de la matriz de operacionalización predefinida, transformando la masa documental en unidades manejables y sistemáticamente comparables para el análisis.

Análisis Comparativo y Triangulación: Se contrastó la información proveniente de las distintas tipologías de fuentes para identificar patrones, tendencias y disensos. Para fortalecer la validez de los hallazgos, se empleó la triangulación de fuentes, una técnica central en la investigación cualitativa. Como sugieren Vivero y Sánchez (2018), este método implica contrastar la información de diferentes orígenes (p. ej., un dato estadístico gubernamental con un análisis académico) para obtener una visión más completa, robusta y matizada del fenómeno.

Síntesis Crítica: El proceso de validación cruzada culminó en la fase de síntesis, que integra los hallazgos en una narrativa argumentativa y coherente que constituye el cuerpo de la monografía. Este método asegura que las conclusiones no se deriven de una lectura aislada, sino que emerjan, como se espera en la investigación documental rigurosa, de un diálogo crítico y estructurado con la totalidad del corpus documental (Vivero y Sánchez, 2018). De esta forma, se garantiza la solidez, objetividad y profundidad de los resultados, cumpliendo con los estándares académicos.

Por consiguiente, el procedimiento de análisis se fundamenta en un ciclo riguroso de codificación, comparación y síntesis. La aplicación de la triangulación de fuentes, como proponen Vivero y Sánchez, no es una mera formalidad, sino una técnica central que otorga robustez y credibilidad a los hallazgos al contrastar diversas perspectivas. Este proceso iterativo asegura que las conclusiones no emerjan de una lectura superficial o aislada, sino de un diálogo crítico y estructurado con la totalidad del corpus documental, garantizando así la solidez, objetividad y profundidad de la interpretación final.

En conclusión, la metodología aquí presentada constituye un diseño de investigación robusto e integral, articulado para responder con la máxima validez y profundidad al problema de investigación. La elección de un enfoque cualitativo y un diseño documental no es fortuita, sino una decisión estratégica deliberada para desentrañar la complejidad del fenómeno, permitiendo interpretar y sintetizar una vasta gama de fuentes. La definición de un corpus documental rigurosamente seleccionado, junto con la operacionalización detallada de las categorías en una matriz de análisis, asegura que el estudio se mantenga enfocado y sistemático. Asimismo, la aplicación de la triangulación como técnica de validación y un procedimiento de análisis basado en la codificación y la síntesis crítica, garantiza que los resultados trasciendan la simple descripción para alcanzar una interpretación fundamentada. De esta forma, el andamiaje metodológico expuesto no es solo un conjunto de procedimientos secuenciales, sino la garantía de que cualquier hallazgo derivado de su aplicación estará cimentado sobre una base empírica sólida y una interpretación crítica y estructurada de la evidencia disponible, cumpliendo así con los más altos estándares del rigor académico.

Análisis de Resultados

Esta sección constituye el núcleo analítico de la presente monografía, en el cual se presentan, analizan e interpretan los hallazgos derivados de la revisión documental. Partiendo del andamiaje teórico y metodológico expuesto previamente, esta sección se estructura en tres fases secuenciales que responden directamente a los objetivos de investigación. Primero, se realiza un diagnóstico del estado actual que evidencia la profunda paradoja energética de la región Caribe. Segundo, se desentrañan las barreras sistémicas que perpetúan esta brecha. Finalmente, se evalúa el potencial transformador de la energía solar como catalizador del desarrollo económico sostenible, argumentando con base en la evidencia cómo su fomento puede desencadenar impactos multiplicadores en la competitividad, la equidad y la sostenibilidad regional.

Diagnóstico del Estado Actual: La Profunda Paradoja Energética del Caribe

La región Caribe colombiana está dotada de un recurso solar que no solo es abundante, sino que califica como un activo estratégico de élite a nivel mundial. Estudios técnicos como el Atlas de Radiación Solar de Colombia (Ver Apéndice B) establecen de manera concluyente que la región, en particular el departamento de La Guajira, registra niveles de irradiación que superan los 6,0 kWh/m² (UPME, 2005). Esta dotación natural no es un mero dato técnico; representa un vasto potencial técnico-geográfico y una ventaja comparativa fundamental que, en teoría, debería erigir a la región como un epicentro para la inversión en energías limpias. Sin embargo, este potencial permanece en gran medida como un activo latente, cuya no capitalización representa un significativo costo de oportunidad y subraya la primera dimensión de una profunda contradicción regional.

En marcado y paradójico contraste con su extraordinario potencial, el aprovechamiento real de la energía solar en la matriz energética colombiana es todavía marginal. Según el perfil

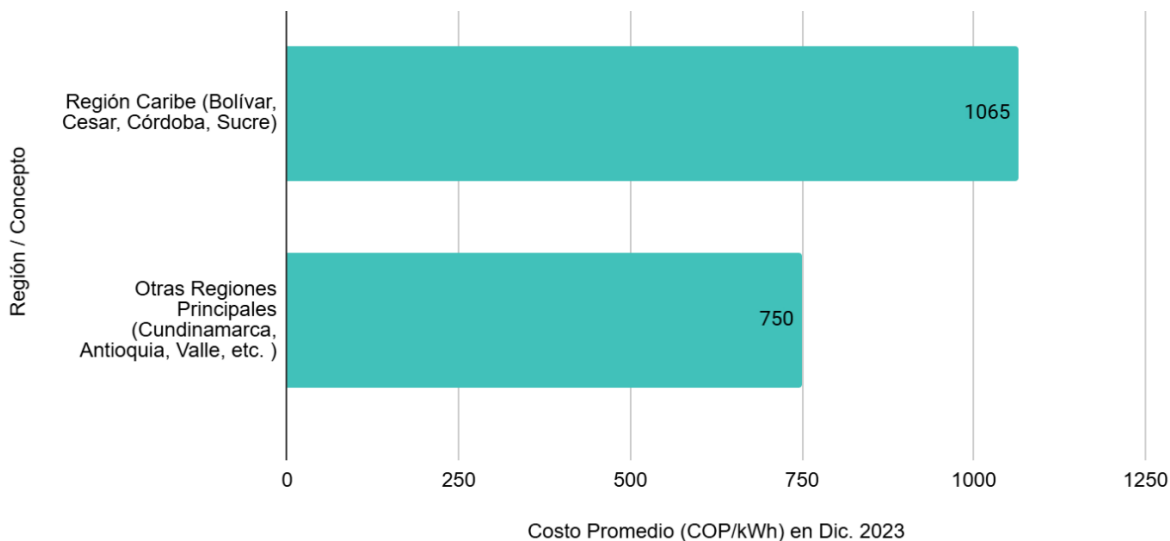
energético de Colombia de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2024), la energía solar representó apenas el 1% de la generación eléctrica total en 2022. Esta mínima penetración es aún más reveladora al observar que el Suministro Total de Energía del país en 2021 todavía dependía en un 75% de fuentes no renovables. Esta brecha entre el potencial y la realidad no es una simple demora en la adopción tecnológica, sino un síntoma de fallas estructurales e inercias históricas que mantienen a la región anclada a un modelo energético costoso y vulnerable, impidiendo la diversificación de su matriz energética.

La manifestación más directa de esta brecha se refleja en las tarifas eléctricas, que actúan como una barrera tangible para el desarrollo. Según el análisis de Pinto (2024), el costo promedio por kilovatio hora (kWh) en la región alcanzó los 1.065,66 pesos en diciembre de 2023, representando un sobrecosto de hasta un 40% o más en comparación con otras regiones (Ver Figura 5). Para el sector productivo, esta carga energética no es un simple costo operativo, sino una desventaja competitiva estructural que merma la rentabilidad desincentiva la inversión y obstaculiza directamente la "Reducción de costos energéticos para la industria", un indicador clave de la competitividad. El análisis de Fundesarrollo (citado en Pinto, 2024) confirma este impacto diferencial, mostrando que la producción manufacturera del Caribe es significativamente más sensible a los costos energéticos que el promedio nacional.

Figura 5

Comparación de Tarifas Eléctricas Promedio (COP/kWh) - Región Caribe vs. Promedio

Nacional (2023)



Nota. Esta figura ilustra la brecha significativa en los costos de la energía eléctrica que enfrentan los usuarios de la región Caribe en comparación con el resto del país, visualizando la carga económica descrita. *Obtenido de.* Elaboración propia con datos de la Superintendencia de Servicios Públicos y análisis sectoriales (Ej. Pinto, 2024).

Esta disparidad, sin embargo, afecta de manera aún más profunda a la equidad social. Para los hogares, especialmente los de menores ingresos, el sobrecosto energético consume una porción desproporcionada de su presupuesto, agudizando la pobreza energética e impactando negativamente el indicador de "Impacto en las tarifas residenciales". Esta condición va más allá de la dificultad económica, pues perpetúa un ciclo de vulnerabilidad al limitar el acceso a servicios esenciales para el desarrollo humano en el siglo XXI, como la educación en línea, el teletrabajo o la conservación de alimentos. De este modo, la brecha energética no solo frena la economía, sino que también profundiza las desigualdades sociales existentes en la región.

En síntesis, la evidencia documental confirma una profunda paradoja: una región bendecida con una riqueza solar excepcional permanece sin explotar a gran escala, mientras sufre las consecuencias de uno de los sistemas eléctricos más costosos del país. Esta contradicción no es una abstracción teórica, sino un mecanismo activo que frena el desarrollo regional de manera dual: por un lado, erosiona la competitividad de su tejido productivo y, por otro, perpetúa la vulnerabilidad y la exclusión de sus habitantes, profundizando la pobreza energética y las inequidades sociales. Se evidencia así que la disponibilidad de recursos naturales, por sí sola, no garantiza beneficios si no se acompaña de políticas de inclusión y estrategias de inmersión efectivas. Comprender las causas estructurales de esta brecha es, por lo tanto, fundamental para proponer soluciones, lo que conduce al siguiente análisis de las barreras sistémicas que impiden capitalizar esta oportunidad.

Análisis de las Barreras Sistémicas al Despliegue Solar

Habiendo diagnosticado la profunda brecha entre el potencial solar y la realidad energética del Caribe, y en cumplimiento del segundo objetivo de esta investigación, se procede a identificar y analizar las barreras que limitan la adopción a gran escala de la tecnología fotovoltaica. El análisis documental revela que esta paradoja no obedece a una causa única, sino a una compleja e interconectada red de obstáculos técnicos, económicos, regulatorios y sociales. La evidencia, organizada en la Tabla 3 (Matriz de Categorización y Evidencia)(Ver Tabla 3), muestra que estos factores no actúan de forma aislada, sino que se refuerzan mutuamente, creando un bloqueo sistémico que frena la transición energética y perpetúa las condiciones de vulnerabilidad en la región. A continuación, se aborda este entramado de barreras.

Tabla 3*Matriz de Categorización y Evidencia*

Categoría principal	Dimensión / Subdimensión	Hallazgo Clave (cita textual, argumento)	Fuente (autor, año, p.)
Energía solar fotovoltaica	Potencial y Aprovechamiento (Potencial Técnico-Geográfico)	"En general, Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m ² (destacándose la península de La Guajira, con un valor promedio de 6,0 kWh/m ² ...)."	(UPME, 2005, p. 20)
Energía solar fotovoltaica	Potencial y Aprovechamiento (Aprovechamiento Real)	En 2022, la generación de energía solar fue de 635 GWh, representando el 1% del total nacional. Para 2021, el Suministro Total de Energía (TES) dependió en un 75% de fuentes no renovables (1.336.534 TJ de un total de 1.784.595 TJ).	(IRENA, 2024, pp. 1, 3)
Desarrollo económico sostenible	Competitividad Regional (Contexto Macroeconómico)	"Si bien las actividades agropecuarias tuvieron un comportamiento favorable, la minería, la industria y la construcción enfrentaron caídas. En efecto, [...] la producción industrial disminuyó por menor disponibilidad de materias primas y altos inventarios".	(Banco de la República, 2024, p. 4)
Desarrollo económico sostenible	Competitividad Regional	"Esto se traduce en un aumento del valor del kilovatio por hora, pasando de 533,36 pesos en enero de 2021 a	(Pinto, 2024)

Categoría principal	Dimensión / Subdimensión	Hallazgo Clave (cita textual, argumento)	Fuente (autor, año, p.)
	(Costos energéticos)	1065,66 pesos en diciembre de 2023".	
Desarrollo económico sostenible	Competitividad Regional (Impacto en la producción)	"Fundesarrollo, en su investigación, encontró que un aumento del 10% en la tarifa de energía en la región Caribe genera una disminución del 0.6% en la producción bruta del sector manufacturero. En comparación, en Colombia, aumentos en la tarifa de energía de igual proporción conllevan a una caída en la producción del 0.09%".	(Pinto, 2024)
Desarrollo	Equidad Social (Definición Pobreza Energética)	"Se comprenderá la pobreza energética como la brecha en el acceso equitativo a energía de calidad que enfrentan los hogares, definiendo con pertinencia territorial los estándares de acceso equitativo y calidad para satisfacer sus requerimientos energéticos".	(Calvo et al., 2021, p. 10)
Desarrollo económico sostenible	Equidad Social (Impacto en Calidad de Vida)	"La falta de acceso a servicios energéticos adecuados, limpios, sostenibles y asequibles, impacta aún más a los sectores más desposeídos y vulnerables. Es una suerte de círculo vicioso en el que las personas que carecen de acceso a energía (limpia, asequible) suelen quedar atrapadas en la privación...".	(Calvo et al., 2021, p. 11)

Categoría principal	Dimensión / Subdimensión	Hallazgo Clave (cita textual, argumento)	Fuente (autor, año, p.)
Desarrollo económico sostenible	Equidad Social (Impacto tarifas residenciales y pobreza)	"En 2022, la pobreza monetaria afectó al 56% de la población de Bolívar, lo que equivale a 1.950.000 personas que no cuentan con los recursos suficientes para cubrir necesidades básicas como alimentos, transporte y productos de aseo".	(Pinto, 2024)
Energía solar fotovoltaica	Barreras (Técnicas y de Infraestructura)	"El OR AFINIA presenta el mayor número de casos durante el año 2022 con aproximadamente el 46% del total a nivel nacional. Asimismo, AFINIA fue la empresa que reportó el mayor incremento de casos por presentar valores de DIU mayores a 360 horas, pasando de 146141 en 2021 a 277972 en 2022, lo que representa un aumento del 190%".	(Superservicios, 2023, p. 31)
Energía solar fotovoltaica	Barreras (Técnicas y de Infraestructura)	"Se observa que los municipios que presentan los valores más altos de los indicadores de duración y frecuencia media se ubican en la zona norte del país (costa Caribe). [Ejemplo:] Bolívar: Montecristo [252,14 veces]".	(Superservicios, 2023, pp. 25-26)
Energía solar fotovoltaica	Barreras (Económicas y Financieras - Legado histórico)	"La crisis de ElectriCaribe se profundizó significativamente en el periodo comprendido entre 2008 y 2016 [...]. Durante estos años, los desequilibrios financieros de la	(Cubillos & Guevara, 2020, p. 45)

Categoría principal	Dimensión / Subdimensión	Hallazgo Clave (cita textual, argumento)	Fuente (autor, año, p.)
Energía solar fotovoltaica	Barreras (Regulatorias e Institucionales)	<p>empresa se hicieron insostenibles, marcados por un déficit creciente entre el valor facturado y el recaudo efectivo, lo que minó su capacidad de inversión y mantenimiento".</p> <p>"La presente ley tiene por objeto modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético [...] y en general dictar normas para el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible". (Art. 1). Incluye la creación del "Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la energía (FENOGE)" (Art. 7) y amplía los incentivos tributarios y arancelarios.</p>	(Congreso de la República, Ley 2099 de 2021, pp. 1-2)
Desarrollo económico sostenible	Equidad Social (Comunidades Energéticas)	<p>"Es necesario avanzar en proyectos de generación distribuida por medio de modelos de gestión comunitaria de la energía para democratizar el sistema eléctrico, lograr tarifas justas y disminuir los niveles de pobreza energética".</p>	(MinEnergía, 2025, p. 8)
Desarrollo económico sostenible	Sostenibilidad Ambiental	<p>"Colombia es un país vulnerable a la incertidumbre global alrededor de los mercados del carbón térmico y de los</p>	(MinEnergía, 2025, p. 7)

Categoría principal	Dimensión / Subdimensión	Hallazgo Clave (cita textual, argumento)	Fuente (autor, año, p.)
	(Reducción de emisiones)	combustibles fósiles. Por ello, se requiere una transición gradual y planeada acorde a las desigualdades y condiciones sociales, ambientales y económicas de los territorios del país".	
Desarrollo económico sostenible	Competitividad Regional (Vínculo con competitividad general)	El pilar de Infraestructura del IDC "evalúa la competitividad [...] mediante [...] indicadores distribuidos en [...] subpilares: i) infraestructura de servicios, ii) infraestructura vial y iii) conectividad". Los departamentos de la región Caribe (La Guajira, Magdalena, Cesar) consistentemente puntúan bajo en este pilar.	(Consejo Privado de Competitividad, 2024, pp. 15, 21)

Nota. La tabla presenta una síntesis de la evidencia documental que sustenta el análisis de las barreras sistémicas. Funciona como un dispositivo analítico que vincula las categorías y subdimensiones de la investigación con los hallazgos textuales clave y sus respectivas fuentes, demostrando la trazabilidad de los argumentos desarrollados en esta sección. Obtenido de. Elaboración propia a partir del corpus documental investigado.

Barreras Técnicas y de Infraestructura

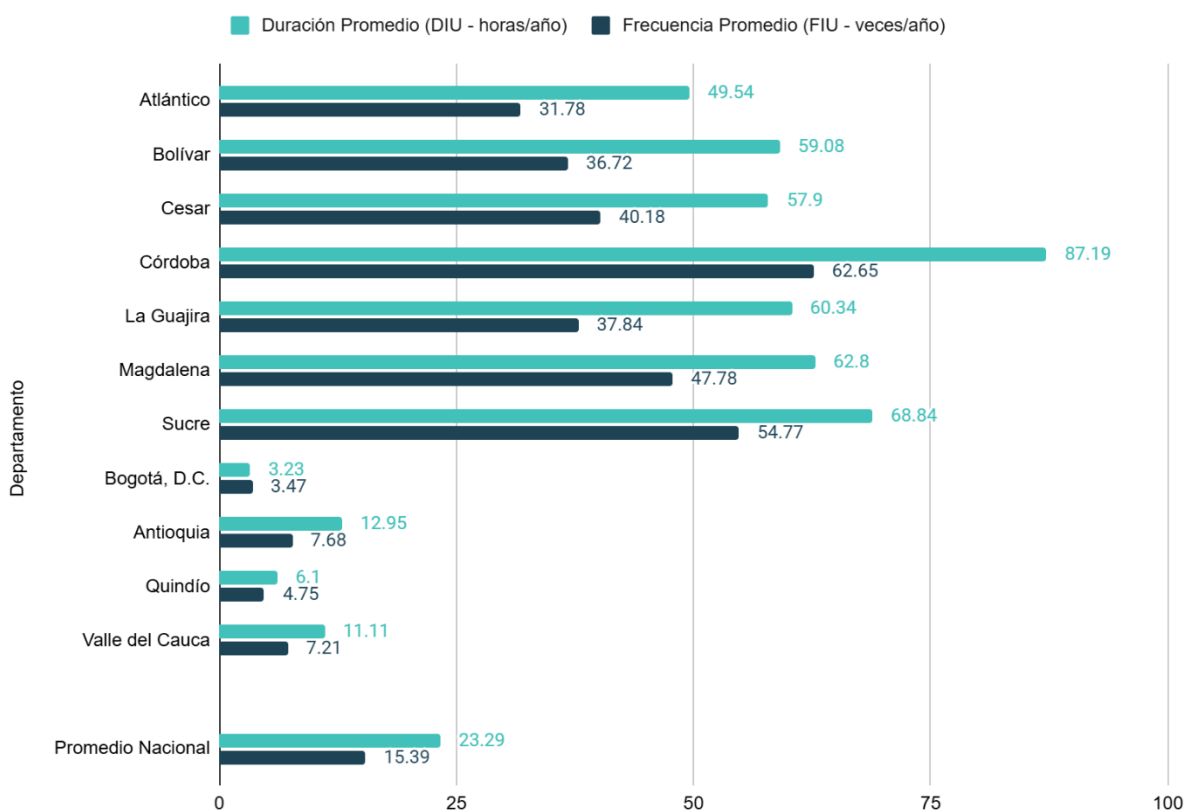
El obstáculo más inmediato y estructural para el despliegue masivo de la energía solar es el estado deficiente de la infraestructura eléctrica regional. Los datos del *Diagnóstico de la calidad del servicio de energía eléctrica en Colombia 2022* son contundentes, mostrando un pobre desempeño en el indicador clave del “Estado de la red de transmisión y distribución”. Por ejemplo, el operador AFINIA registró un alarmante 46% de los casos nacionales de usuarios con una Duración Media de Interrupciones (DIU) superior a 360 horas anuales, un incremento del 190% respecto a 2021. Municipios en Bolívar, Cesar, Magdalena y Sucre presentan consistentemente los peores indicadores de interrupciones a nivel nacional (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2023) (Ver Figura 6), lo que evidencia una precariedad que va más allá de la simple molestia para convertirse en un riesgo sistémico para la estabilidad energética y la viabilidad de nuevas inversiones.

Esta condición es consecuencia directa de un legado histórico de subinversión crónica, exacerbado por la crisis de ElectriCaribe. La investigación de Cubillos & Guevara (2020) documenta el "círculo vicioso de deterioro" que minó la capacidad de inversión, dejando en evidencia las enormes “Necesidades de inversión en infraestructura” que se acumularon durante años. Sin embargo, es crucial analizar que, a pesar del cambio de operadores a AIR-E y AFINIA, la inercia sistémica persiste. Lejos de una mejora sustancial, los datos indican que el problema de fondo no se ha resuelto. El aumento en las pérdidas de energía bajo la nueva gestión (Pinto, 2024) sugiere que los esfuerzos de inversión, aunque existentes, han sido insuficientes para revertir décadas de abandono y cerrar la brecha de calidad, lo que a su vez eleva la “Percepción de riesgo de los inversionistas”, creando una conexión directa e ineludible con las barreras económicas.

Figura 6

Indicadores de Calidad del Servicio Eléctrico (DIU/FIU) - Región Caribe vs. Otras Regiones

(2022)



Nota. Esta figura compararía la duración (DIU en horas/año) y frecuencia (FIU en veces/año) de las interrupciones en la región Caribe frente al promedio de otras regiones de Colombia, aportando claridad visual sobre la deficiencia de la infraestructura. *Obtenido de.* Elaboración propia con datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2023).

Esta situación plantea una pregunta crítica sobre si la magnitud del problema excede las capacidades técnicas y financieras de los operadores actuales dentro del marco regulatorio vigente. La modernización requerida no es un simple mantenimiento, sino una reconstrucción a gran escala. La infraestructura obsoleta no solo es incapaz de proveer un servicio confiable para la demanda actual, sino que es fundamentalmente inadecuada para la transición energética. Una red diseñada para un flujo unidireccional desde grandes centrales no puede gestionar eficientemente los “Desafíos de intermitencia y almacenamiento” inherentes a la generación distribuida de miles de sistemas solares. Esta limitación actúa como un cuello de botella sociotécnico que no solo ralentiza la capitalización del potencial renovable, sino que materializa el riesgo técnico, desincentivando la financiación de proyectos que dependen de una red que no puede garantizar su operación estable.

Barreras Económicas y Financieras

Esta barrera técnica de infraestructura precaria alimenta directamente un segundo obstáculo sistémico: las barreras económicas y financieras. El legado de ineficiencia operativa de ElectriCaribe ha generado una profunda aversión al riesgo, impactando de forma crítica los indicadores de “Acceso a financiación para proyectos” y “Percepción de riesgo de los inversionistas”. Este escepticismo se ve agravado por un estigma persistente asociado a la región: una alta incidencia de fraude y una cultura de no pago. Como documentan Cubillos & Guevara (2020), esta desconfianza histórica, que combina el riesgo técnico con el financiero, se traduce en mayores costos de capital y dificulta la movilización de la inversión privada necesaria para modernizar la red y desarrollar nuevos proyectos solares, a pesar de los incentivos tributarios existentes, los cuales resultan insuficientes para compensar un riesgo percibido como excesivamente alto.

Al mismo tiempo, las barreras económicas se manifiestan en un grave impacto social a través de un mecanismo específico: el traslado de las "Pérdidas de Energía (PR)" a los usuarios finales, un componente central en la "Estructura de tarifas y subsidios" de la región. Según Pinto (2024), estas pérdidas, que incluyen tanto fallas técnicas como fraude, han aumentado su peso en la factura del 8.4% en 2020 (con ElectriCaribe) a un alarmante 18.3% en 2023 (con Afinia). Este traslado del costo de la ineficiencia operativa es una causa directa de las altas tarifas que imponen una carga insostenible a la población y limitan la competitividad regional. En lugar de ser un incentivo para la eficiencia, esta estructura tarifaria socializa los costos de la ineficiencia, perpetuando el problema en lugar de resolverlo.

Por tanto, el bloqueo económico es un círculo vicioso de dos vías que se retroalimenta con las demás barreras. Por un lado, el riesgo heredado, que combina una infraestructura frágil (barrera técnica) con la percepción de una cultura de no pago (barrera social), frena la inversión privada necesaria para modernizar el sistema y reducir los costos estructurales. Por otro lado, el sistema actual impone una carga económica insostenible sobre la población al obligarla a financiar las ineficiencias del sistema, lo que deteriora la capacidad de pago de los usuarios y, a su vez, perpetúa las condiciones que alimentan la desconfianza de los inversionistas y la conflictividad social, cerrando así un ciclo de estancamiento.

Barreras Regulatorias y Sociales

Complementando las deficiencias físicas y los bloqueos financieros, existen barreras regulatorias y sociales significativas. Aunque Colombia cuenta con un marco normativo favorable como la Ley 2099 de 2021, la evidencia sectorial indica una brecha considerable entre la política formulada y su implementación, reflejada en una deficiente "Agilidad en trámites y licenciamiento". Esta inercia burocrática, combinada con la complejidad de los "Procesos de

consulta previa”, se suma a las profundas barreras sociales. Una de ellas es la desconfianza ciudadana, producto de una relación histórica conflictiva con las empresas eléctricas. La "Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa" (Ministerio de Minas y Energía, 2025) señala que los proyectos de FNCER a menudo están "rodeados de conflictividad" debido a la poca transparencia. Esta falta de legitimidad social y “Aceptación social de proyectos” actúa como un obstáculo directo, pues sin ella, los proyectos, incluso los técnicamente viables, enfrentan retrasos y sobrecostos, desalentando la inversión.

Esta desconfianza se entrelaza con la barrera estructural de la pobreza energética. Este concepto, desarrollado por Calvo et al. (2021), no se refiere solo a la falta de acceso, sino a la incapacidad de costear servicios energéticos adecuados. Esta condición es endémica en el Caribe, donde el alto costo de la energía, resultado directo de las barreras técnicas y económicas, consume una porción desproporcionada de los ingresos de los hogares más vulnerables (Pinto, 2024). Las implicaciones de esto van más allá de la dificultad económica; la pobreza energética perpetúa un ciclo de subdesarrollo al limitar el acceso a la educación y las oportunidades, dificultando la participación activa de las comunidades en una transición energética justa.

La pobreza energética adquiere su dimensión más extrema en las "Zonas No Interconectadas" (ZNI), que, según Calvo et al. (2021), cubren más de la mitad del territorio nacional. En estas zonas, donde solo el 31% de las comunidades tiene acceso a energía las 24 horas, la falta de una red confiable no solo representa una inequidad, sino que actúa como un freno absoluto al desarrollo económico, afectando las “Capacidades locales (capital humano)” y generando “Conflictos por uso del suelo” cuando se proponen soluciones. Esta exclusión territorial imposibilita la modernización, consolidando un modelo de desarrollo desigual. Superar esta barrera no es solo una cuestión de justicia social, sino un prerrequisito para integrar

plenamente a todo el territorio nacional en una senda de desarrollo, demostrando que las barreras sociales no son secundarias, sino elementos centrales que bloquean activamente el desarrollo.

En definitiva, el análisis de las barreras al despliegue solar en el Caribe demuestra que los obstáculos no operan de manera aislada, sino que son sistémicos y se refuerzan mutuamente en un ciclo de causalidad circular. La falta de una infraestructura técnica confiable (Superservicios, 2023) incrementa los riesgos financieros, generando desconfianza en los actores privados y dificultando el acceso a capital (Cubillos & Guevara, 2020). Este ciclo de subinversión, a su vez, se traduce en un servicio costoso e ineficiente que es financiado por los usuarios, profundizando la pobreza energética y la desconfianza social (Calvo et al., 2021). Finalmente, esta fractura social, combinada con una lenta implementación regulatoria y una débil definición de incentivos, crea un entorno de alta incertidumbre que bloquea nuevos proyectos y explica por qué, a pesar del alto potencial solar, el Caribe continúa rezagado. Romper este estancamiento requiere, por tanto, una visión integral que aborde simultáneamente la modernización de la red, la mitigación del riesgo inversor y la construcción de legitimidad social.

Evaluación del Potencial: La Energía Solar como Motor de Desarrollo Sostenible

Superar la red de barreras analizada no solo representa la solución a un problema energético crónico, sino que habilita una oportunidad de transformación profunda para la región Caribe. En consonancia con el tercer objetivo de esta monografía: Evaluar cómo el fomento de la energía solar puede mejorar la competitividad regional, promover la equidad social y avanzar hacia las metas de desarrollo sostenible; este apartado analiza su potencial catalizador. Este concepto implica que la energía solar va más allá de la simple generación eléctrica; actúa como un agente de cambio que desencadena efectos multiplicadores. La evidencia documental consolidada permite sostener que una transición energética bien gestionada, centrada en el

aprovechamiento del recurso solar, puede activar impactos positivos y duraderos en las dimensiones económica, social y ambiental, respondiendo directamente a los indicadores clave de desarrollo.

Dimensión Económica: Impulso a la Competitividad

El primer y más directo impacto catalizador se evidencia en la competitividad regional, abordando frontalmente el indicador de “Reducción de costos energéticos para la industria”. El efecto perjudicial de las altas tarifas, un lastre crónico diagnosticado por el Banco de la República (2024), fue cuantificado por Fundesarrollo (citado en Pinto, 2024), revelando que un aumento del 10% en la tarifa regional disminuye en un 0.6% la producción manufacturera. Una transición hacia la energía solar no solo mitigaría este efecto, sino que reduciría drásticamente un costo operativo fundamental. Esto significa liberar capital que las empresas pueden reinvertir en innovación, tecnología y expansión, fortaleciendo el tejido empresarial existente y potenciando el indicador de “Atracción de nuevas inversiones”. Una energía más barata y estable transforma al Caribe en un destino más atractivo para capitales que buscan eficiencia y sostenibilidad, generando un círculo virtuoso de crecimiento.

Este impulso va más allá de la industria tradicional y habilita la tecnificación de sectores estratégicos. Como señala el Consejo Privado de Competitividad (2024), la infraestructura energética es un pilar clave del desarrollo. Para el campo, un sector vital en el Caribe, una energía asequible y accesible significa la viabilidad de sistemas de riego modernos, cadenas de frío para reducir pérdidas post-cosecha y procesos de transformación agrícola que aumentan el valor agregado. Esto no solo diversifica la economía regional, sino que también genera “Creación de empleo en la cadena de valor solar” y en sectores conexos. Este impacto catalizador se magnifica en la economía digital, donde una red eléctrica estable y de bajo costo

es el prerrequisito para atraer inversiones en infraestructura tecnológica como centros de datos, empresas que, además, valoran cada vez más el suministro con fuentes limpias por sus compromisos de sostenibilidad (ESG), otorgando al Caribe una doble ventaja competitiva.

Finalmente, una red eléctrica confiable y resiliente, alimentada por energía solar, fortalece directamente uno de los motores económicos más importantes de la región: el turismo. La calidad de la experiencia turística en ciudades como Cartagena, Santa Marta o Barranquilla depende críticamente de un suministro energético ininterrumpido. Para la hotelería, la gastronomía y los servicios, la energía solar cataliza la operación diaria al eliminar la incertidumbre de los cortes, pero su impacto va más allá: consolida la imagen de la región como un destino de clase mundial, sostenible y moderno. Esto no solo mejora la competitividad del sector, sino que atrae un turismo de mayor valor y fomenta un desarrollo sostenible, alineando el crecimiento económico con la protección ambiental y el bienestar social, creando un modelo de prosperidad a largo plazo.

Dimensión Social: Hacia la Equidad Energética

En la dimensión social, la energía solar actúa como una poderosa herramienta para promover la equidad, con un efecto catalizador directo sobre los indicadores de “Impacto en las tarifas residenciales” y “Reducción de la pobreza energética”. Las altas tarifas impactan desproporcionadamente a los hogares de menores ingresos, exacerbando la pobreza monetaria que en Bolívar, por ejemplo, afecta al 56% de la población (Pinto, 2024). Para estas familias, una factura de energía más baja no es un simple ahorro, sino un cambio fundamental. La generación distribuida y la autogeneración permiten que este alivio económico se traduzca en más recursos para alimentación, salud y educación, rompiendo el "círculo vicioso de privación" descrito por

Calvo et al. (2021). De esta forma, la energía solar no solo ilumina hogares, sino que cataliza la movilidad social y elimina barreras indirectas al desarrollo.

Este impacto se profundiza al considerar la inclusión social y educativa en la era digital. La preocupación por una factura de luz elevada a menudo limita el uso de herramientas como computadores e internet, creando una brecha en el acceso a la educación virtual y al conocimiento. Al mitigar este factor, la energía solar cataliza un abanico de oportunidades: permite que estudiantes aprovechen recursos en línea y que surjan nuevos emprendimientos digitales desde los hogares, que de otro modo serían económicamente inviables. Esto es particularmente transformador en las “Soluciones para Zonas No Interconectadas (ZNI)”, donde el acceso a energía confiable es, en sí mismo, un catalizador para conectar a comunidades aisladas con la economía global del conocimiento, generando un salto cualitativo en sus perspectivas de desarrollo.

Más allá del alivio económico individual, la energía solar cataliza nuevos modelos de desarrollo inclusivos, materializando el potencial del indicador de “Desarrollo de Comunidades Energéticas”. La Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa (Ministerio de Minas y Energía, 2025) promueve activamente estos esquemas, que buscan democratizar el sistema eléctrico, transformando a los ciudadanos de consumidores pasivos a participantes activos y propietarios de la generación. Este modelo no solo mejora la asequibilidad en zonas vulnerables, sino que también fortalece el tejido social y la gobernanza local al empoderar a las comunidades. De este modo, la energía solar no solo alivia los síntomas de la inequidad, sino que ataca sus raíces estructurales, catalizando un desarrollo más justo, descentralizado y centrado en las personas.

Dimensión Ambiental: Sostenibilidad y Resiliencia

Finalmente, el despliegue de la energía solar es un catalizador fundamental para la sostenibilidad ambiental, abordando de manera directa el indicador de “Reducción de emisiones de GEI”. Al desplazar la generación a partir de combustibles fósiles, que aún representan tres cuartos del suministro energético nacional (IRENA, 2024), se logra una descarbonización significativa del sistema eléctrico regional. Esta acción constituye una contribución directa a las metas climáticas del país (NDC) y materializa el “Cumplimiento de ODS (7 y 13)”, alineándose perfectamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Para una región tan vulnerable a los efectos del cambio climático como el Caribe, esta mitigación no es una meta abstracta, sino una estrategia esencial para su propia supervivencia y resiliencia a largo plazo.

El impacto ambiental catalizador va más allá de la simple reducción de emisiones. Fomenta una “Diversificación de la matriz energética”, lo que intrínsecamente aumenta la seguridad y resiliencia del sistema. Una menor dependencia de los combustibles fósiles, sujetos a la volatilidad de los mercados internacionales, aísla a la economía regional de choques de precios externos y garantiza una mayor estabilidad. Para la región Caribe, esta transición significa no solo mitigar su propia huella de carbono, sino también posicionarse como un actor protagónico en la transición energética del país. La Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa (Ministerio de Minas y Energía, 2025) destaca la importancia de construir un futuro más resiliente, y la energía solar es el pilar para lograrlo.

Al liderar el despliegue de energía solar, el Caribe no solo contribuye a la seguridad energética nacional, sino que también cataliza el desarrollo de capacidades, conocimientos y tecnologías limpias que pueden convertirla en un referente de desarrollo sostenible. Este liderazgo atrae inversión verde, promueve una economía basada en la sostenibilidad y genera un

nuevo relato para la región: de ser una zona afectada por la crisis energética a convertirse en un polo de innovación y energía limpia. Este cambio de paradigma es quizás el impacto catalizador más profundo, pues no solo transforma la matriz energética, sino también la identidad y el futuro económico de la región.

En conclusión, la evaluación del potencial catalizador de la energía solar demuestra que su fomento estratégico trasciende la mera solución a un problema de suministro eléctrico. Económicamente, actúa como un dinamizador de la competitividad al reducir costos y atraer inversiones. Socialmente, se erige como un motor de equidad, aliviando la pobreza energética y democratizando el acceso a la energía. Ambientalmente, es la piedra angular para construir un futuro resiliente, cumpliendo con los compromisos climáticos. Sin embargo, para que estos impactos positivos no se queden en un escenario teórico, su materialización depende de condiciones habilitantes esenciales, como la estabilidad regulatoria, la disponibilidad de financiamiento y la construcción de confianza comunitaria. Cada uno de estos impactos se refuerza mutuamente, confirmando que la energía solar no es solo una alternativa, sino un catalizador integral capaz de impulsar al Caribe colombiano hacia un modelo de desarrollo genuinamente sostenible.

Síntesis y Discusión a la Luz del Marco Teórico

A lo largo de esta sección, el análisis de la evidencia documental ha respondido sistemáticamente a los objetivos de investigación, utilizando la matriz de operacionalización como guía. El diagnóstico (4.1) contrastó el potencial con la realidad (Objetivo 1), el análisis de barreras (4.2) identificó los obstáculos sistémicos (Objetivo 2), y la evaluación del potencial (4.3) exploró su rol catalizador (Objetivo 3). Este recorrido no solo ha delineado la problemática energética del Caribe, sino que ha generado hallazgos que dialogan directamente con los

fundamentos teóricos que sustentan este trabajo. Esta sección final se dedica a integrar estos resultados, discutiendo cómo confirman, matizan y profundizan nuestra comprensión de la Competitividad, el Desarrollo Sostenible y las Transiciones Energéticas en el contexto regional.

La evidencia presentada confirma de manera contundente los postulados de las teorías de competitividad regional, como las de Porter (1988), que posicionan la infraestructura y los costos energéticos como factores determinantes del desarrollo. El análisis de las altas tarifas (Pinto, 2024) y su impacto negativo en la producción manufacturera demuestra empíricamente que el sistema energético actual actúa como un "cuello de botella" que frena activamente la competitividad del Caribe. Los hallazgos no solo validan esta teoría, sino que la amplían, mostrando que la subutilización solar impone costos de oportunidad sistémicos que limitan el progreso en sectores modernos como la economía digital y el turismo sostenible. La energía solar, por tanto, no emerge como un simple factor de reducción de costos, sino como un prerequisite estratégico para liberar el potencial productivo territorial, en línea con el enfoque de desarrollo endógeno de Barca (2009).

En paralelo, el potencial transformador de la energía solar en sus tres dimensiones (económica, social y ambiental) encarna perfectamente el paradigma del desarrollo sostenible. Los hallazgos demuestran que es posible alinear el crecimiento económico con la equidad social y la integridad ambiental. Sin embargo, el análisis también introduce un matiz crítico a una visión idealizada de este paradigma. La persistencia de la pobreza energética (Calvo et al., 2021) y la exclusión de las Zonas No Interconectadas revelan que la mera disponibilidad de una tecnología limpia no garantiza un desarrollo equitativo. Esto cuestiona los enfoques puramente tecnocráticos y resalta que la sostenibilidad debe ser socialmente construida. La energía solar

solo puede catalizar un desarrollo sostenible si su despliegue se acompaña de políticas deliberadas que aseguren una distribución justa de sus beneficios.

Asimismo, los hallazgos ofrecen una perspectiva aplicada y crítica sobre las teorías de transiciones energéticas. El fomento de modelos como las Comunidades Energéticas (Ministerio de Minas y Energía, 2025) es un ejemplo práctico de cómo una transición justa puede materializar las teorías de desarrollo territorial, movilizandoo activos endógenos y fortaleciendo la gobernanza local. No obstante, la existencia de barreras regulatorias, sociales e institucionales evidencia una tensión fundamental entre la política formulada (ej. Ley 2099) y su implementación práctica. Este hallazgo confirma los modelos sociotécnicos de transición, que sostienen que el cambio no es solo una sustitución tecnológica, sino una reconfiguración compleja de sistemas sociales, económicos e institucionales. El potencial tecnológico por sí solo no garantiza la transformación si no se acompaña de una gobernanza efectiva y una superación de las profundas inercias que caracterizan al sector energético.

En conclusión, esta sección ha establecido, a partir de la evidencia documental, que la transición energética en el Caribe colombiano enfrenta una profunda paradoja: una abundancia de recursos solares contrastada por un persistente rezago en su aprovechamiento (respondiendo al Objetivo 1). Se ha desentrañado la red de barreras sistémicas, que incluye limitaciones técnicas, financieras, sociales e institucionales que se refuerzan mutuamente para perpetuar costos elevados, inequidad social y un ciclo de subinversión (respondiendo al Objetivo 2). Finalmente, se ha evaluado el inmenso potencial transformador de la energía solar, demostrando que puede actuar como un motor de competitividad, equidad y sostenibilidad, siempre que se acompañe de políticas coherentes y redes de cooperación efectivas (respondiendo al Objetivo 3). Los hallazgos, discutidos a la luz del marco teórico, no solo confirman la pertinencia de la

investigación, sino que subrayan la complejidad del desafío, validando que el éxito de la transición no depende únicamente de la disponibilidad del recurso, sino de la articulación entre actores públicos, privados y comunitarios. En consecuencia, la contribución analítica de este estudio radica en demostrar que los hallazgos no se limitan a una discusión técnica sobre infraestructura energética, sino que evidencian una profunda dimensión estructural vinculada al desarrollo regional y la justicia económica. Con este fundamento analítico, que conecta de manera robusta la evidencia con la teoría, la sección final de esta monografía se centrará en proponer estrategias integrales para convertir el potencial catalizador de la energía solar en una realidad tangible para la región.

Discusión, Conclusiones y Recomendaciones

Tras haber diagnosticado la profunda paradoja energética de la región Caribe, desentrañado la red de barreras sistémicas que la perpetúan y evaluado el inmenso potencial catalizador de la energía solar fotovoltaica, esta sección final se dedica a integrar dichos hallazgos en una síntesis interpretativa. El propósito de esta sección es ir más allá de la exposición de los resultados para discutir sus implicaciones más profundas a la luz del marco teórico establecido y el debate académico actual. Con base en esta discusión, se formularán conclusiones definitivas, se articularán recomendaciones estratégicas y se delinearán futuras líneas de investigación.

Discusión de los Hallazgos Principales

La pregunta central que guio esta investigación fue cómo el desarrollo del potencial solar fotovoltaico puede contribuir al desarrollo económico sostenible del Caribe colombiano. El análisis revela que el potencial de la energía solar como catalizador del desarrollo en el Caribe colombiano se encuentra neutralizado por un profundo bloqueo sistémico. Este hallazgo redefine la problemática, no como un simple desafío tecnológico, sino como una compleja falla de gobernanza que perpetúa un ciclo vicioso de subdesarrollo energético. Dicho bloqueo se manifiesta en una tríada de barreras interconectadas: una infraestructura de red precaria (barrera técnica) que eleva el riesgo operativo y, como documenta la OECD (Davies & Saygin, 2023), disuade la inversión privada (barrera financiera). Esta subinversión crónica se traduce a su vez en una carga tarifaria insostenible que alimenta la barrera social, caracterizada por una profunda pobreza energética y una arraigada desconfianza ciudadana.

Este entramado de barreras evidencia una palpable contradicción entre el progresista marco normativo nacional (Leyes 1715 y 2099) y la persistencia de la crisis territorial. El

problema de fondo no es la falta de leyes, sino su ineficaz implementación, un desafío de gobernanza que, según Allub y Álvarez (2024), es característico en América Latina. La falta de legitimidad social, evidenciada en conflictos derivados de "bajos niveles de confianza" en proyectos energéticos (Godinho et al., 2024), valida que el reto principal no es la ambición climática, sino su ejecución. En consecuencia, la discusión redefine la problemática de fondo: no se trata simplemente de cómo instalar más paneles solares, sino de cómo gobernar una transformación sociotécnica en un territorio con profundas brechas de equidad.

Aportes y Originalidad de la Investigación

Este trabajo monográfico realiza contribuciones significativas al entendimiento de la transición energética en el Caribe colombiano al introducir dos conceptos analíticos clave. En primer lugar, conceptualiza y documenta el "bloqueo sistémico", identificando la interdependencia de la tríada de barreras (técnica, financiera y social). Este aporte empírico matiza el marco de las transiciones sociotécnicas al demostrar cómo la "inercia institucional" en contextos de alta desigualdad supera a los obstáculos puramente técnicos, ofreciendo así un diagnóstico integral para políticas públicas más efectivas. Como complemento, el estudio operacionaliza la idea del "potencial catalizador" de la energía solar, proveyendo un marco para evaluar el impacto multidimensional de la transición más allá de los megavatios instalados. Esta herramienta conceptual conecta directamente la inversión energética con objetivos estratégicos de competitividad, equidad y resiliencia, permitiendo valorar el verdadero retorno de una transición socialmente justa y económicamente transformadora.

El Potencial Transformador a la Luz del Marco Teórico

Los hallazgos de esta monografía dialogan directamente con el marco teórico que la sustenta, no solo validando sus postulados, sino enriqueciéndolos con la evidencia empírica del caso Caribe. En relación con las teorías de competitividad, la investigación confirma que la infraestructura y los costos energéticos actúan como un "cuello de botella" (Porter, 1988), limitando el potencial productivo. Sin embargo, el estudio trasciende esta visión. Alineado con el desarrollo endógeno de Barca, demuestra que la energía solar no es un simple insumo barato, sino un "factor habilitador" estratégico capaz de movilizar los activos territoriales. Esta transición representa un imperativo económico para atraer inversiones mediante el *powershoring*, como señalan Allub y Álvarez (2024). En este contexto, no descarbonizar constituye un riesgo tangible para la competitividad futura de Colombia y su seguridad energética a largo plazo, tal como advierte el Wuppertal Institute (Thema & Roa García, 2023).

De manera paralela, el potencial catalizador de la energía solar encarna el paradigma del desarrollo sostenible al alinear crecimiento, ambiente y equidad social. No obstante, los hallazgos advierten contra una visión puramente tecnocrática que ignore las realidades locales. La persistencia de la pobreza energética y la exclusión de las Zonas No Interconectadas (ZNI) son una clara manifestación de los "viejos problemas del desarrollo" latinoamericanos (Allub & Álvarez, 2024).

Este hecho demuestra que la sola disponibilidad de tecnología limpia no garantiza un desarrollo equitativo. De hecho, la evidencia de Garces et al. (2023) sobre la irracionalidad de subsidiar diésel en las ZNI confirma que el obstáculo principal no es técnico ni financiero, sino una profunda y persistente falla de gobernanza que impide la adopción de soluciones más

eficientes y justas. Esta inacción institucional perpetúa un modelo extractivo de subsidios en lugar de fomentar una inversión productiva y transformadora en capacidades locales.

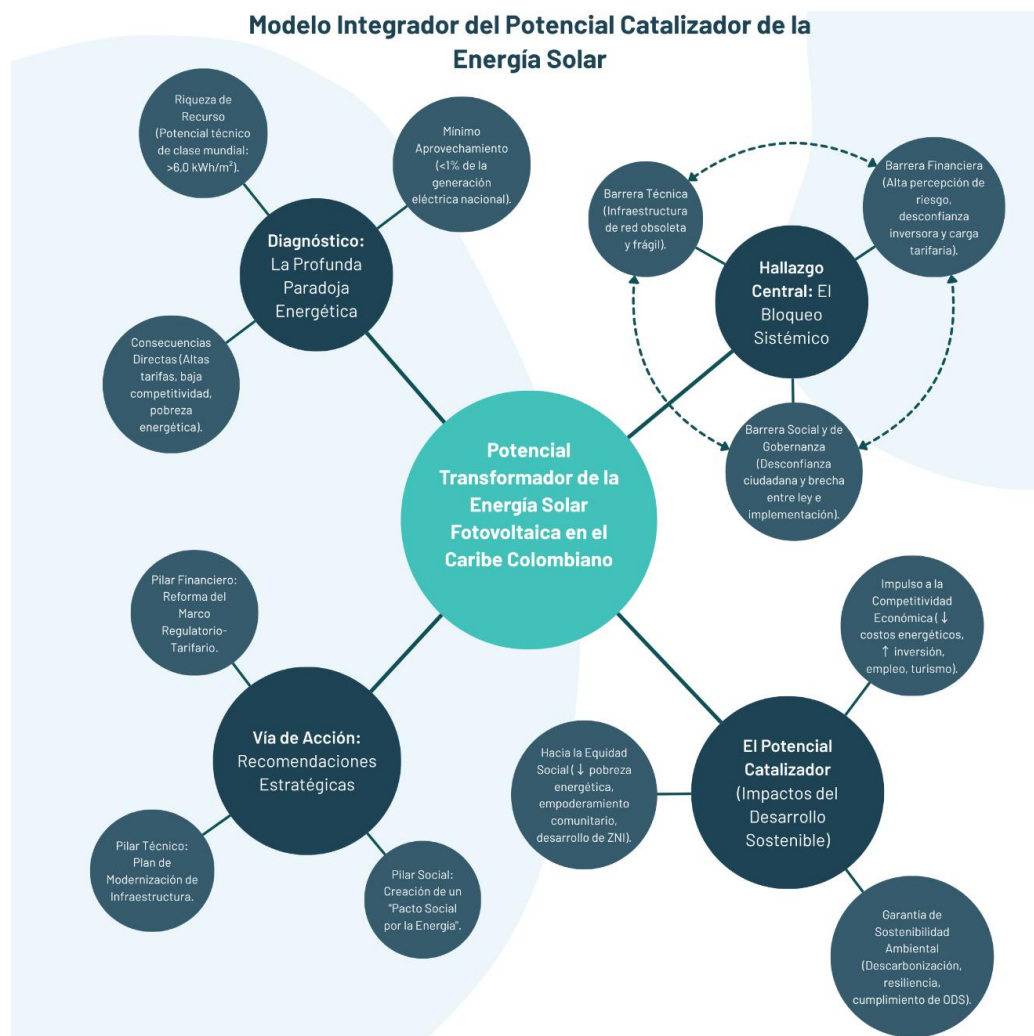
Finalmente, el caso del Caribe colombiano valida los modelos de transiciones energéticas desde una perspectiva sociotécnica. El concepto de "bloqueo sistémico" se presenta como la manifestación real de la "inercia" y la "dependencia de la trayectoria" que describen estas teorías. Demuestra de forma contundente que el inmenso potencial tecnológico de la energía solar es insuficiente si no se reconfiguran simultáneamente los sistemas institucionales y sociales. La profunda brecha entre un marco legal progresista y su parálisis en la implementación (Godinho et al., 2024; Davies & Saygin, 2023) expone que la transición es, en efecto, un complejo desafío de gobernanza. Toda esta interacción, desde el diagnóstico inicial hasta las vías de acción y sus impactos esperados, se sintetiza en las siguientes conclusiones, acompañadas de un modelo integrador (Ver Figura 7), que sirve como hoja de ruta visual para las conclusiones y recomendaciones que se presentan a continuación.

Conclusiones

En respuesta a la pregunta central de esta investigación, se concluye que el desarrollo del potencial de la energía solar fotovoltaica puede contribuir de manera decisiva al desarrollo económico sostenible de la región Caribe colombiana al actuar como un catalizador integral de transformación. Su fomento estratégico va más allá de resolver un problema de suministro; al romper el ciclo histórico de altos costos e ineficiencia, la energía solar desencadena efectos multiplicadores profundos. Estos impactos se manifiestan en un fortalecimiento de la competitividad regional, un avance sustancial hacia la equidad social aliviando la pobreza energética, y una mayor sostenibilidad ambiental mediante la descarbonización del territorio.

Figura 7

Modelo Integrador del Potencial Catalizador de la Energía Solar.



Nota. El modelo sintetiza la lógica de la investigación, explicando cómo el "bloqueo sistémico" es un ciclo causal: la barrera técnica (infraestructura frágil) eleva el riesgo de la barrera financiera, cuya carga tarifaria alimenta la barrera social (desconfianza y pobreza energética), perpetuando la subinversión. Las recomendaciones estratégicas (la "Vía de Acción") proponen pilares interdependientes para romper este ciclo de manera integral. Su éxito activaría el "potencial catalizador" de la energía solar, fomentando el desarrollo sostenible en la región. Obtenido de. Elaboración propia (2025).

En respuesta al primer objetivo específico, se concluye que el estado actual de la utilización de la energía solar en el Caribe configura una profunda paradoja que frena activamente su desarrollo. A pesar de estar dotada de un recurso solar de clase mundial, la región presenta uno de los niveles más bajos de aprovechamiento de todo el país. Esta brecha no responde a una falta de potencial técnico o de viabilidad económica inherente a la tecnología, sino que es el síntoma más visible de un problema estructural profundo y arraigado. La investigación demuestra que esta contradicción no es una simple demora en la adopción tecnológica, sino la consecuencia directa de un modelo energético disfuncional que, históricamente, ha demostrado ser incapaz de capitalizar las ventajas comparativas endógenas del territorio.

En lo que respecta al segundo objetivo, la investigación concluye que la subutilización del potencial solar se debe a la persistencia de un "bloqueo sistémico" conformado por una red de barreras que se refuerzan mutuamente. Estos obstáculos son cuatro: (1) una infraestructura de red obsoleta que eleva el riesgo técnico y financiero; (2) una elevada percepción de riesgo que dificulta el acceso a capital privado; (3) una arraigada desconfianza social; y (4) una profunda brecha entre la formulación e implementación de la política regulatoria. Estos factores operan de manera coordinada para perpetuar un círculo vicioso de subinversión y exclusión social.

En respuesta al tercer objetivo, se concluye que la energía solar puede actuar como un potente catalizador para el desarrollo sostenible, pero su impacto es condicional. No es una solución inherentemente justa; su despliegue se convierte en un "multiplicador de paz o de conflicto" dependiendo de la gobernanza que lo acompañe. Para que su potencial se materialice en mejoras tangibles, su fomento debe ser parte de una gobernanza integral que aborde simultáneamente la modernización de la infraestructura, la mitigación del riesgo inversor y la

construcción de legitimidad social. La calidad de la gobernanza, por tanto, determina el resultado final de la transición.

Recomendaciones de Política Pública

Las conclusiones de este estudio demuestran que las medidas parciales y los incentivos aislados han sido insuficientes para superar el "bloqueo sistémico" que frena el desarrollo energético del Caribe. Romper este círculo vicioso requiere abandonar los enfoques reactivos en favor de una estrategia integral, holística y coordinada. Las siguientes recomendaciones no son acciones independientes; en cambio, constituyen los tres pilares interdependientes de una política pública transformadora. Estos pilares se presentan en un orden lógico de intervención y están diseñados para convertir el potencial solar de la región en un motor tangible de desarrollo. Esta visión integral se desglosa en los pilares fundamentales que se describen a continuación y que se sintetizan en la matriz presentada en la tabla 4 (Ver Tabla 4).

El pilar fundamental de esta estrategia es la superación de la barrera técnica mediante un "Plan de Modernización de la Infraestructura Energética del Caribe". Este programa, concebido a largo plazo, debe enfocarse en la modernización, digitalización y expansión proactiva de las redes, con metas como reducir las interrupciones de servicio (SAIDI/SAIFI) y alinear las pérdidas técnicas con la media nacional. Su objetivo es adecuar la red para un futuro descentralizado, habilitando la conexión masiva de proyectos. La inversión necesaria excede la capacidad de los operadores, según estimaciones de la OECD (Davies & Saygin, 2023). Por lo tanto, el plan requiere un modelo de financiación mixta que combine recursos públicos, cooperación internacional y capital privado, atraído mediante garantías que mitiguen el riesgo inicial.

Tabla 4*Matriz de Recomendaciones Estratégicas.*

Hallazgo Clave (El Problema)	Recomendación de Política Estratégica	Actores Clave Responsables	Indicadores Clave y Resultados Esperados
Bloqueo Técnico: Infraestructura de red obsoleta, frágil e inadecuada para la generación distribuida.	Plan de Modernización de la Infraestructura Energética del Caribe.	MinEnergía, UPME, CREG, Operadores de Red (AIR-E, Afinia), Gobernaciones.	Reducir pérdidas técnicas a la media nacional. Disminuir interrupciones de servicio (SAIDI/SAIFI). Aumentar capacidad de red para renovables.
Bloqueo Financiero: Alta percepción de riesgo, carga tarifaria insostenible y falta de mecanismos de financiación accesibles.	Reforma del Marco Regulatorio-Tarifario y Fortalecimiento de FENOGE.	CREG, MinHacienda, FENOGE, Banca de Desarrollo, Sector Privado.	Disminuir costo promedio del kWh al usuario. Incrementar la capacidad solar instalada (MW). Movilizar inversión privada en proyectos solares.
Bloqueo Social y de Gobernanza: Profunda desconfianza ciudadana, pobreza energética y falta de capacidades locales.	Creación de un "Pacto Social por la Energía del Caribe".	MinEnergía, Comunidades, SENA, Universidades, Sector Privado.	N° de Comunidades Energéticas operativas. N° de técnicos locales certificados. Reducir el índice de pobreza energética.

Nota. La tabla resume las recomendaciones estratégicas, vinculando cada bloqueo sistémico con una solución, sus actores responsables y los indicadores clave para guiar su implementación y evaluar sus resultados. Obtenido de. Elaboración propia (2025).

Sobre la base de una infraestructura modernizada, el segundo pilar aborda las barreras económicas mediante una reforma del marco regulatorio-tarifario y el fortalecimiento de la

financiación. Se recomienda ajustar el régimen tarifario para incentivar la eficiencia y lograr una reducción tangible del costo promedio por kWh, vinculando la rentabilidad a la reducción de pérdidas. Paralelamente, se debe potenciar a FENOGÉ para crear líneas de crédito y garantías que permitan movilizar la inversión privada y materializar un aumento sostenido de la capacidad solar instalada (MW), cubriendo toda la escala, desde grandes plantas hasta la autogeneración, para reducir el riesgo y asegurar el capital para la transición.

Finalmente, para que la transformación técnica y financiera se traduzca en desarrollo equitativo, el tercer pilar es la creación de un "Pacto Social por la Energía del Caribe". Esta iniciativa tiene dos componentes. Primero, el escalamiento del modelo de Comunidades Energéticas, con la meta de constituir un número creciente de comunidades operativas para transformar la transición en una herramienta de empoderamiento local y construcción de paz (Guillaumier, 2025; Godinho et al., 2024). Segundo, un programa regional masivo de formación para certificar a miles de técnicos locales en alianza con el SENA y universidades, asegurando que los empleos beneficien a la población y contribuyan a reducir el índice de pobreza energética.

Limitaciones y Futuras Líneas de Investigación

Es fundamental reconocer las limitaciones inherentes a este estudio para contextualizar adecuadamente sus hallazgos. Al tratarse de una monografía basada en la revisión de masas documentales, su principal limitación radica en la dependencia de fuentes secundarias, lo cual no permite capturar las percepciones directas de los actores involucrados (comunidades, inversores). Asimismo, su enfoque a escala regional, si bien es idóneo para identificar patrones estructurales, no logra abarcar la profunda heterogeneidad de los contextos locales. Finalmente, su enfoque cualitativo, aunque crucial para interpretar la complejidad, no posibilita la realización de

modelaciones econométricas que cuantifiquen con precisión el impacto de las políticas recomendadas.

A partir de estas limitaciones, surgen líneas de investigación complementarias y necesarias. Se requiere, por un lado, desarrollar estudios cuantitativos, mediante modelos de equilibrio general computable (EGC), para estimar el impacto macroeconómico de una reducción tarifaria sobre el PIB regional. Por otro lado, son cruciales las investigaciones de caso, de carácter etnográfico, que analicen en profundidad la gobernanza y los resultados socioeconómicos de las primeras Comunidades Energéticas. Adicionalmente, se abren avenidas innovadoras, como análisis comparativos con regiones que enfrentaron barreras sistémicas similares y la exploración de la Inteligencia Artificial para optimizar la gestión de redes descentralizadas y mejorar la bancabilidad de los proyectos.

Estas futuras líneas de investigación no son meras continuaciones académicas, sino pasos estratégicos para la acción. Si bien esta monografía ofrece el diagnóstico del "bloqueo sistémico" y el marco para entender el "potencial catalizador" de la energía solar, los estudios futuros son indispensables para gobernar este complejo proceso con eficacia. Cuantificar los beneficios (EGC), comprender la implementación en el terreno (etnografía) y optimizar la tecnología (IA) son las herramientas que proporcionarán la profunda comprensión contextual necesaria para asegurar que la transición energética se ancle verdaderamente en las realidades del territorio caribeño.

Esta monografía inició su recorrido intelectual con la constatación de una profunda y dolorosa paradoja: la de una región bendecida con uno de los recursos solares más ricos del planeta, pero históricamente lastrada por una energía costosa, ineficiente y poco confiable. El análisis ha demostrado que esta contradicción no es una casualidad del destino, sino el resultado

de un bloqueo sistémico, un círculo vicioso de deficiencias técnicas, barreras económicas e inercias sociales que solo una estrategia integral y audaz puede romper. La conclusión central de este trabajo es, por tanto, inequívoca: la energía solar fotovoltaica no es simplemente una alternativa tecnológica más en el portafolio energético. Es, por su naturaleza y potencial, el catalizador más poderoso disponible para la transformación económica, la construcción de equidad social y la garantía de resiliencia ambiental en la región. El aprovechamiento de su potencial solar, por consiguiente, no es solo una opción de política pública; es la decisión estratégica más importante que el Caribe colombiano debe tomar para saldar su deuda histórica y construir, bajo la luz de su propio sol, un futuro próspero, inclusivo y genuinamente sostenible.

Referencias Bibliográficas

- Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA). (2024). *Colombia Energy Profile*.
[Colombia_South America_RE_SP.pdf](#)
- Allub, L., & Álvarez, F. (2024, 29 de mayo). *RED 2024 - Capítulo 1: Una nueva transición energética: rasgos, desafíos y perspectivas desde América Latina y el Caribe*. Distrito Capital: CAF – Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe.
<https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2256>
- Banco de la República. (2024). *Boletín Económico Regional - Caribe - IV trimestre de 2024* (Edición #24, ISSN en trámite). Centros Regionales de Estudios Económicos. Bogotá D. C., Colombia. <https://www.banrep.gov.co/es/publicaciones-investigaciones/boletin-economico-regional/costa-Caribe-4-trimestre-2024>
- Barca, F. (2009). *An agenda for a reformed cohesion policy: A place-based approach to meeting European Union challenges and expectations* (Independent Report prepared at the request of Danuta Hübner, Commissioner for Regional Policy). European Commission.
https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/regi/dv/barca_report/_barca_report_en.pdf
- Calvo, R., Álamos, N., Billi, M., Urquiza, A., & Contreras Lisperguer, R. (2021). *Desarrollo de indicadores de pobreza energética en América Latina y el Caribe* (Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 207; LC/TS.2021/104). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f3b3060c-94ab-4128-adaf-d56d2e860836/content>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). *Estudio Económico de América Latina y el Caribe, 2022*.

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f221aa4c-8df5-439f-aaa4-f4b1bb5c0e82/content>

Congreso de la República de Colombia. (2019, 25 de mayo). *Ley 1955 de 2019: Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 "Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad"*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=93970>

Congreso de la República de Colombia. (2021, 10 de julio). *Ley 2099 de 2021: Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>

Congreso de la República de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Consejo Privado de Competitividad (2024). *Índice Departamental de Competitividad 2024*.

Bogotá, Colombia: Consejo Privado de Competitividad. <https://compite.com.co/wp-content/uploads/INFORME-IDC-2024-web-1.pdf>

Cubillos Arias, N. D. A., & Guevara Arrieta, C. A. (2020). *Condicionantes financieros y el rol del Estado para la prestación de servicios públicos domiciliarios: Caso ElectriCaribe 2008-2018*. Universidad Militar Nueva Granada.

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/a17a8b27-747d-4361-a11c-d1c6aeb938b1/content>

Davies, L., & Saygin, D. (2023). Distributed renewable energy in Colombia: Unlocking private investment for non-interconnected zones (OECD Environment Working Papers No. 213). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/deda64ff-en>

Departamento Nacional de Planeación. (2022). Concepto favorable a la Nación para contratar un empréstito externo con la banca multilateral hasta por USD 34,5 millones, o su equivalente en otras monedas, destinados a financiar el Programa de Eficiencia Energética Caribe Energía Sostenible (PEECES). Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES).

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4096.pdf>

Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE). (2025).

Energía Solar para Población Vulnerable. <https://fenoge.gov.co/proyectos/energia-solar-para-poblacion-vulnerable/>

Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía. (2025). *Energía Solar*

para Economías Populares. FENOGE. <https://fenoge.gov.co/proyectos/energia-solar-para-economias-populares/>

Fundación Vorágine. (2021). *ElectriCaribe: un negocio en las sombras*. Vorágine.

<https://voragine.co/historias/investigacion/electriCaribe-un-negocio-en-las-sombras/>

Garcés, E., Tomei, J., Franco, C. J., & Dyer, I. (2023). *Sustainable electricity supply for off-grid communities in Colombia*. *Energy Policy*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030142152200533X>

Godinho, C., De Vivero, G., & de Grandpré, J. (2024, marzo). A just transition in Colombia.

NewClimate Institute. https://newclimate.org/sites/default/files/2024-03/A%20just%20transition%20in%20Colombia_mar2024.pdf

- Guillaumier, L. (2025). Just Energy Transition in Fragile and Conflict-Affected States: a pathway toward Environmental Peacebuilding? . Center for Collective on Advanced Studies in Energy Transition (NEATE). <https://www.fnrel.org/-/media/files/latam/la-guillaumier.pdf?la=en>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana.
https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/metodologia-de-la-investigaci%C3%83%C2%B3n_sampieri.pdf
- International Energy Agency (IEA) Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028.
<https://www.iea.org/reports/renewables-2023>
- Mejía García, C. (2021). *Evaluación del Potencial Solar en el Caribe Colombiano* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL.
<https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/10199/1193407200.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Informe memorias al congreso del ministerio de minas y energía*.
https://www.minenergia.gov.co/documents/12320/Memorias_al_Congreso_de_la_Republica_2023-2024.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2025). *Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa de Colombia*. Ministerio de Minas y Energía.
https://minenergia.gov.co/documents/13272/Hoja_de_ruta_transicion_energetica_justa_T_EJ_2025.pdf

Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos de desarrollo sostenible.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Our World in Data. (2025). Solar (photovoltaic) panel prices vs. cumulative capacity.

<https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>

Perpiñán Lamigueiro, O. (2023). *Energía solar fotovoltaica*.

<https://blogs.upm.es/oscarperpinan/libros/esf/>

Pinto, D. P. (2024, abril 5). Por qué el recibo de luz aumenta en la Costa Caribe. Blogs El

Espectador. <https://blogs.elespectador.com/actualidad/pletora/dilema-mensual-recibo->

[luz-aumenta-sin-cesar-la-costa-](https://blogs.elespectador.com/actualidad/pletora/dilema-mensual-recibo-luz-aumenta-sin-cesar-la-costa-)

[Caribe/#:~:text=Esto%20se%20traduce%20en%20un,pesos%20en%20diciembre%20de%202023](https://blogs.elespectador.com/actualidad/pletora/dilema-mensual-recibo-luz-aumenta-sin-cesar-la-costa-Caribe/#:~:text=Esto%20se%20traduce%20en%20un,pesos%20en%20diciembre%20de%202023)

Paniagua, R. C., & Duarte Pérez, A. (2021). *Generación eléctrica en Colombia y su transición hacia fuentes renovables no convencionales*. Corficolombiana.

<https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/Generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20Colombia%20y%20su%20transici%C3%B3n%20hacia%20Fuentes%20Renovables%20No%20Convencionales.pdf/5ffcba57-f7b8-f4b6-35c0-ae9302bd1a0a>

Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*, 76(6), 77-90. <https://hbr.org/1998/11/clusters-and-the-new-economics-of-competition>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2021). *Making peace with nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution*

emergencias. UNEP. <https://www.unep.org/resources/global-assessments-synthesis-report-path-to-sustainable-future>

Rodríguez-Pedro, R. (2024). Brecha digital y transformación social: El impacto de las nuevas tecnologías en América Latina y el Caribe. *ACCESO. Revista Puertorriqueña de Bibliotecología y Documentación*, 5, 1-29.

<https://revistas.upr.edu/index.php/acceso/article/view/21537/19143>

Sánchez-Rodríguez, M. A. (2020). *Estrategias para la búsqueda de información bibliográfica científica para una revisión sistemática*. VERTIENTES Revista Especializada en Ciencias de la Salud, 19(1), 5-12 https://cyrs.zaragoza.unam.mx/wp-content/Contenido/Volumenes/V2N2/07_Estrategias_para_la%20busqueda_de_informacion_bibliografica.pdf

SolarPower Europe (2025). Global Market Outlook for Solar Power 2025-2029.

<https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2025-2029>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2023, diciembre). Diagnóstico de la calidad del servicio de energía eléctrica en Colombia 2022. Superintendencia delegada para Energía y Gas, Dirección Técnica de Gestión de Energía.

<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-de-Calidad-del-Servicio-de-Energia-2022.pdf>

The Economist (2024). *Sun Machines: Solar, an energy source that gets cheaper and cheaper, is going to be huge*. <https://www.economist.com/interactive/essay/2024/06/20/solar-power-is-going-to-be-huge>

Thema, J., & Roa García, M. C. (2023). The Energy Transition in Colombia (Wuppertal Paper No. 200). Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.

<https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/8316/file/WP200.pdf>

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2005). Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana.

https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Impresos/Atlas_Radiacion_Solar_2005/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2019). Plan estratégico nacional 2020 - 2050.

https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Resumen_Ejecutivo_PEN_2020_2050.pdf

United Nations. (2024). *The Sustainable Development Goals Report 2024*. United Nations.

<https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/>

Vivero, L., & Sánchez, B. I. (2018). *La investigación documental: sus características y algunas*

herramientas. Unidades de Apoyo para el Aprendizaje, CUAED. https://repositorio-uapa.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/1516/mod_resource/content/3/content/index.html

Apéndices

Apéndice A

Modelo de Ficha de Análisis Documental

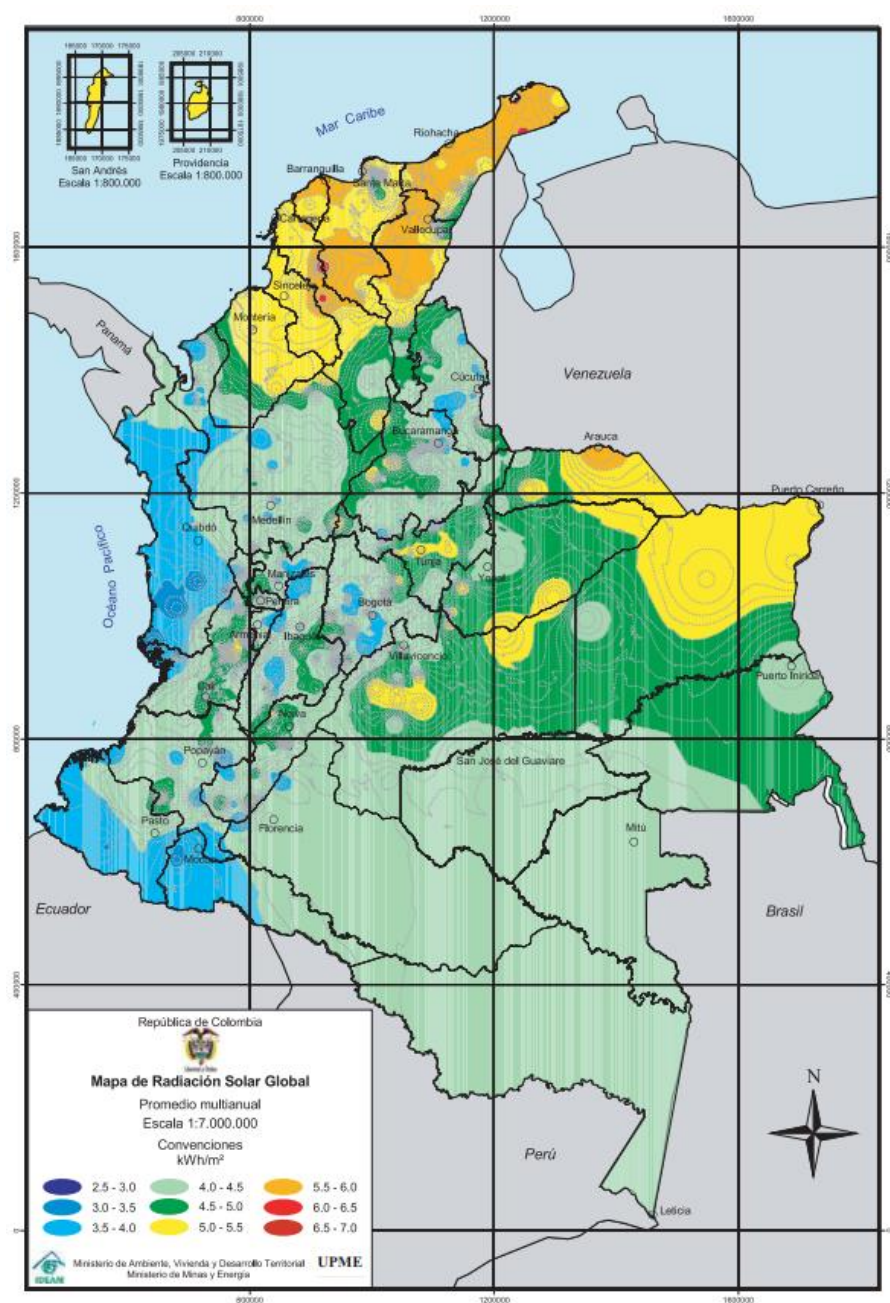
FICHA DE ANÁLISIS DOCUMENTAL	
No. De Ficha	
Nombre del Documento	
Tipo de documento (Artículo, libro, etc)	
Autor	
Referencia Bibliográfica (APA 7)	
Palabras Clave	
Descripción General del Documento	
Análisis de contenido	
Objetivo principal del documento:	
Metodología/enfoque del documento:	

Hallazgos clave por categoría de interés
Codificación y Relación Teórica
Análisis y conclusiones del documento

Nota. Formato del instrumento diseñado para la sistematización, categorización y análisis crítico de las fuentes secundarias consultadas durante la investigación. *Obtenido de.* Elaboración propia.

Apéndice B

Atlas de Radiación Solar Sobre una Superficie Plana



Nota. El mapa muestra el promedio multianual de radiación solar global sobre el territorio colombiano. Obtenido de. Adaptado de "Atlas de Radiación Solar de Colombia", por Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), 2005.