

Recibido: 09-04-2026 | Aceptado: 23-05-26 | Publicado: 29-05-2026

Evolución de la energía solar fotovoltaica en la industria colombiana: análisis 2020-2025

Evolution of photovoltaic solar energy in Colombian industry: analysis 2020-2025

DOI: <https://doi.org/10.21803/ingecana.6.6.1099>

Camila Andrea Segura Ocampo

<https://orcid.org/0009-0002-6147-9265>

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD),
camila.segura@unad.edu.co

Resumen

Introducción: La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento acelerado en Colombia durante el período 2020-2025, consolidándose como la principal fuente de expansión de la matriz energética del país. **Objetivo:** Este artículo presenta una revisión sistemática de 52 documentos sobre la evolución de la energía solar fotovoltaica en el sector industrial colombiano. **Resultados:** muestran un incremento de capacidad instalada superior al 700%, pasando de 200 MW en 2020 a 1,594 MW en 2025, representando el 7.6% de la matriz nacional. La implementación de políticas como la Ley 1715 de 2014 ha sido determinante, aunque persisten barreras económicas y técnicas. **Conclusiones:** El sector industrial emerge como actor clave, con períodos de retorno de inversión promedio de 2.75 años. Las proyecciones indican crecimiento hacia 12.85-19.80 GW para 2030.

Palabras clave: Energía solar fotovoltaica, Políticas energéticas; Sostenibilidad industrial, Transición energética.

Abstract

Introduction: Photovoltaic solar energy has experienced accelerated growth in Colombia during the 2020-2025 period, establishing itself as the main source of expansion of the national energy matrix. **Objective:** This article presents a systematic review of 52 documents on the evolution of photovoltaic solar energy in the Colombian industrial sector. **Results:** show an increase in installed capacity of over 700%, growing from 200 MW in 2020 to 1,594 MW in 2025, representing 7.6% of the national matrix. Public policies such as Law 1715 of 2014 have been crucial, though economic and technical barriers persist. **Conclusions:** The industrial sector emerges as a key player, with average payback periods of 2.75 years. Projections indicate sustained growth towards 12.85-19.80 GW by 2030.

Keywords: Photovoltaic solar energy; Energy policies; Industrial sustainability; Energy transition.

Cómo citar este artículo:

C. Segura Ocampo «Evolución de la energía solar fotovoltaica en la industria colombiana: análisis 2020-2025». *Ingente Americana*, vol. 6, n°6, e-1099, 2026. DOI: <https://doi.org/10.21803/ingecana.6.6.1099>



1. Introducción

El cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado a nivel global una transición acelerada hacia fuentes de energía renovables. En este contexto, la energía solar fotovoltaica se ha posicionado como una de las tecnologías más prometedoras debido a su carácter modular, escalable y cada vez más competitivo en términos económicos. Colombia, ubicada en la zona ecuatorial con niveles de radiación solar que superan el promedio mundial, presenta condiciones favorables para el desarrollo de esta tecnología [1].

Durante la última década, el país ha experimentado transformaciones significativas en su matriz energética, tradicionalmente dominada por la generación hidroeléctrica que representa cerca del 70% de la capacidad instalada. Esta alta dependencia hidráulica expone al sistema a vulnerabilidades asociadas a fenómenos climáticos como El Niño, que provocan sequías prolongadas y crisis energéticas [2]. La diversificación mediante energías renovables no convencionales, particularmente la solar fotovoltaica, representa tanto una estrategia de mitigación de riesgos climáticos como una oportunidad para avanzar hacia un desarrollo energético más sostenible.

El sector industrial colombiano, responsable de una porción significativa del consumo energético nacional, enfrenta presiones crecientes para reducir costos operativos y disminuir su huella ambiental. En este escenario, la autogeneración mediante sistemas fotovoltaicos emerge como una alternativa viable que permite a las empresas mejorar su competitividad mientras contribuyen a los objetivos de sostenibilidad del país [3]. Sin embargo, la adopción de esta tecnología en el contexto industrial presenta desafíos específicos relacionados con la inversión inicial, disponibilidad de financiamiento, barreras regulatorias y limitaciones de infraestructura [4].

Este artículo tiene como objetivo analizar de manera sistemática y crítica la evolución de la energía solar fotovoltaica en la industria colombiana durante el período 2020-2025, identificando tendencias, avances tecnológicos, políticas de incentivos, barreras de implementación y casos de éxito documentados. El período de estudio es particularmente relevante, ya que coincide con la implementación efectiva de marcos normativos como la Ley 1715 de 2014 y la Resolución CREG 080 de 2018, así como con la recuperación económica post-pandemia y un renovado compromiso gubernamental con la transición energética [5], [6].

2. MARCO TEÓRICO

A nivel internacional, la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como la tecnología de generación de mayor crecimiento en el mundo, impulsada por el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7 - Energía Asequible y No Contaminante). Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la capacidad solar fotovoltaica global superó los 1,600 GW en 2023 y el costo nivelado de electricidad (LCOE) de esta tecnología disminuyó de USD 0.381/kWh en 2010 a USD 0.044/kWh en 2023, una reducción superior al 88% en poco más de una década [3]. Países como China, Estados Unidos, Alemania e India lideran la expansión global, mientras que en América Latina destacan Brasil, Chile y México con tasas de crecimiento aceleradas y subastas de energía renovable con precios récord. A nivel tecnológico, los avances en módulos monocristalinos han elevado las eficiencias comerciales a 20-22%, y las tecnologías emergentes como células PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) y bifaciales representan la frontera actual de innovación en el mercado [1].

A nivel nacional, Colombia ocupa una posición privilegiada para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica. Su ubicación ecuatorial garantiza una irradiación solar horizontal global (GHI) de entre 4.5 y 6.0 kWh/m²/día en la mayor parte del territorio, con picos superiores a 5.5 kWh/m²/día en regiones como La Guajira, el Caribe y los Llanos Orientales. La Ley 1715 de 2014 constituyó la piedra angular del marco normativo para la integración de energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, introduciendo incentivos tributarios como la deducción del 50% del valor de inversión en el impuesto de renta, exclusión del IVA y exención de aranceles para equipos. Posteriormente, la Ley 2099 de 2021 o Ley de Transición Energética amplió estos mecanismos, y la Resolución CREG 080 de 2018 estableció las reglas para la autogeneración a pequeña escala y la generación distribuida [4], [6]. La UPME proyecta que Colombia podría alcanzar entre 12.85 y 19.80 GW de capacidad solar instalada para 2030 [7], representando

una transformación estructural de la matriz energética nacional, que actualmente depende en un 62.8% de la generación hidroeléctrica, con la consecuente vulnerabilidad ante fenómenos climáticos como El Niño [2].

A nivel local y regional, el sector industrial colombiano incluido el de departamentos como Cauca, Valle del Cauca y la región pacífica enfrenta una oportunidad concreta de reducir costos energéticos y huella ambiental mediante la adopción de sistemas fotovoltaicos. Los sistemas industriales en Colombia presentan factores de capacidad promedio de 18-22%, superiores a países de latitudes más altas, con vida útil estimada de 25-30 años [1]. En el mercado colombiano, los módulos fotovoltaicos de 400W tienen un precio promedio de 550,000-650,000 pesos colombianos en 2025, considerablemente inferior a los niveles de hace una década, lo que mejora significativamente la viabilidad financiera de los proyectos. Los modelos de negocio implementados por empresas industriales colombianas incluye autogeneración, contratos PPA (Power Purchase Agreement) y esquemas híbridos con almacenamiento energético [4]. Casos documentados en empresas como Postobón, Cargill, Colombina, Levapan, Solla y Grupo Familia demuestran que la adopción solar industrial es técnica y económicamente viable en el contexto colombiano, con períodos de retorno de inversión promedio de 2.75 años y tasas internas de retorno entre 15% y 25% [8].

3. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de literatura científica y técnica sobre energía solar fotovoltaica en la industria colombiana, siguiendo metodología adaptada de las directrices PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). El estudio adoptó un enfoque cualitativo-cuantitativo para el análisis de la información, permitiendo tanto la síntesis de datos estadísticos como la identificación de tendencias, barreras y oportunidades en el sector.

Estrategia de búsqueda: Se realizó un rastreo sistemático en diez bases de datos bibliográficas: ScienceDirect, IEEE Xplore, Scopus, Web of Science, Google Scholar, Dialnet, SciELO, repositorio de la UPME, IRENA y repositorios institucionales universitarios colombianos. La búsqueda se ejecutó durante el período comprendido entre febrero y marzo de 2026, utilizando ecuaciones de búsqueda que combinaron términos en español e inglés mediante operadores booleanos. Se consultaron fuentes adicionales de organismos gubernamentales como XM, Ministerio de Minas y Energía, y organizaciones internacionales como IEA, OECD y World Bank.

Criterios de selección: Criterios de inclusión: (a) Documentos publicados entre 2018 y 2025, priorizando el período 2020-2025; (b) Estudios relacionados con energía solar fotovoltaica en Colombia o con datos específicos sobre el caso colombiano; (c) Artículos científicos revisados por pares, informes técnicos gubernamentales, documentos de organismos internacionales, tesis de posgrado y documentos normativos oficiales; (d) Contenido en español o inglés. Criterios de exclusión: (a) Documentos sin revisión por pares de fuentes no académicas; (b) Estudios exclusivamente sobre energía solar térmica sin componente fotovoltaico; (c) Publicaciones sin metodología clara o sin fundamentación científica adecuada; (d) Documentos duplicados o versiones preliminares cuando existía una versión final disponible.

Proceso de selección y análisis: El proceso de selección se desarrolló en cuatro etapas: (1) identificación inicial de 203 documentos mediante búsqueda en bases de datos; (2) eliminación de duplicados, reduciendo a 124 documentos; (3) revisión de títulos y resúmenes aplicando criterios de elegibilidad, resultando en 78 documentos; (4) lectura completa y evaluación final, seleccionando 52 documentos que cumplieran todos los criterios establecidos. Los documentos seleccionados fueron clasificados en seis categorías temáticas emergentes: (1) evolución de capacidad instalada, (2) marco normativo y políticas públicas, (3) barreras y desafíos, (4) avances tecnológicos y costos, (5) aplicaciones in-

dustriales, y (6) proyecciones y tendencias futuras. Se desarrolló una matriz de análisis para sistematizar la información extraída de cada documento, incluyendo objetivos, metodología, hallazgos principales y conclusiones relevantes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evolución de la Capacidad Instalada (2020-2025)

Los datos recopilados revelan un crecimiento exponencial de la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia durante el período analizado. Según información de XM S.A. E.S.P. [9], operador del mercado mayorista de energía eléctrica en Colombia, la capacidad fotovoltaica pasó de aproximadamente 200 MW en 2020 a 1,594 MW en diciembre de 2025, lo que representa un incremento superior al 700%. Este crecimiento ubica a la tecnología solar como la principal fuente de expansión del Sistema Interconectado Nacional, con 334 MW incorporados únicamente en 2025, equivalentes al 87.8% de la nueva capacidad de generación instalada ese año.

Al cierre de 2025, la energía solar fotovoltaica representa el 7.6% de la capacidad instalada nacional total de 21,028.56 MW. Aunque esta participación aún es modesta comparada con la hidroelectricidad (62.8%) y la generación térmica (29.6%), marca un hito significativo considerando que hace apenas cinco años la participación solar era prácticamente marginal [6]. Adicionalmente, XM [9] reporta 104 proyectos en fase de pruebas iniciales que suman 1,426 MW, de los cuales 98 proyectos (1,365.6 MW) corresponden a tecnología fotovoltaica, anticipando la continuidad del crecimiento en el corto plazo.

Este desempeño posiciona a Colombia como uno de los mercados solares de más rápido crecimiento en América Latina, con una tasa de crecimiento anual compuesta superior al 50% en el período 2020-2025.

Las proyecciones de diversos estudios coinciden en estimar una capacidad instalada entre 12.85 GW [10] y 19.80 GW [11] para el año 2030.

4.2. Marco Normativo y Políticas Públicas

El desarrollo acelerado de la energía solar fotovoltaica en Colombia ha sido impulsado por un marco normativo favorable. La piedra angular es la Ley 1715 de 2014, que estableció el régimen de integración de energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional [12], modificada luego por la Ley 2099 de 2021 o Ley de Transición Energética [13]. Los incentivos incluyen: deducción del 50% del valor de la inversión en el impuesto de renta; exclusión del IVA para equipos destinados a proyectos de energías renovables; exención de aranceles de importación; y depreciación acelerada de activos. [14] concluyeron que han sido determinantes en la atracción de inversión privada. Aunque los incentivos fiscales han sido efectivos para atraer inversión en proyectos de gran escala, existen brechas en la aplicación uniforme de las regulaciones a nivel regional que generan incertidumbre para los inversionistas [15].

La Resolución CREG 080 de 2018 estableció el marco regulatorio para la autogeneración a pequeña escala (hasta 1 MW) y la generación distribuida (entre 1 MW y 5 MW), definiendo los requisitos técnicos y procedimientos para la interconexión de sistemas fotovoltaicos con la red eléctrica [16]. Adicionalmente, el Decreto 2462 de 2018 eximió a los proyectos de fuentes no convencionales de energía renovable del requisito del Diagnóstico Ambiental de Alternativas, reduciendo tiempos y costos de tramitología [17]. Posteriormente, la Resolución CREG 101011 de 2022 actualizó y simplificó los lineamientos para la conexión de generación a pequeña escala [18].

El Programa Colombia Solar para Economías Populares, lanzado en 2025, ofrece subsidios de hasta el 60% del costo de instalación con tope de 20 millones de pesos colombianos para pequeños negocios y hogares de estratos socioeconómicos 1, 2 y 3 [19]. Este pro-

grama ha beneficiado a más de 2,000 familias que ahora generan su propia energía, con ahorros estimados en 1,800 millones de pesos anuales para los hogares beneficiados. Rangel et al. [20] documentan que las medidas de simplificación regulatoria han resultado en una reducción del 70% en los tiempos de aprobación para plantas solares de 10-100 MW, y que la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales aprobó un 57% más de licencias para proyectos renovables en el período reciente. No obstante, Vega-Araújo et al. [21] advierten sobre la volatilidad en las políticas de incentivos, evidenciada por la caída del 70% en inversiones renovables entre 2022 y 2023, atribuida a ajustes en los marcos de incentivos y condiciones macroeconómicas adversas.

4.3. Barreras y Desafíos para la Adopción Industrial

A pesar del entorno normativo favorable, múltiples estudios identifican barreras significativas que limitan la adopción masiva en el sector industrial colombiano, clasificadas en tres categorías: económicas, técnicas y regulatorias.

Barreras económicas: El alto costo de inversión inicial constituye la barrera más frecuentemente citada en la literatura revisada. Según el estudio de Emergente Energía Sostenible y la Universidad Nacional [22], la inversión requerida para proyectos industriales típicos oscila entre 16 y 80 millones de pesos colombianos, dependiendo de la escala y configuración del sistema. Para pequeñas y medianas empresas, este monto representa un desafío considerable en un contexto de acceso limitado a financiamiento especializado. SER Colombia [23] identifica la ausencia de instrumentos financieros específicos —como líneas de crédito preferenciales, garantías estatales o esquemas de financiamiento verde— como obstáculo crítico; las tasas de interés para créditos comerciales convencionales frecuentemente superan el 15% anual, reduciendo significativamente la viabilidad financiera de los proyectos. Por su parte [24] concluye en su evaluación técnico-económica que la estructura tarifaria eléctri-

ca en Colombia, aunque con subsidios cruzados para usuarios residenciales, presenta variaciones regionales significativas que afectan la rentabilidad de proyectos solares.

Barreras técnicas: Las limitaciones de infraestructura de transmisión representan un desafío estructural significativo. En [1] se señala que La Guajira, región con el mayor potencial solar del país (radiación superior a 4.5 kWh/m²/día), enfrenta restricciones severas de capacidad de transmisión que impiden el desarrollo de proyectos a gran escala. Aunque la línea eléctrica Colectora de 500 kV conectará aproximadamente 15 parques renovables con una capacidad de 2,323.9 MW, se requieren inversiones adicionales sustanciales en infraestructura de red para aprovechar plenamente el potencial solar del país. La intermitencia inherente a la generación solar constituye otro desafío técnico relevante. Para [25] analizaron las complementariedades anuales e interanuales de las fuentes renovables en Colombia, concluyendo que aunque el país presenta ventajas por su ubicación ecuatorial con radiación solar relativamente estable durante el año, la variación diurna requiere sistemas de respaldo o almacenamiento energético. Así mismo, [26] documentan que el desarrollo de tecnologías de almacenamiento con baterías se encuentra aún en etapas iniciales en Colombia, con pocos proyectos comerciales operativos.

Barreras regulatorias y de conocimiento: [27] documenta que la implementación práctica de la Resolución CREG 080 varía entre operadores de red regionales, generando demoras y costos adicionales. Múltiples autores reportan limitaciones en la disponibilidad de capital humano técnico especializado, especialmente en zonas rurales y ciudades intermedias [28].

4.4. Avances Tecnológicos y Evolución de Costos

La reducción dramática en los costos de tecnología solar fotovoltaica ha sido un factor determinante en su expansión global y en Colombia. Según datos de IRENA [3], el costo nivelado de electricidad (LCOE) de la

energía solar fotovoltaica a nivel global disminuyó de aproximadamente USD 0.381/kWh en 2010 a USD 0.044/kWh en 2023, representando una reducción superior al 88%. Las estadísticas de energías renovables de IRENA [29] documentan que esta tendencia se ha reflejado en el mercado colombiano, donde los módulos fotovoltaicos de 400W tienen un precio promedio de 550,000-650,000 pesos colombianos en 2025, considerablemente inferior a los niveles de hace una década.

Para [30] documentan que la eficiencia de conversión de módulos comerciales ha aumentado de aproximadamente 15-17% en tecnologías policristalinas a 20-22% en módulos monocristalinos de última generación. Tecnologías emergentes como células PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) y bifaciales están comenzando a penetrar el mercado colombiano, ofreciendo mejoras adicionales en rendimiento. Los inversores han evolucionado hacia sistemas inteligentes con capacidades de monitoreo en tiempo real, optimización de producción mediante algoritmos MPPT avanzados, y funcionalidades de gestión de red que facilitan la integración a gran escala. En términos de almacenamiento energético, aunque el desarrollo es incipiente en Colombia, los costos globales de baterías de ión-litio han disminuido aproximadamente un 90% desde 2010, haciendo que sistemas híbridos solar-almacenamiento sean cada vez más viables económicamente [31]. Celsia [4] reporta haber implementado el primer sistema BESS (Battery Energy Storage System) a gran escala integrado con generación solar en Colombia, representando un indicador del potencial de estas tecnologías para superar las limitaciones de intermitencia.

Los estudios revisados indican que los sistemas fotovoltaicos industriales en Colombia presentan factores de capacidad promedio de 18-22%, superiores a los observados en países de latitudes más altas [1]. La vida útil de los módulos se estima en 25-30 años con tasas de degradación inferiores al 0.5% anual, mientras que los inversores típicamente requieren reemplazo o mantenimiento mayor cada 10-15 años. El performan-

ce ratio de instalaciones bien diseñadas y mantenidas oscila entre 75-85%, reflejando pérdidas del sistema asociadas a temperatura, suciedad, sombreados y eficiencia de conversión [32].

4.5. Aplicaciones Industriales y Casos de Éxito

El sector industrial colombiano ha emergido como un actor relevante en la adopción de energía solar fotovoltaica, principalmente a través de modelos de autogeneración y contratos de compra de energía (PPA). Los documentos analizados identifican diversas empresas en sectores como alimentos y bebidas, manufactura, química y agroindustria que han implementado sistemas solares con resultados positivos. Según información de Celsia [4], una de las principales desarrolladoras de proyectos solares en Colombia, al menos 17 industrias se abastecen de energía proveniente de 11 granjas solares dedicadas. Entre las empresas identificadas se encuentran Postobón, Cargill, Colombina, Levapan, Solla, Amcor, Quimpac, Qbico, Comolsa, Arroz Diana y Grupo Familia, con implementaciones que abarcan tanto sistemas en sitio (on-site) como contratos PPA con granjas solares remotas. Adicionalmente, XM [5] reporta que 10 granjas solares inyectan energía al Sistema Interconectado Nacional, mientras que la plataforma C2Energía opera 20 granjas solares con una capacidad total de 355 MWp.

Los modelos de negocio identificados incluyen: (a) autogeneración con consumo total de la energía producida, reduciendo la dependencia de la red; (b) autogeneración con venta de excedentes a la red bajo el esquema de net-metering establecido por la Resolución CREG 080; (c) contratos PPA a largo plazo con desarrolladores especializados, que asumen la inversión, operación y mantenimiento del sistema vendiendo la energía a tarifa fija a la empresa industrial; y (d) modelos híbridos que combinan generación solar con almacenamiento energético para gestionar picos de demanda y mejorar la confiabilidad del suministro [33]. El análisis económico de Emergente Energía Sostenible [34] revela que los proyectos industriales presentan períodos de retorno de inversión promedio de

2.75 años, significativamente inferiores a los 4.8 años reportados para proyectos residenciales. Esta mayor rentabilidad se atribuye a economías de escala, mayores tarifas eléctricas en sectores comerciales e industriales, y mayor factor de utilización debido a perfiles de consumo diurnos que coinciden con la generación solar. De acuerdo [35] documenta que las tasas internas de retorno típicas oscilan entre 15% y 25%, dependiendo de la ubicación geográfica, tarifa eléctrica local y características específicas del proyecto.

La ubicación geográfica juega un papel determinante en la rentabilidad. Los análisis indican que regiones costeras como Santa Marta y Barranquilla presentan los mayores índices de rentabilidad debido a la combinación de alta radiación solar (superior a 5 kWh/m²/día) y tarifas eléctricas elevadas [1]. En contraste, regiones del interior con tarifas más bajas y menor radiación exhiben períodos de retorno mayores, aunque aún generalmente inferiores a 5 años. Más allá de los beneficios económicos directos, por su parte [36] reportan que las empresas obtienen beneficios adicionales como mejora en la percepción de marca asociada a sostenibilidad ambiental, reducción de la huella de carbono corporativa, mayor estabilidad y predictibilidad en costos energéticos mediante tarifas fijas en contratos PPA, y cumplimiento de objetivos de responsabilidad social empresarial y compromisos climáticos.

4.6. Proyecciones y Tendencias Futuras

Las proyecciones sobre la evolución futura de la energía solar fotovoltaica en Colombia son consistentemente optimistas, aunque con variaciones en las estimaciones cuantitativas según la fuente. Mordor Intelligence [7] proyecta que la capacidad instalada alcanzará 12.85 GW en 2029, mientras que Grand View Research [8] presenta estimaciones que oscilan entre 15-17 GW para 2030. La UPME [37] en su Plan Energético Nacional 2022-2052 reporta 13.5 GW de proyectos solares aprobados para el período 2023-2033, lo que representa casi 10 veces la capacidad instalada actual. Diversos autores advierten sobre la brecha

histórica entre proyectos aprobados y efectivamente construidos, atribuida a desafíos de financiamiento, limitaciones de infraestructura de transmisión y demoras en procesos de licenciamiento [38]. El gobierno nacional ha establecido una meta de alcanzar 30% de participación de energías renovables no convencionales en la matriz energética para 2030, en línea con compromisos internacionales de reducción de emisiones establecidos en la Ley 2169 de 2021 [25].

Varias tendencias tecnológicas y de mercado emergen del análisis: (a) expansión de sistemas híbridos que integran generación solar con almacenamiento energético para gestionar intermitencia y proporcionar servicios auxiliares a la red; (b) crecimiento de modelos de negocio innovadores como contratos PPA corporativos, arrendamiento de techos y esquemas comunitarios de generación distribuida; (c) mayor digitalización mediante plataformas de monitoreo avanzado, mantenimiento predictivo basado en inteligencia artificial y gestión optimizada de activos; (d) desarrollo del concepto de comunidades energéticas que permiten a grupos de usuarios compartir infraestructura de generación y obtener beneficios colectivos [26]. El Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 enfatiza la democratización energética con un objetivo de crear 20,000 comunidades energéticas para 2026 [13]. Atlas Renewable Energy [29] proyecta para Colombia una aceleración en la adopción de energía renovable impulsada por la reducción de costos y el fortalecimiento normativo durante 2025.

Análisis comparativos internacionales sobre diseño de subastas renovables [27], [28] sugieren que Colombia podría beneficiarse de ajustes en sus mecanismos de promoción para mejorar las tasas de materialización de proyectos. La experiencia documentada en Brasil indica que los países en desarrollo pueden enfrentar tasas de materialización de proyectos del 60-70%, con demoras atribuidas a limitaciones de financiamiento e infraestructura [39]. El análisis de la IEA [34] sobre la revisión de política energética de Colombia señala la necesidad de fortalecer los marcos regulatorios para garantizar estabilidad a largo plazo

que atraiga inversión privada sostenida. El informe del Banco Mundial [39] sobre la transición energética en Colombia enfatiza la importancia de considerar aspectos de equidad y justicia social en este proceso de transformación del sector energético.

5. CONCLUSIÓN

El análisis sistemático de 52 documentos científicos y técnicos sobre energía solar fotovoltaica en la industria colombiana durante el período 2020-2025 revela una transformación acelerada del sector energético nacional, caracterizada por un crecimiento exponencial de capacidad instalada, fortalecimiento del marco normativo, reducción de costos tecnológicos y creciente participación del sector industrial en esquemas de autogeneración.

El incremento de capacidad instalada de 200 MW a 1,594 MW (700% en cinco años) posiciona a Colombia como uno de los mercados solares de más rápido crecimiento en América Latina. Este desarrollo ha sido impulsado fundamentalmente por políticas públicas favorables, particularmente la Ley 1715 de 2014 y sus modificaciones en la Ley 2099 de 2021, así como por la dramática reducción global en costos de tecnología solar documentada por IRENA [3]. La energía solar se ha consolidado como la principal fuente de expansión del Sistema Interconectado Nacional, representando el 87.8% de la nueva capacidad instalada en 2025.

El sector industrial emerge como actor clave en esta transición, con casos documentados de implementación exitosa en empresas de alimentos, manufactura, química y agroindustria. Los períodos de retorno de inversión promedio de 2.75 años y tasas internas de retorno del 15-25% demuestran la viabilidad económica de proyectos industriales, particularmente en regiones con alta radiación solar y tarifas eléctricas elevadas. Los modelos de negocio identificados incluyen autogeneración, contratos PPA y esquemas híbridos con almacenamiento, ofreciendo flexibilidad para

diferentes perfiles empresariales.

No obstante, estos avances, persisten barreras significativas que limitan la adopción masiva. Las barreras económicas, principalmente el alto costo inicial de inversión y el acceso limitado a financiamiento especializado, constituyen el obstáculo más frecuentemente citado. Las barreras técnicas relacionadas con limitaciones de infraestructura de transmisión en zonas de alto potencial solar y la intermitencia de generación requieren inversiones complementarias sustanciales en redes y sistemas de almacenamiento. Las barreras regulatorias, aunque atenuadas por reformas recientes documentadas por Rangel et al. [36], persisten en forma de complejidades en procesos de conexión a red y variabilidad en la implementación regional de normativas.

El análisis de proyecciones sugiere que Colombia tiene potencial para alcanzar entre 12.85 y 19.80 GW de capacidad solar instalada para 2030, lo que implicaría multiplicar por 8-12 veces los niveles actuales. Sin embargo, la materialización de estas proyecciones dependerá críticamente de: (a) mantener la estabilidad y predictibilidad del marco regulatorio e incentivos fiscales; (b) desarrollar instrumentos financieros especializados que faciliten el acceso a capital; (c) ejecutar inversiones significativas en infraestructura de transmisión; (d) avanzar en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento energético; y (e) fortalecer las capacidades técnicas del sector mediante programas de formación y certificación de personal especializado.

6. REFERENCIAS

- [1] A. R. López, A. Krumm, L. Schattenhofer, T. Burandt, F. C. Montoya, N. Oberländer, and P. Y. Oei, "Solar PV generation in Colombia - A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market," *Renewable Energy*, vol. 148, pp. 1266-1279, 2020. Doi:[10.1016/j.renene.2019.10.066](https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.066)
- [2] F. Henao and I. Dyner, "Renewables in the optimal expansion of Colombian power considering the Hidroituango crisis," *Renewable Energy*, vol. 158, pp. 612-627, 2020. Doi: [10.1016/j.renene.2020.05.055](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.055)
- [3] V. Martínez and O. L. Castillo, "Sustainability assessment of the solar energy supply chain in Colombia," *Energy*, vol. 235, p. 121350, 2023. Doi: [10.1016/j.energy.2021.121350](https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121350)
- [4] G. R. Jiménez Osorio and C. M. Giraldo López, "Situación actual de la industria de la energía fotovoltaica en Colombia," *Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia*, 2021.
- [5] República de Colombia, "Ley 1715 de 2014 - Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional," *Congreso de la República*, 2014.
- [6] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Resolución 080 de 2018 - Por la cual se establece el marco regulatorio aplicable a la actividad de autogeneración a pequeña escala y a la generación distribuida," *CREG*, 2018.
- [7] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), "Plan Energético Nacional 2022-2052," *UPME*, 2023.
- [8] Celsia, "Informe de inversiones y desarrollo de proyectos solares en Colombia 2024-2025," *Cel-*

- sia S.A. E.S.P., 2025.
- [9] M. L. García, “Evaluación técnico-económica de sistemas fotovoltaicos para autogeneración en el sector industrial colombiano,” Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2023.
- [10] XM S.A. E.S.P., “Balance anual de capacidad instalada y generación - Sistema Interconectado Nacional 2025,” XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P., 2026.
- [11] G. C. Guerrero Liquez, E. Lora, and J. C. Palacio, “Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 131-141, 2018. Doi: [10.1016/j.rser.2018.03.069](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.069)
- [12] Mordor Intelligence, “Análisis del tamaño y participación del mercado de energía solar en Colombia - Informe de investigación de la industria 2024-2029,” Mordor Intelligence LLP, 2024.
- [13] Grand View Research, “Colombia Solar Energy Systems Market Size & Outlook, 2030,” *Horizon Databook*, 2025.
- [14] M. Castaño-Gómez and J. J. García-Rendón, “Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia,” *Lecturas de Economía*, no. 93, pp. 23-64, 2020. Doi [10.17533/udea.le.n93a338727](https://doi.org/10.17533/udea.le.n93a338727)
- [15] Ministerio de Minas y Energía, “Programa Colombia Solar para Economías Populares - Informe de Avance 2024-2025,” MinEnergía, 2025.
- [16] J. Vega-Araújo, M. Muñoz Cabré, and M. Gil, “Energía solar, eólica y comunidades energéticas en Colombia: Panorama 2025,” *Stockholm Environment Institute*, 2025. Doi: [10.51414/sei2025.019](https://doi.org/10.51414/sei2025.019)
- [17] Emergente Energía Sostenible and Universidad Nacional de Colombia, “Proyectos de Energía Solar en techos en Colombia: Oportunidades y Desafíos en el Financiamiento,” Bogotá, Colombia, 2024.
- [18] SER Colombia, “Generación Solar Distribuida en Colombia - Análisis de alternativas de financiamiento,” Asociación de Energías Renovables de Colombia, 2021.
- [19] D. Parra, M. Swierczynski, D. I. Stroe, S. A. Norman, A. Abdon, J. Worlitschek, and H. Lenos, “An interdisciplinary review of energy storage for communities: Challenges and perspectives,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 79, pp. 730-749, 2019. Doi: [10.1016/j.rser.2017.05.003](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.003)
- [20] C. A. Rodríguez, “Análisis de barreras regulatorias y técnicas para la implementación de energía solar en zonas no interconectadas de Colombia,” Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, 2022.
- [21] J. Quintero, L. Saldarriaga, and D. Patino, “Solar irradiance and generation data for Colombia: A case study,” *Solar Energy*, vol. 231, pp. 895-904, 2022. Doi: [10.1016/j.solener.2021.11.078](https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.11.078)
- [22] P. García-García, M. Carpintero-Rentería, and T. Morales-Pinzón, “Environmental and economic assessment of photovoltaic systems under a Near-zero energy building approach: A Colombian case study,” *Applied Energy*, vol. 305, p. 117852, 2021. Doi: [10.1016/j.apenergy.2021.117852](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117852)
- [23] M. Castaneda, S. Zapata, J. Cherni, A. J. Aristizabal, and I. Dynner, “Feasibility analysis for the integration of solar photovoltaic technology to the Colombian residential sector through system dynamics modeling,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 2621-2636, 2022. Doi: [10.1016/j.egy.2022.01.172](https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.172)
- [24] International Renewable Energy Agency (IRENA), “Renewable Power Generation Costs in 2023,” IRENA, 2023.

- [25] República de Colombia, “Ley 2169 de 2021,” Congreso de la República, 2021.
- [26] L. Davies and D. Saygin, “Distributed renewable energy in Colombia: Unlocking private investment for non-interconnected zones,” OECD Environment Working Papers, no. 213, 2023. Doi: [10.1787/deda64ff-en](https://doi.org/10.1787/deda64ff-en)
- [27] V. Anatolitis, A. Azanbayev, and A. K. Fleck, “How to design efficient renewable energy auctions? Empirical insights from Europe,” Energy Policy, vol. 166, p. 113009, 2022. Doi: [10.1016/j.enpol.2022.113009](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113009)
- [28] P. Del Río and C. P. Kiefer, “Analyzing the factors that influence the contractual relationship in renewable energy auctions,” Energy Policy, vol. 178, p. 113576, 2023. Doi: [10.1016/j.enpol.2023.113576](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113576)
- [29] Atlas Renewable Energy, “Perspectivas y tendencias del panorama energético colombiano 2025,” Atlas Renewable Energy, 2025.
- [30] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), “Resolución 101011 de 2022 - Lineamientos para la conexión de generación a pequeña escala,” CREG, 2022.
- [31] B. A. Diniz, A. Szklo, M. T. Tolmasquim, and R. Schaeffer, “Delays in the construction of power plants from electricity auctions in Brazil,” Energy Policy, vol. 175, p. 113479, 2023. Doi: [10.1016/j.enpol.2023.113479](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113479)
- [32] C. J. Franco, S. Zapata, and I. Dyner, “Simulation for assessing the liberalization of non-conventional renewable energy resources in Colombia,” Renewable Energy, vol. 162, pp. 1530-1542, 2020. Doi: [10.1016/j.renene.2020.07.013](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.013)
- [33] F. Henao, J. P. Viteri, Y. Rodríguez, J. Gómez, and I. Dyner, “Annual and interannual complementarities of renewable energy sources in Colombia,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 134, p. 110318, 2021. Doi: [10.1016/j.rser.2020.110318](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110318)
- [34] International Energy Agency (IEA), “Energy Policy Review: Colombia 2023,” IEA, 2023. Doi: [10.1787/2fa812fe-en](https://doi.org/10.1787/2fa812fe-en)
- [35] International Renewable Energy Agency (IRENA), “Renewable Energy Statistics 2024,” IRENA, 2024.
- [36] R. Rangel, A. Arango-Manrique, L. Corredor, and M. Sanjuan, “Assessment of Colombian renewable energy auctions policy: Enabler or barrier for concentrating solar power plants,” Energy Policy, vol. 193, p. 114300, 2024. Doi: [10.1016/j.enpol.2024.114300](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114300)
- [37] República de Colombia, “Decreto 2462 de 2018 - Por el cual se eximen del requisito de presentar el DAA los proyectos de generación a partir de fuentes no convencionales de energía renovable,” Presidencia de la República, 2018.
- [38] República de Colombia, “Ley 2099 de 2021 - Por medio de la cual se modifica la Ley 1715 de 2014 (Ley de Transición Energética),” Congreso de la República, 2021.
- [39] World Bank, “Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP): Colombia Energy Transition Report,” The World Bank Group, 2023.