

**Energía solar fotovoltaica en Colombia: panorama y perspectivas bajo la triple cuenta de
resultados**

Laura Valentina Rodríguez Muñoz

Trabajo de Grado Presentado como Requisito Parcial para el Título de:

Ingeniera Electricista

Directores:

Joseph Sosapanta Salas, MSc

Juan Velásquez Gómez, MSc

Línea de Investigación:

Energías renovables y sistemas eléctricos

Institución Universitaria Pascual Bravo

Facultad de Ingeniería, 2024

Resumen

Este documento presenta el formato propuesto para la elaboración del trabajo de grado, enfocándose en cómo estructurar y organizar ecuaciones, tablas, figuras y referencias bibliográficas, entre otros aspectos. El resumen, con un máximo de 150 palabras, debe ser claro y conciso, resaltando lo que se hizo, el método empleado, los resultados principales y su relevancia. Se recomienda evitar el uso de fórmulas, símbolos o citas en esta sección. Además, tanto el resumen como las palabras clave deben redactarse al finalizar el documento para garantizar una visión completa del contenido presentado.

Palabras clave: energía solar, fuentes no convencionales de energía renovable, medio ambiente, sostenibilidad, triple cuenta de resultados.

Abstract

This document presents the proposed format for the preparation of the thesis, with particular attention to the structuring and organization of equations, tables, figures, and bibliographical references, among other aspects. The abstract, comprising a maximum of 150 words, should be clear and concise, highlighting the methodology employed, the principal findings, and their significance. It is advisable to refrain from including formulas, symbols, or quotations in this section. Furthermore, both the abstract and keywords should be presented at the end of the paper, ensuring a comprehensive overview of the content.

Keywords: solar energy, non-conventional sources of renewable energy, environment, sustainability, triple bottom line.

Tabla de Contenido

Resumen	2
Abstract	2
Tabla de Contenido	3
Lista de ilustraciones	4
Lista de tablas	4
Introducción	5
Revisión de la literatura	7
Planteamiento del problema	8
Justificación	10
Objetivos	11
Objetivo general:	11
Objetivos específicos:	11
Metodología	12
Marco teórico	13
Comparación contexto mundial	19
Marco legal energía solar en Colombia	24
Conclusiones	42
Referencias bibliográficas	43

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Matriz Energética mundial 2022	16
Ilustración 2. Evolución de la energía solar	16
Ilustración 3. Partes de un panel solar	17
Ilustración 4. <i>Capacidad instalada en Gw (2000-2022)</i>	18
Ilustración 5. <i>Empresas fabricantes de paneles solares</i>	19
Ilustración 6. Capacidad instalada energía solar Gw (2000-2022)	20
Ilustración 8. <i>Panorama energía solar Colombia</i>	22
Ilustración 9. <i>Curva energía promedio generada (2023)</i>	23
Ilustración 10. Panorama a futuro energía solar Colombia	24
Ilustración 11. Triple cuenta de resultados	26
Ilustración 12. <i>Objetivos de desarrollo disponible</i>	28
Ilustración 13. <i>Cumbres climáticas</i>	30
Ilustración 14 Resumen del acuerdo de paris	31
Ilustración 15. <i>Costos de instalación 2010-2022.</i>	39

Lista de tablas

Tabla 1. Plantas solares en operación (2023).	23
--	----

Introducción

Las emisiones globales de CO₂ alcanzarán nuevos máximos en 2024 debido a los esfuerzos insuficientes en el desarrollo de energías renovables dentro de los planes de recuperación económica post-pandemia (Minds, 2021). Esta tendencia es especialmente preocupante en los países en desarrollo y emergentes, donde el incremento en la demanda eléctrica se está satisfaciendo principalmente con carbón, en lugar de energías solares y eólicas (Minds, 2021). Aunque algunas presiones inmediatas de la crisis energética mundial han disminuido, los mercados energéticos, la geopolítica y la economía global siguen siendo inestables, con el riesgo constante de mayores perturbaciones. Los precios de los combustibles fósiles han bajado desde sus picos de 2022, pero los mercados permanecen tensos y volátiles, en un contexto macroeconómico marcado por inflación persistente, costos de endeudamiento más altos y elevados niveles de deuda.

La temperatura media global ya está por encima de los niveles preindustriales, lo que provoca olas de calor y fenómenos meteorológicos extremos. Aún no se ha alcanzado el pico de emisiones de gases de efecto invernadero, y el sector energético sigue siendo la principal causa de contaminación del aire, afectando a más del 90% de la población mundial y vinculándose a muertes prematuras cada año. Además, las mejoras en el acceso a la electricidad y la cocción limpia se han desacelerado o revertido en varios países (IEA, 2023).

Para mitigar estos desafíos, se propone triplicar la capacidad de energías renovables, duplicar la tasa de mejora en eficiencia energética al 4% anual, aumentar la electrificación y reducir las emisiones de metano en las operaciones de combustibles fósiles. Estas acciones en conjunto cubrirían más del 80% de las reducciones de emisiones necesarias para el 2030 y encaminarían al sector energético (IEA, 2023).

El Capítulo 1 presenta los antecedentes y el desarrollo de la energía solar, con un enfoque en su situación y perspectivas en Colombia, aprovechando las condiciones climáticas y geológicas favorables. También se compara su avance a nivel mundial y en Latinoamérica con su desarrollo en Colombia, destacando el marco legal aplicable.

El Capítulo 2 explora la triple cuenta de resultados desde una perspectiva conceptual, abordando los objetivos ambientales, sociales y económicos, y su relación con la energía solar, así como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados.

El Capítulo 3 analiza la dimensión ambiental, considerando protocolos y acuerdos internacionales, impactos de la energía solar y mecanismos de certificación ambiental.

El Capítulo 4 se centra en la dimensión social, evaluando los efectos sociales de la energía solar y el impacto del proyecto solar Guayepo I&II en Ponedera y Sabanalarga, que se encuentra al 60% de su construcción, desarrollado por Enel Colombia.

El Capítulo 5 examina la dimensión económica, abordando la evolución de los costos de la energía solar en la última década, los incentivos tributarios de las leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021, y las subastas de energía de 2021. También se discuten estrategias para fomentar el desarrollo de proyectos solares en Colombia, concluyendo la monografía con un análisis exhaustivo.

Revisión de la literatura

En el campo de la energía sostenible y la integración de la triple cuenta de resultados, destacan las contribuciones de varios autores influyentes. Jeremy Rifkin, reconocido por su enfoque en la economía del hidrógeno y la energía renovable, sostiene en su obra "La tercera revolución industrial" que la energía solar puede ser un motor clave en la transición hacia una sociedad más sostenible (Industrial, 2012). Amory Lovins, cofundador del Instituto Rocky Mountain, ha sido pionero en la promoción de soluciones energéticas integrales, abogando por la eficiencia energética y el uso de energías renovables en su libro "Reinventing Fire" (Lovins, 2011).

Hermann Scheer, político y defensor de las energías renovables, ha hecho importantes contribuciones al debate sobre energía solar y sostenibilidad, subrayando en su obra "Energía solar para un futuro sostenible" la necesidad de una transición hacia fuentes renovables para enfrentar los retos ambientales y económicos (Hermann Scheer, 2010). Daniel M. Kammen, profesor de energía en la Universidad de California, Berkeley, ha investigado políticas energéticas y tecnologías renovables, analizando cómo la integración de energía solar y otras fuentes sostenibles puede fomentar la sostenibilidad económica y social (Kammen, s.f.).

Por último, el físico brasileño José Goldemberg, reconocido por su trabajo en energía y medio ambiente, ha jugado un papel clave en la formulación de políticas ambientales y la promoción de la investigación en energía limpia y sostenibilidad, habiendo sido ministro de Medio Ambiente de Brasil y rector de la Universidad de Sao Paulo.

Planteamiento del problema

Según el enfoque de la triple cuenta de resultados (3BL), los beneficios siguen siendo esenciales, pero no deben obtenerse a expensas de las preocupaciones medioambientales y sociales. Además, las empresas son más propensas a adoptar prácticas sostenibles si tienen la certeza de que sus beneficios no se verán comprometidos en el proceso.

Una de las principales preocupaciones en torno a las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR) es que se perciben como una opción costosa frente a los combustibles fósiles. Para los grandes consumidores de energía, cuya electricidad representa una gran proporción de sus costos fijos, esto crea una barrera significativa para la transición (ENERGY, 2022).

Actualmente, la energía solar representa solo el 2% de la matriz energética del país, lo que refleja la dependencia de Colombia en fuentes de energía convencionales, pero también la gran oportunidad de crecimiento en FNCR (LARA, 2023). En 2022, de los 76.905 GWh generados, solo 502,60 GWh correspondieron a energía solar, representando apenas el 0,6%. El objetivo para 2023 es que las FNCR cubran el 10% de la demanda final de energía, como lo estipulan la Resolución 40715 de 2019 y la Resolución 40060 de 2021 del Ministerio de Minas y Energía. Sin embargo, el desarrollo de estos proyectos enfrenta desafíos logísticos, como retrasos en los proyectos adjudicados en la subasta de 2019, debido a licencias ambientales y consultas previas con las comunidades. Estos factores han pospuesto la operación de los proyectos hasta 2023 (económicas, 2023).

El gobierno debe diseñar mecanismos que agilicen los trámites necesarios para estos proyectos. La futura dirección de la política energética debe priorizar este reto, estableciendo espacios de diálogo efectivos que garanticen los acuerdos con las comunidades y un proceso de

licenciamiento ambiental más eficiente. La falta de una ley clara de consultas previas genera incertidumbre, afectando la realización de nuevos proyectos (Corficolombiana, 2022).

La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) estima que los recursos solar y eólico crecerán significativamente, pasando de una participación actual del 2,3% a un 18% entre 2035 y 2037 (UPME, 2023).

Desde una perspectiva ambiental y social, los proyectos de generación solar fotovoltaica tienen un impacto positivo significativo. Por cada MW/año producido, se evita la emisión de 0,7 toneladas de CO₂, lo que contribuye a la lucha contra el cambio climático (Velasco Muñoz & Salazar Calvache, 2019). Además, esta tecnología permite llevar energía a zonas aisladas donde la instalación de sistemas de generación convencionales es inviable (Línea Herrera, 2021).

En el ámbito económico, la Ley 1715 de 2014 promueve el desarrollo de energías renovables, incentivando el crecimiento económico sostenible, reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero y generando nuevas oportunidades en regiones con déficit energético. Los interesados en adquirir celdas fotovoltaicas pueden beneficiarse de una reducción de hasta el 50% en el impuesto de renta durante los cinco años posteriores a la inversión (UPME, 2016).

Proyectos como el Parque Solar Guayepo I&II también traen beneficios económicos para las comunidades locales. Con una inversión de más de 290 millones de dólares y una capacidad de generación de alrededor de 1.030 GWh/año, este parque puede satisfacer las necesidades de unos 770.000 habitantes (ENEL, 2023).

En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el panorama y las perspectivas de la energía solar en Colombia bajo el enfoque de la triple cuenta de resultados?

Justificación

La urgencia de abordar los desafíos ambientales, sociales y económicos en el sector energético colombiano es indiscutible. En este contexto, la creación de un instrumento que integre las estrategias de las dimensiones de la triple cuenta de resultados se perfila como un paso clave hacia una mayor sostenibilidad y eficiencia en la toma de decisiones.

Colombia ha experimentado un aumento significativo en el uso de energía solar, alcanzando los 1,12 GW en 2023, con una proyección de llegar a 2,01 GW para 2032 y una tasa de crecimiento anual del 6,7% (EMR, 2023). Este crecimiento se ve impulsado por la necesidad de diversificar la matriz energética, reducir la dependencia de combustibles fósiles, así como por los avances tecnológicos y políticas favorables. La radiación solar en Colombia, que es un 60% superior al promedio mundial (Semana, 2021), subraya su enorme potencial. Según la UPME y el Ministerio de Minas y Energía, para 2030 se espera que el 10% del consumo energético del país provenga de fuentes fotovoltaicas.

Sin embargo, a pesar de este potencial, la energía solar aún no ha sido plenamente aprovechada debido a limitaciones en la planificación y ejecución, relacionadas con marcos legales y las dimensiones sociales, ambientales y económicas. La energía solar presenta importantes ventajas frente a otras fuentes, como la hidráulica, destacándose por sus costos más bajos y una mayor competitividad en precios, además de los beneficios sociales y ambientales que ofrece. Este proyecto proporciona una visión integral del panorama de la energía solar en Colombia en 2023, resumiendo la legislación vigente, los mecanismos de financiación y la regulación de los impactos sociales y ambientales, todo ello bajo el enfoque de la triple cuenta de resultados.

Objetivos

Objetivo general:

- Analizar el panorama de la energía solar en Colombia bajo el enfoque de la triple cuenta de resultados.

Objetivos específicos:

- Analizar el panorama actual de los proyectos de energía solar en Colombia en el contexto latinoamericano.
- Determinar los factores que afectan el desarrollo de proyectos solares en Colombia en las dimensiones de la triple cuenta de resultados: ambiental, social y económica.
- Desarrollar estrategias para incentivar la implementación de proyectos de energía solar en Colombia a partir de la triple cuenta de resultados.

Metodología

Este proyecto se desarrolla mediante una metodología que se basa en la exploración de diversas fuentes de información relacionadas con el panorama de la energía solar en Colombia. A lo largo del desarrollo, se presenta información relevante que permite contextualizar la situación actual de la energía solar en el país, identificando los factores que afectan el desarrollo de estos proyectos. De esta manera, se responde a los dos primeros objetivos específicos previamente mencionados.

Además, se implementa el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), una herramienta ampliamente utilizada para la solución de problemas, control y mejora de procesos. Este ciclo facilita la definición de acciones y la promoción de cambios necesarios según la problemática identificada. Con ello, se da respuesta al último objetivo específico, definiendo estrategias que incentiven la implementación de proyectos de energía solar en Colombia, bajo el enfoque de la triple cuenta de resultados: ambiental, social y económica. El objetivo final es mejorar los procesos en proyectos que son viables y estratégicos para el desarrollo sostenible del país.

Marco teórico

La energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una solución clave en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles. Este tipo de energía convierte la luz solar en electricidad mediante células fotovoltaicas, ofreciendo una alternativa limpia y renovable a los combustibles fósiles. La creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de diversificar la matriz energética han impulsado su adopción tanto a nivel global como en Colombia.

Colombia cuenta con un gran potencial para la energía solar fotovoltaica, con una radiación solar promedio de 4.5 kWh/m²/día, superando el promedio mundial de 3.9 kWh/m²/día (FISE, 2019). Las regiones con mayor irradiación incluyen la costa Atlántica, la costa Pacífica, la Orinoquía y la Región Central (Semana, 2021), lo que favorece el desarrollo de proyectos solares en el país.

En 2023, el mercado de energía solar en Colombia alcanzó aproximadamente 1,12 GW, y se espera que crezca a una tasa compuesta anual del 6,7% entre 2024 y 2032, alcanzando los 2,01 GW para 2032 (EMR, 2023). Este crecimiento responde a la necesidad de diversificación energética, la reducción en la dependencia de los combustibles fósiles, y los avances tecnológicos junto con políticas de apoyo a las energías renovables.

El enfoque de la triple cuenta de resultados evalúa el desempeño de los proyectos bajo tres dimensiones: ambiental, social y económica, proporcionando una perspectiva integral para medir la sostenibilidad y el impacto de la energía solar fotovoltaica.

Energía solar

La energía solar ha experimentado un crecimiento constante en los últimos años, impulsada por la disminución de costos, los avances tecnológicos y políticas de apoyo. Se ha vuelto más competitiva en comparación con fuentes convencionales de energía, y su adopción, tanto a nivel residencial como comercial, ha aumentado significativamente.

Este capítulo presenta los antecedentes y generalidades relacionadas con la energía solar, su evolución y cómo se ha convertido en una de las energías más eficientes y limpias debido a sus bajas emisiones de carbono. También se analiza el panorama de desarrollo de la energía solar en Colombia, con una proyección hacia el período 2023-2035, además del marco regulatorio vigente.

La energía solar se ha posicionado como una respuesta esencial a las necesidades energéticas actuales, en un mundo preocupado por el cambio climático y la reducción de emisiones de carbono. Aprovechando la abundante energía solar, se reduce la dependencia de combustibles fósiles, contribuyendo a mitigar el cambio climático y sus efectos.

Además de su impacto ambiental positivo, la energía solar ofrece ventajas prácticas, como la independencia energética al generar electricidad localmente. Esto disminuye la vulnerabilidad de las redes eléctricas centralizadas ante interrupciones, especialmente en áreas remotas o países en desarrollo con infraestructuras eléctricas limitadas o poco fiables.

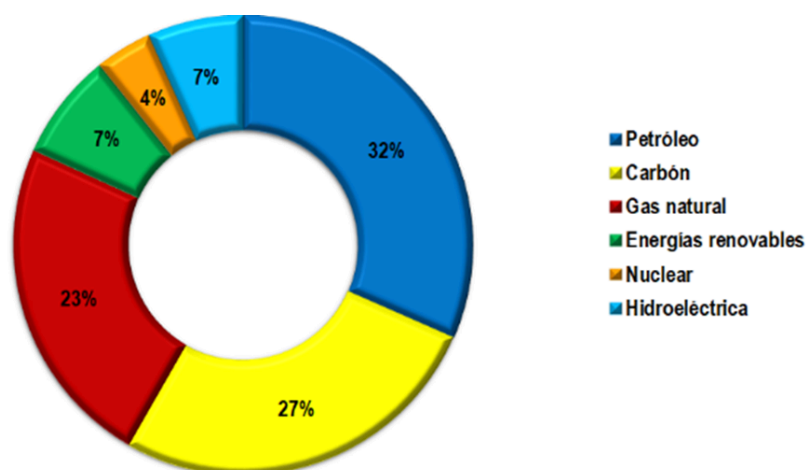
Antecedentes y generalidades

Las energías renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y la biomasa, son fuentes que se regeneran naturalmente y son prácticamente inagotables en escalas humanas de tiempo. Estas energías son sostenibles a largo plazo y ayudan a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, con un impacto ambiental considerablemente menor, ya que no emiten gases de efecto invernadero ni contaminantes. Además, promueven la seguridad energética, la creación de empleo en sectores emergentes y la diversificación de la matriz energética.

En contraposición, las energías no renovables, como el petróleo, gas natural, carbón y energía nuclear, son finitas y no se regeneran en tiempos humanos. Su uso conlleva impactos ambientales significativos, como la emisión de gases de efecto invernadero, contaminación del aire y agua, y riesgos asociados con su extracción y transporte. La dependencia de estas fuentes plantea desafíos relacionados con la seguridad energética, la volatilidad de precios y los riesgos para la salud y el medio ambiente.

En 2022, la matriz energética mundial continuó reflejando una predominancia de los combustibles fósiles. El petróleo lideró con un 32% de participación, seguido por el carbón con un 27% y el gas natural con un 23%. Las energías renovables y la hidroeléctrica compartieron un 7% cada una, mientras que la energía nuclear representó el 4%. Aunque las energías renovables y la hidroeléctrica han mostrado un crecimiento leve, los combustibles fósiles siguen dominando la matriz energética global.

Ilustración 1. *Matriz Energética mundial 2022*



Fuente: adaptado de energy institute (2023)

La evolución de la energía solar ha estado marcada por hitos importantes a lo largo de la historia. Desde las primeras referencias en la antigua Grecia hasta los avances tecnológicos recientes, como las células solares de perovskitas, el progreso hacia una energía más eficiente ha sido constante. Estas células solares son los componentes clave en la conversión de la energía solar en electricidad. En la ilustración 2, se muestra parte de la evolución de las tecnologías utilizadas en la energía solar.

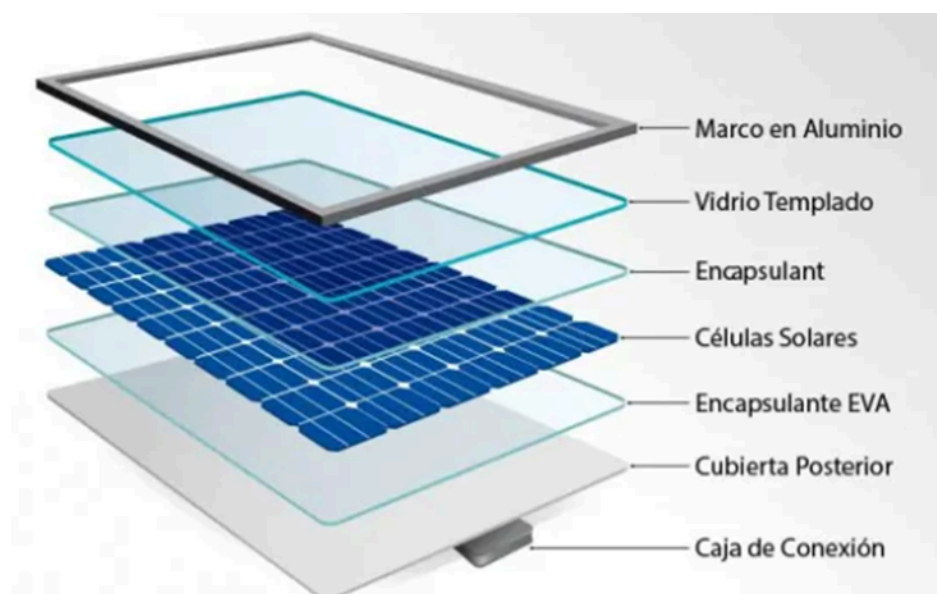
Ilustración 2. *Evolución de la energía solar*





A lo largo del siglo XX, se probaron diversos modelos y prototipos de paneles solares. Estos esfuerzos culminaron en un diseño que ofrecía la mejor relación entre costo y beneficio, convirtiéndose en el estándar que hoy en día se utiliza ampliamente. En la ilustración, se presenta una muestra de esta evolución tecnológica, destacando las mejoras que han permitido a los paneles solares ser más eficientes y accesibles.

Ilustración 3. *Partes de un panel solar*



Fuente: greening Smart energy (2021)

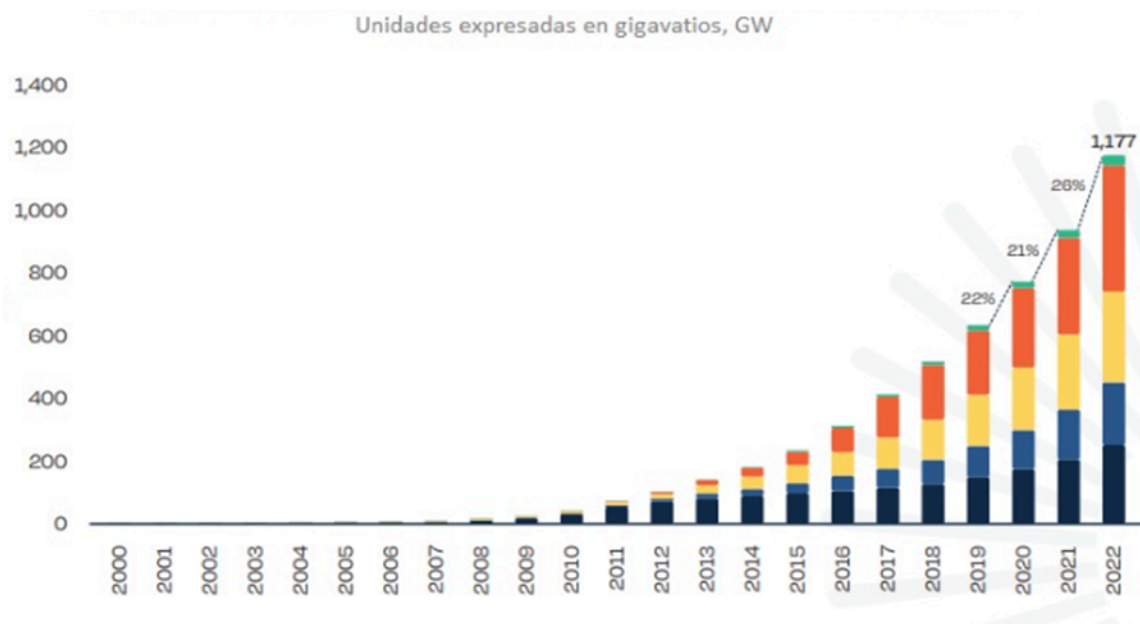
El principio de funcionamiento de los paneles solares se basa en el aprovechamiento del efecto fotovoltaico, que permite convertir la energía solar en electricidad utilizable. Este

fenómeno ocurre en materiales semiconductores, como el silicio, que generan corriente eléctrica cuando son expuestos a la luz solar.

Cuando los fotones de luz inciden sobre la celda solar, compuesta principalmente de silicio, son absorbidos por los átomos del semiconductor. Este proceso excita los electrones, liberándolos de sus átomos y creando pares de electrones y huecos (cargas positivas). La estructura interna de la celda solar dirige los electrones hacia la zona de carga negativa (N) y los huecos hacia la zona de carga positiva (P), generando un campo eléctrico que provoca una diferencia de potencial entre ambas regiones.

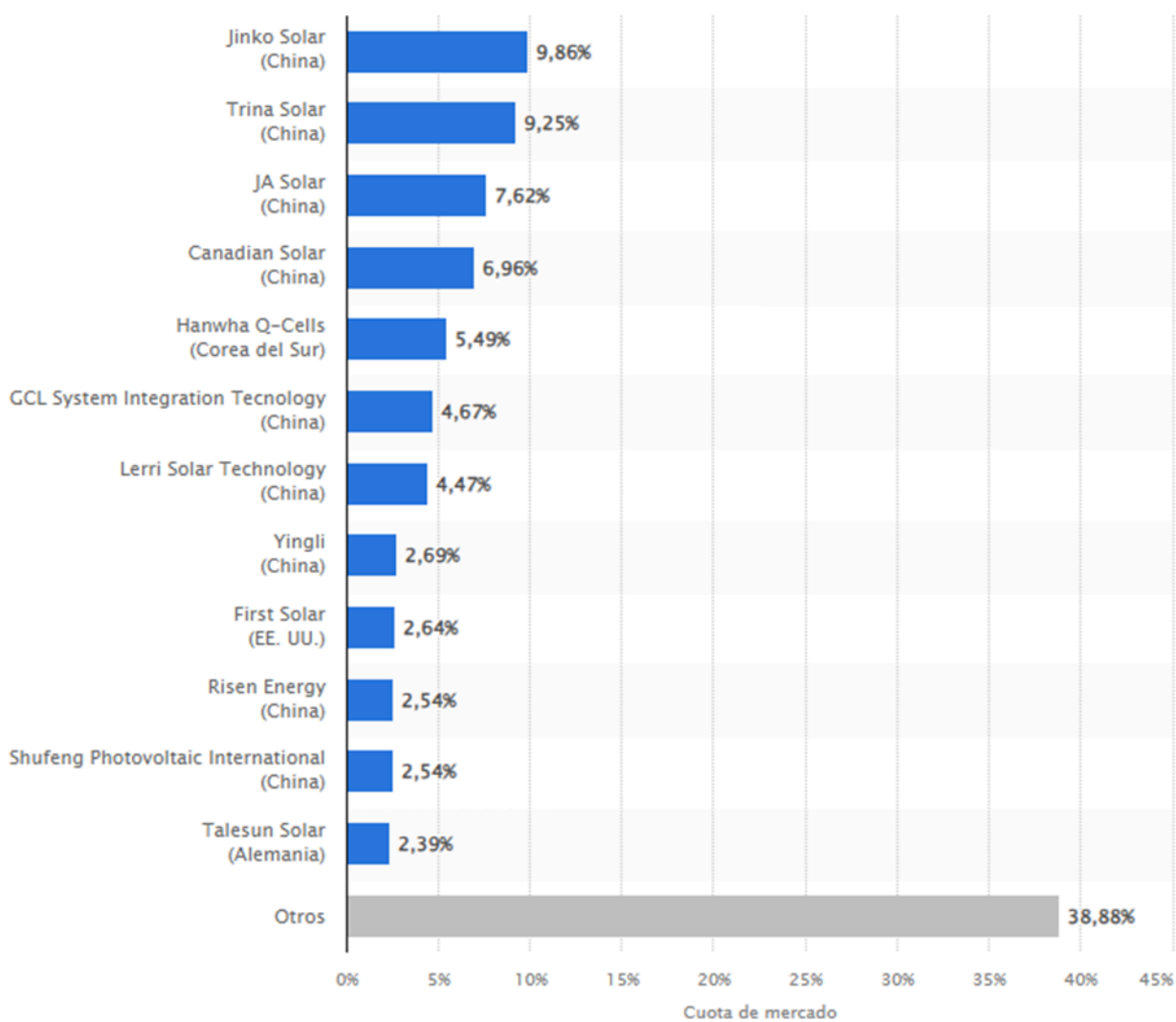
Al conectar un circuito eléctrico externo, los electrones fluyen a través de él para llenar los huecos, produciendo una corriente eléctrica que puede ser utilizada o almacenada. Así, el efecto fotovoltaico convierte la luz solar directamente en energía eléctrica utilizable mediante los paneles solares (POLARIDAD, s.f.).

Ilustración 4. *Capacidad instalada en Gw (2000-2022)*



Fuente: renewable energy magazine

Ilustración 5. *Empresas fabricantes de paneles solares*

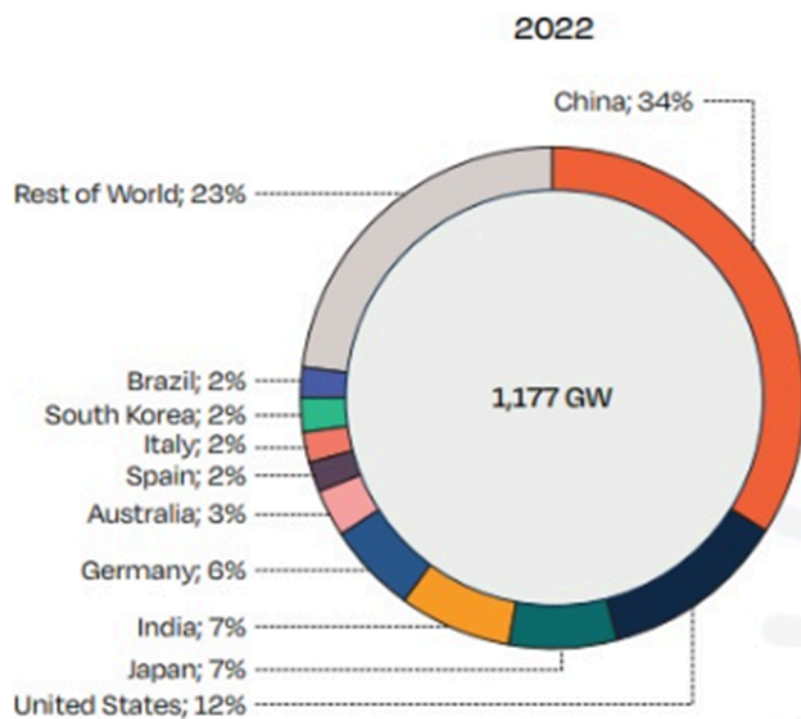


Fuente: statista (2020)

Comparación contexto mundial

La ilustración 5 muestra una comparación de la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en los principales países a nivel mundial y en América Latina. A nivel global, los líderes en esta tecnología incluyen a China, Estados Unidos, Brasil, India, junto con países europeos como Alemania y España. Sin embargo, a pesar del notable avance en la capacidad fotovoltaica, la mayor parte de la demanda energética en estos países continúa siendo cubierta por fuentes no renovables.

Ilustración 6. Capacidad instalada energía solar Gw (2000-2022)



Fuente: renewable energy magazine

Los cuatro principales países productores de energía solar son China, Estados Unidos, Alemania y Japón. Estos países han experimentado un crecimiento significativo en la producción

de energía solar debido a los avances tecnológicos y a una mayor conciencia sobre los beneficios de las energías renovables. Están contribuyendo a un futuro más sostenible al proporcionar una fuente de energía limpia y renovable.

China es el líder mundial en la producción de energía solar, generando suficiente energía para abastecer aproximadamente a 27 millones de hogares. Desde principios de 2018, la producción de energía solar en China ha aumentado un 84% (LA REPÚBLICA, 2024).

Estados Unidos ocupa el segundo lugar en producción de energía solar, suficiente para alimentar aproximadamente 8,5 millones de hogares. La producción solar en el país ha crecido un 75% desde 2018.

Alemania es el tercer país con mayor producción de energía solar, generando suficiente para abastecer aproximadamente a 9,5 millones de hogares. Desde 2018, su producción ha aumentado en un 73%.

Japón es el cuarto país en esta lista, produciendo suficiente energía solar para alimentar aproximadamente a 8,5 millones de hogares. Desde 2018, su producción ha crecido un 64% (SOLAR PLACAS, s.f.).

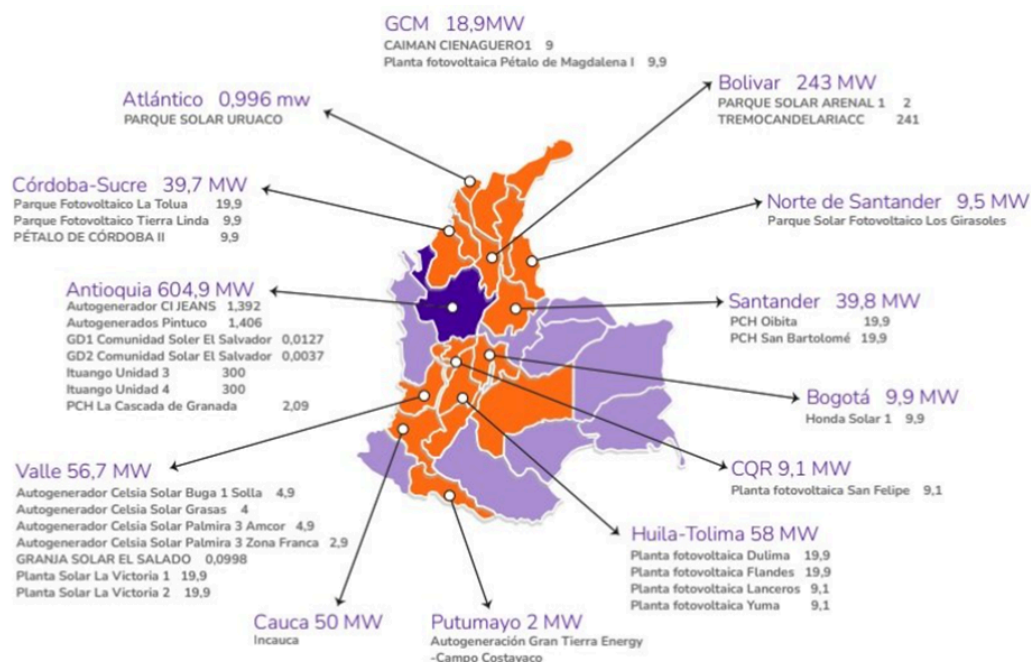
Panorama actual de la energía solar en Colombia

Según XM, administrador del mercado eléctrico, en 2023 ingresaron 1.142 MW de nueva potencia, de los cuales el 56,2% proviene de capacidad hidráulica (642 MW), el 25,7% de

térmicas fósiles (293 MW) y el 18,1% de plantas solares, con un total de 207 MW. La capacidad total del sistema eléctrico al cierre de 2023 fue de 19.919 MW, lo que representa un incremento del 6,08% respecto al año anterior.

Durante el cuarto trimestre de 2023, se integraron al Sistema Interconectado Nacional (SIN) 28 proyectos, incluidos 7 proyectos de generación que suman 921,8 MW. De estos, 600 MW corresponden a dos unidades de la planta hidroeléctrica Ituango, 241 MW al cierre de ciclo de la planta Termocandelaria, 50 MW a la ampliación de la planta de cogeneración Incauca y 30,8 MW a plantas solares (XM, 2023).

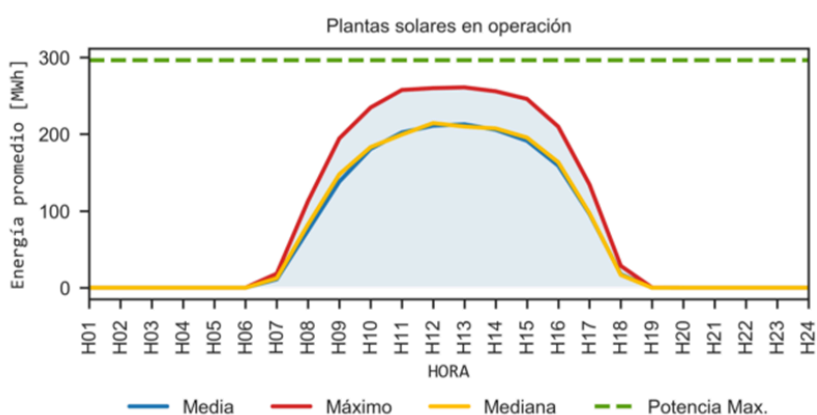
Ilustración 7. Panorama energía solar Colombia



Fuente: XM (2023)

En cuanto a los proyectos de generación próximos a entrar en operación, XM reportó que al cierre de 2023 se registraron 15 emprendimientos en estado de pruebas iniciales. Estos proyectos están conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN) para realizar las pruebas requeridas de acuerdo con la normativa vigente y los protocolos definidos por el Consejo Nacional de Operación.

Ilustración 8. *Curva energía promedio generada (2023)*



Fuente:XM (2023)

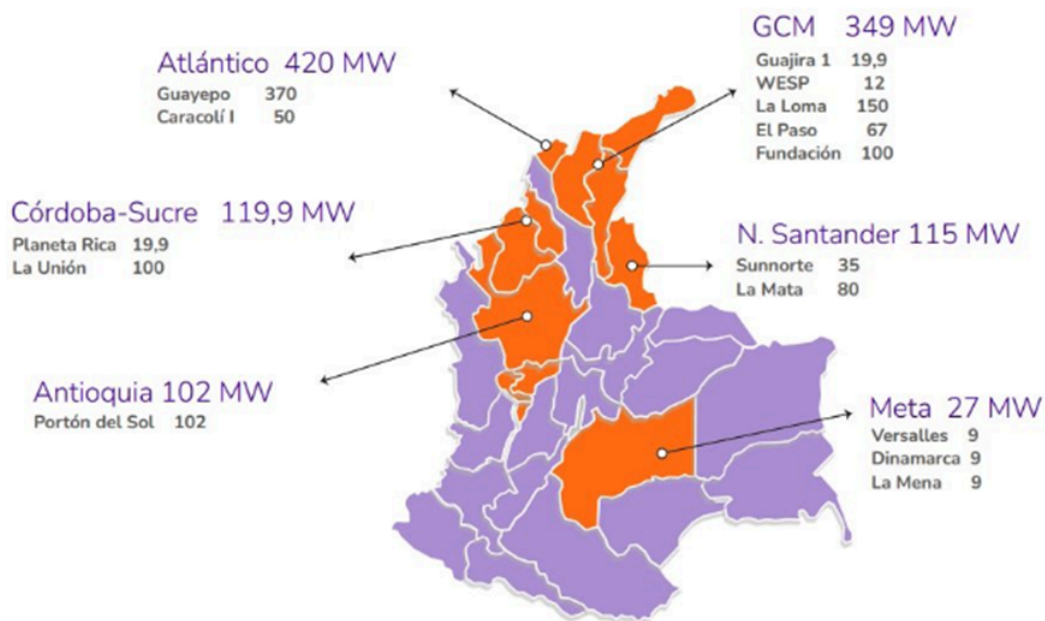
Tabla 1. Plantas solares en operación (2023).

Planta	Capacidad Efectiva Neta [MW]	Generación Promedio [MWh-día]	Factor de planta [%]
BOSQUES SOLARES DE LOS LLANOS 4	19.9	151.39	31.70%
TRINA-VATIA BSLIII	19.9	145.95	30.60%
TRINA-VATIA BSLII	19.9	144.81	30.30%
TRINA-VATIA BSLI	19.9	144.7	30.30%
SINCE	18.5	135.83	30.60%
BOSQUES SOLARES DE LOS LLANOS 5	17.9	135.46	31.50%
LA SIERPE	19.9	116.56	24.40%
GR PARQUE SOLAR TUCANES	9.9	70.76	29.80%
CERRITOS	9.9	61.89	26.00%
GRANJA SOLAR SAN FELIPE	9.1	61.74	28.30%
LOS CABALLEROS	9.9	58.67	24.70%
LA MEDINA	9.9	57.02	24.00%
HELIOS I	16	56.48	14.70%
MONTELIBANO	9.9	55.71	23.40%
GY SOLAR AURORA	9.9	50.87	21.40%
CELSIA SOLAR BOLIVAR	8.06	48.14	24.90%
GRANJA SOLAR LANCEROS	9.1	42.72	19.60%
CELSIA SOLAR ESPINAL	9.9	33.2	14.00%
GRANJA SOLAR BELMONTE	5.06	21.37	17.60%
TERMOTASAJERO DOS SOLAR	4	19.18	20.00%
CELSIA SOLAR LA PAILA	9.9	18.79	7.90%
AUTOG CELSIA SOLAR LEVAPAN	4.99	17.02	14.20%
PLANTA SOLAR BAYUNCA I	3	15.45	21.50%
CELSIA SOLAR CARMELO	9.9	15.35	6.50%
AUTOG CELSIA SOLAR YUMBO	9.8	13.33	5.70%
AUTOG CELSIA SOLAR HARINAS	2.45	7.97	13.50%
AUTOG COLOMBINA DEL CAUCA	0.3	0.49	6.90%
Total	296.86	1700.85	

Fuente: XM (2023)

En total, durante 2024 podrían entrar en funcionamiento 15 proyectos de energías renovables, que suman 1.133 MW. De estos, dos son parques eólicos con una capacidad de 32 MW, y 13 son proyectos solares fotovoltaicos que aportarán 1.101 MW (XM, 2023).

Ilustración 9. Panorama a futuro energía solar Colombia



Fuente:XM (2023)

Marco legal energía solar en Colombia

En Colombia, existen diversas normativas que regulan la instalación de sistemas de energía solar. Algunas de las más relevantes son:

Ley 1715 de 2014: Regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional y establece el marco normativo para la promoción y desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en el país (MINENERGÍA, 2014).

Decreto 2143 de 2015: Modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, y establece los lineamientos para la aplicación de incentivos definidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014 (MINENERGÍA, 2015).

Resolución Min Ambiente 1283 de 2016: Establece el procedimiento y requisitos para la expedición de certificaciones de beneficio ambiental en nuevas inversiones en proyectos de FNCER y gestión eficiente de energía, con el fin de obtener beneficios tributarios según los artículos 11-14 de la Ley 1715 de 2014 (MINAMBIENTE, 2016).

Resolución Min Ambiente 1312 de 2016: Define los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para proyectos de energía eólica continental, y otras disposiciones (MINAMBIENTE, 2016).

Resolución UPME 0281 de 2015: Define el límite máximo de potencia para la autogeneración a pequeña escala (CREG, 2015).

Resolución CREG 024 de 2015: Regula la autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) (CREG, 2015).

Resolución CREG 030 de 2019: Establece las condiciones técnicas y comerciales para los sistemas de generación distribuida con FNCER, incluyendo la energía solar, y define las tarifas de inyección y retiro de energía de la red (CREG, s.f.).

Decreto 1073 de 2015: Establece normas técnicas de calidad para la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en Colombia, con requisitos para las instalaciones de energía solar (MINENERGÍA, 2015).

Norma Técnica Colombiana NTC 2050: Define las condiciones técnicas para los sistemas de energía solar fotovoltaica, incluyendo diseño, instalación, operación y mantenimiento (2050, s.f.).

Triple cuenta de resultados: El concepto de la triple cuenta de resultados, introducido por John Elkington en 1998, amplía el análisis organizacional tradicional al integrar aspectos ambientales y sociales junto con los económicos. Este enfoque busca evaluar la sostenibilidad de una empresa en tres dimensiones clave: ambiental, social y económica, tal como se ilustra a continuación.

Ilustración 10. Triple cuenta de resultados



Fuente: Cepei (2021)

La triple cuenta de resultados busca que las empresas generen valor ambiental, social y económico a través de sus operaciones. Para ello, las organizaciones adoptan un enfoque analítico que define indicadores específicos en cada una de estas áreas, permitiendo una evaluación objetiva de la sostenibilidad de los proyectos (LOPEZ, 2015).

Las dimensiones ambiental, social y económica son dinámicas, ya que factores políticos, regulatorios, económicos, entre otros, pueden influir en ellas a lo largo del ciclo de vida de un

proyecto. Existen dos maneras de abordar estas dimensiones: de manera particular o general. La visión particular trata cada dimensión de forma independiente, evaluando los indicadores sin considerar su interacción. En contraste, la visión general examina cómo estas dimensiones se interrelacionan, reconociendo que cumplir con los indicadores de una dimensión puede afectar negativamente a las otras (LOPEZ, 2015).

Cumplir simultáneamente con las tres dimensiones es un desafío complejo, pero factible en ciertos escenarios. Por ejemplo, el cumplimiento de indicadores ambientales y sociales puede generar beneficios económicos, como incentivos tributarios. Además, la inversión en aspectos ambientales y sociales mejora la reputación y la imagen de la empresa, lo que puede traducirse en un mayor rendimiento económico a largo plazo (LOPEZ, 2015).

La actividad humana afecta de manera variable la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente. Para medir este impacto, se utilizan indicadores de sostenibilidad como la huella ecológica y el indicador de desarrollo genuino (ARIAS, 2006).

Objetivos de Desarrollo Sostenible

Al utilizar la triple cuenta de resultados como un método para evaluar la sostenibilidad a nivel organizacional, es fundamental considerar iniciativas internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Aprobados en 2015 por 193 estados miembros de la ONU, los ODS promueven el desarrollo sostenible, tal como se destaca en la ilustración 11.

Ilustración 11. *Objetivos de desarrollo disponible*



Fuente: ONU (2020)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con la energía solar en Colombia abarcan distintas dimensiones de la sostenibilidad. Algunos ODS, como el 7, 11, 13, 14 y 15, se centran en aspectos ambientales, mientras que otros, como el 6, 10 y 17, abordan dimensiones sociales, y los ODS 1, 8, 9 y 12 están ligados a la dimensión económica. Este documento analiza los factores y estrategias que influyen en la evolución de la energía solar en Colombia desde la perspectiva de la triple cuenta de resultados, con el objetivo de cumplir implícitamente los ODS mencionados.

Dimensión ambiental de la sostenibilidad

La dimensión ambiental se enfoca en cómo la actividad humana afecta el medio ambiente. La diversificación de fuentes de energía mediante el uso de la energía solar reduce el impacto ambiental en la generación de electricidad y contribuye a mitigar los efectos del fenómeno del Niño. Esta dimensión busca proteger la flora y la fauna a través de leyes y regulaciones establecidas por entidades nacionales y regionales. La energía solar ofrece ventajas

ambientales, como el bajo uso de agua, la ausencia de residuos radiactivos y la no dependencia de la minería, que puede causar problemas como la erosión del suelo. Además, muchos de los materiales utilizados en los paneles solares son reciclables. El capítulo detalla los principales protocolos y acuerdos ambientales, seguido de una descripción de los impactos ambientales y estrategias de mitigación (GEOGRAPHIC, 2022).

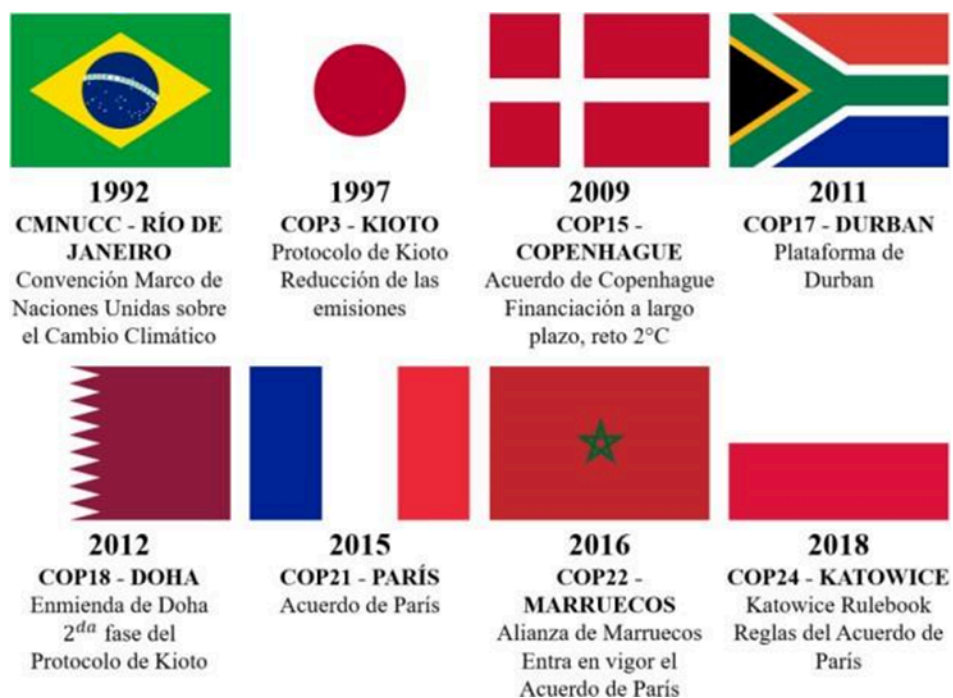
Protocolos y acuerdos ambientales internacionales

A nivel internacional, las cumbres climáticas, conocidas como Conferencias de las Partes (COP), han establecido compromisos y acuerdos para alcanzar los ODS relacionados con el medio ambiente. Estas reuniones proponen diversas estrategias para reducir el impacto del cambio climático, con compromisos adaptados según el nivel de desarrollo industrial de cada país (IBERDROLA, 2020).

El **Protocolo de Kioto** fue el primer acuerdo global para limitar las emisiones responsables del calentamiento global, siendo firmado el 16 de marzo de 1997 y entrando en vigor el 16 de febrero de 2005 (IBERDROLA, 2020). Aunque Colombia, como país en desarrollo, no es parte del Protocolo de Kioto, participa mediante los ****Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)****, los cuales contribuyen al logro de los ODS. Los MDL permiten a los países en desarrollo participar en la reducción de emisiones mediante la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE), donde cada tonelada de CO₂ no emitida equivale a un CRE, valorado en USD 4,9 (Kovalsky, 2011).

La segunda fase del Protocolo de Kioto finalizó el 31 de diciembre de 2020, y a partir de 2021 comenzaron a regir las medidas del ****Acuerdo de París****, como se muestra en la Figura 10 (ACCIONA, 2020).

Ilustración 12. Cumbres climáticas



Una de las primeras acciones importantes fue la reunión conocida como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), celebrada en Río de Janeiro en 1992. El objetivo de esta convención fue establecer políticas globales que promovieran el desarrollo sostenible de los países (IBERDROLA, 2020).

Ilustración 13 Resumen del acuerdo de paris



Fuente: Adaptado de francoise clementi (2020)

El **Acuerdo de París** tiene como objetivo principal limitar el aumento de la temperatura global a 2°C para finales del siglo, tomando como referencia los niveles preindustriales. Además, incluye otros factores como la reducción de emisiones, el compromiso de los países, la transparencia, los mecanismos de mercado, el financiamiento y las estrategias de cumplimiento (FRANCOISECLEMENTI, 2020).

Dimensión Ambiental de la Sostenibilidad

La transición energética mundial ha impulsado el desarrollo de infraestructuras para generar energía a partir de fuentes renovables. Sin embargo, el rápido crecimiento de este sector ha generado preocupaciones sobre el manejo de los desechos generados al final de la vida útil de estas tecnologías. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), la capacidad de generación de energías renovables crecerá un 50% en los próximos cinco años, siendo la instalación de paneles solares la principal fuente de expansión, superando a otras tecnologías como los parques eólicos (ZAPATA, 2023).

Desde la perspectiva ambiental, la energía solar, generada por paneles fotovoltaicos, no produce emisiones de CO₂ ni residuos significativos durante su operación, siendo la fase de fabricación la que presenta mayores impactos. La luz solar, como fuente de energía limpia, tiene un impacto ambiental considerablemente menor en comparación con las fuentes no renovables (ZAPATA, 2023). No obstante, a medida que crece su implementación, surge la preocupación sobre los desechos que podrían generar países como China, que se estima acumularía entre 13,5 y 20 millones de toneladas de desechos de paneles solares a mediados de siglo, seguido por Estados Unidos, Japón, India y Alemania (ZAPATA, 2023).

Impactos Positivos:

- **Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero:** Al generar electricidad a partir de la luz solar en lugar de combustibles fósiles, se disminuyen significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Energía renovable:** La energía solar es una fuente inagotable de energía, lo que significa que no agota los recursos naturales.
- **Fácil mantenimiento:** Los sistemas fotovoltaicos requieren un mantenimiento

sencillo y económico, lo que prolonga su vida útil y mejora su eficiencia (Diego, 2018).

Impactos Negativos:

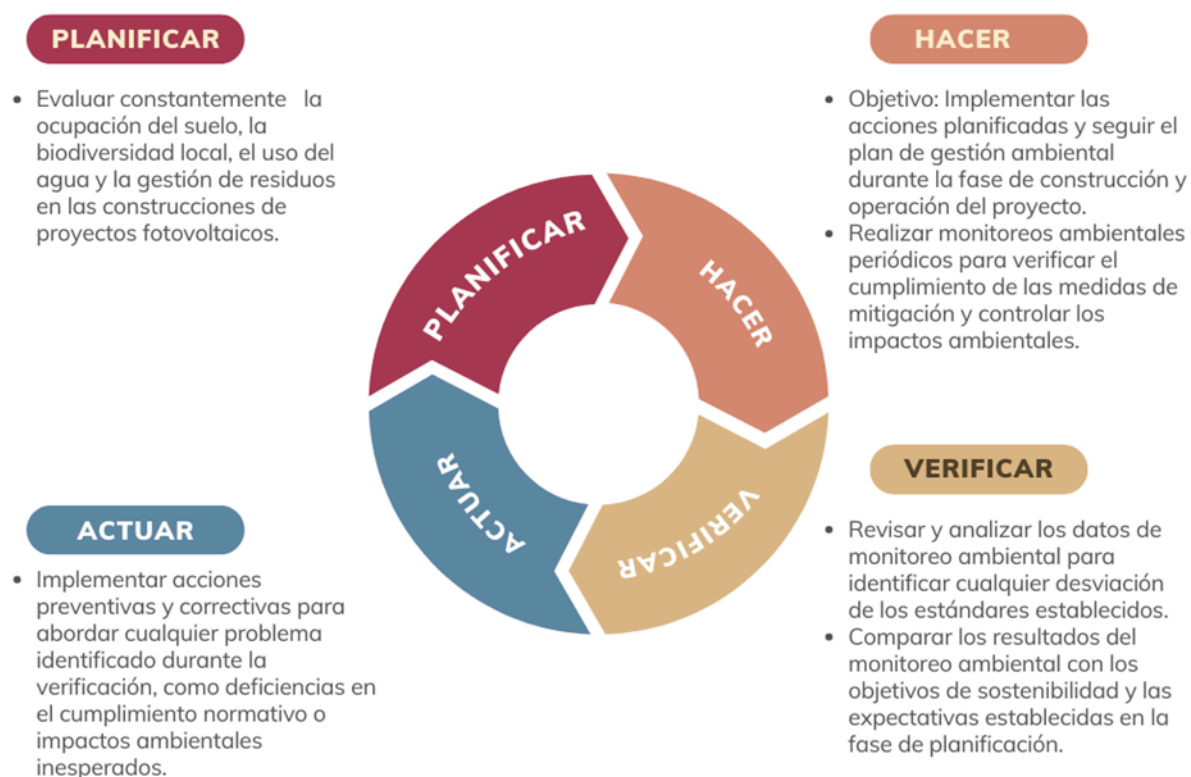
- **Producción y eliminación de residuos:** La fabricación de paneles solares implica el uso de materiales tóxicos como el silicio, cadmio y plomo, que pueden generar residuos durante su producción y eliminación al final de su vida útil.
- **Uso de tierras:** La instalación de grandes campos solares requiere extensas áreas de tierra, lo que puede afectar ecosistemas locales y la biodiversidad.
- **Consumo de agua:** Algunas tecnologías solares, como las centrales térmicas, requieren grandes cantidades de agua para enfriamiento, lo que puede ser problemático en regiones con escasez de agua.
- **Impactos visuales y paisajísticos:** La instalación de paneles solares a gran escala puede alterar el paisaje natural, especialmente en áreas rurales o de alto valor estético.

Certificación Ambiental

La **certificación ambiental** es esencial para los proyectos solares que buscan obtener beneficios fiscales bajo la Ley 1715 de 2014. Esta certificación es otorgada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) a través de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Los proyectos con más de 100 MW de potencia instalada requieren una licencia ambiental de la ANLA, mientras que los de menor potencia se gestionan con autoridades locales, como Corpoguajira en La Guajira. El proceso comienza con la presentación de la solicitud y los requisitos establecidos en la Resolución 1283 de 2016 ante la ANLA. Posteriormente, la ANLA revisa la solicitud en un plazo de 15 días hábiles,

notificando si falta algún documento o aprobando el inicio del proceso de certificación.

Finalmente, la ANLA tiene 25 días hábiles para emitir el certificado, que será válido por un año (ANLA, 2018).



Dimensión social de la sostenibilidad

La energía renovable está impulsando la transición hacia economías verdes y descarbonizadas, pero no es suficiente con incrementar la construcción de parques eólicos y solares. Estas instalaciones deben ir más allá de la simple producción de energía limpia y la sustitución de los combustibles fósiles, y generar beneficios sociales adicionales, como se promueve en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS) (ENEL,

2021).

El verdadero impacto transformador de la energía solar se refleja en su capacidad para mejorar la vida de las comunidades locales. En áreas donde el acceso a la electricidad es limitado o inexistente, la instalación de sistemas solares descentralizados ha transformado hogares, escuelas y centros de salud, proporcionando un suministro energético confiable y limpio. Esto ha resultado en mejoras significativas, como mayor acceso a la educación, atención médica mejorada y condiciones de vida más seguras.

Además, la energía solar genera empleos locales en diversas fases de su ciclo, desde la fabricación e instalación de los paneles solares hasta la gestión y mantenimiento de los sistemas de energía renovable. Este desarrollo económico no solo fortalece las comunidades al crear oportunidades laborales, sino que también fomenta la capacitación y desarrollo de habilidades, preparando a las personas para un futuro más sostenible (SOLAIRE ENERGÍA RENOVABLE, s.f.).

Un ejemplo destacado es el proyecto solar ****Guayepo I & II****, liderado por Enel Green Power en los municipios de Ponedera y Sabanalarga, Atlántico. Con una capacidad instalada de 486,7 MWdc y más de 820.600 paneles solares, este proyecto abarca más de 1.110 hectáreas (POWER, ENEL, 2022). Socialmente, ha generado más de 1.050 empleos, de los cuales un 72% provienen del Atlántico y un 58% de Ponedera y Sabanalarga. Se espera que, durante la construcción, se creen alrededor de 1.500 empleos locales, con un 68% destinados a la zona de influencia (POWER, ENEL, 2023).

Aunque los proyectos de esta magnitud pueden enfrentar desafíos sociales, como cambios en el uso del suelo o preocupaciones ambientales, el impacto social positivo de proyectos solares como Guayepo I & II resalta la importancia de involucrar a las comunidades

locales y asegurar que los beneficios se distribuyan equitativamente.

En cuanto a la **Ley 1715 de 2021**, también conocida como Ley de Transición Energética, esta legislación aplica al proyecto solar Guayepo I & II, ofreciendo incentivos como la exclusión del IVA, cero aranceles y depreciación acelerada para la adquisición de paneles solares y otros equipos. Estos beneficios reducen costos y mejoran las condiciones para las comunidades locales. Además, el **Decreto 1073 de 2015** establece normas técnicas de calidad para la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en Colombia (SOLAR, 2021).

Propuesta de estrategia de modelo social

Dado que los proyectos de energía solar tienden a generar más impactos sociales positivos que negativos, se propone una estrategia de modelo social enfocada en fortalecer la relación entre los proyectos solares y las comunidades locales. Esta estrategia debería enfatizar las oportunidades laborales y educativas, además de inversiones en salud y seguridad para las personas cercanas a los proyectos que puedan verse afectadas.

En el caso del proyecto **Guayepo I & II**, se propone educar a los estudiantes de las escuelas locales sobre el desarrollo y construcción del proyecto solar, así como sobre los avances tecnológicos que podrían influir en su futuro. Esta educación busca motivar a los estudiantes a participar activamente y desarrollar habilidades para que puedan formar parte de este y otros proyectos de energía renovable (POWER, ENEL, 2023).

Como parte del modelo social, se sugiere implementar programas de acompañamiento psicológico y creativo en los colegios y comunidades locales, para fomentar ideas innovadoras tanto tecnológicas como sociales. Estas ideas podrían integrarse en conversaciones sobre

ingeniería, proyectos sociales y energías renovables, generando un ciclo positivo de aprendizaje y oportunidades laborales, enriqueciendo a los estudiantes y potenciando el desarrollo de sus comunidades.



Dimensión económica de la sostenibilidad

La producción de electricidad a partir de combustibles fósiles está sujeta a fluctuaciones en los precios del carbón, el petróleo y el gas. En cambio, la energía solar, obtenida mediante paneles solares, no se ve afectada por estas variaciones, ya que aprovecha un recurso natural sin costo. Sin embargo, es fundamental considerar esta ventaja dentro de un contexto más amplio que incluya los costos de construcción, operación y mantenimiento a lo

largo del ciclo de vida del proyecto. En Colombia, donde la experiencia en proyectos de energía solar es aún limitada, se espera que los primeros proyectos enfrenten costos más elevados. No obstante, a medida que las empresas ganen experiencia técnica y administrativa, podrán mejorar su eficiencia y reducir los costos.

La dimensión económica de la sostenibilidad es crucial, ya que los ingresos generados pueden reinvertirse en iniciativas sociales y ambientales. Además, el aumento de la demanda de electricidad contribuye al desarrollo económico. Este capítulo analiza el mercado energético en Colombia, comparando los costos de diferentes fuentes de energía renovable y revisando los incentivos fiscales que ofrece la Ley 1715 de 2014 para la energía solar. También se destacan los resultados clave de las subastas de energía solar realizadas por el Ministerio de Minas y Energía (MME) y la UPME en 2019.

Mercado de energías en Colombia

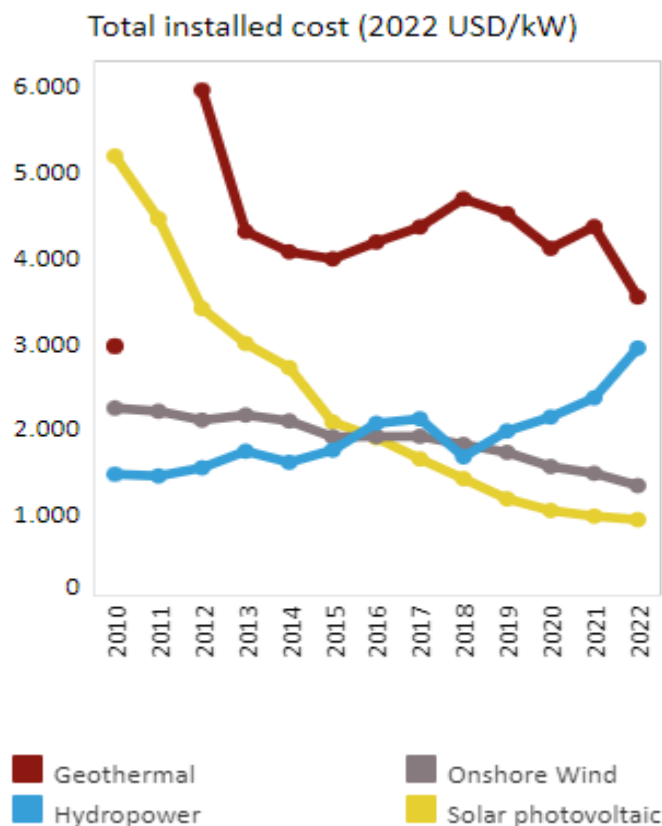
El Mercado de Energía Mayorista (MEM) en Colombia es un sistema de competencia abierta, establecido mediante las Leyes 142 y 143 de 1994. Su gestión está a cargo de XM, una subsidiaria del grupo ISA (SSPD, 2017).

El MEM utiliza dos modalidades para fijar las tarifas: la bolsa de energía y los contratos bilaterales. En la bolsa de energía, los generadores presentan ofertas diarias de precio y disponibilidad; XM selecciona los generadores que serán despachados al día siguiente según las proyecciones de demanda. Los contratos bilaterales, en cambio, son negociados libremente entre agentes no regulados, como grandes consumidores, y las empresas generadoras de energía (SSPD, 2017).

Costo de la energía solar

El precio por kilovatio (kW) instalado es un factor clave que los inversionistas consideran al evaluar proyectos. En la siguiente ilustración se observa cómo ha evolucionado el costo de instalación de la energía solar, eólica, geotérmica e hidroeléctrica en la última década. En todos los casos, los costos han mostrado una tendencia a la baja, y se espera que continúe debido a la entrada de nuevos actores en el mercado, lo que incrementa la competencia y reduce los costos (IRENA, 2022).

Ilustración 14. *Costos de instalación 2010-2022.*



Fuentes: Irena 2022

Incentivos tributarios

Los proyectos de energía solar mediante paneles solares que deseen beneficiarse de los cuatro incentivos fiscales establecidos en la Ley 1715 de 2014 deben obtener los certificados de la UPME y de la ANLA. Estos documentos se envían a la Ventanilla Única de Comercio Exterior (VUCE), con lo cual se notifica a la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), entidad encargada de aplicar los incentivos fiscales contemplados en la ley.

Deducción especial del impuesto sobre la renta

Los contribuyentes que declaren el impuesto sobre la renta y realicen nuevas inversiones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) o en la gestión eficiente de energía, tienen derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones realizadas. Sin embargo, el valor deducido anualmente no podrá superar el 50% de la renta líquida del contribuyente (Camargo, 2018). La deducción se podrá aplicar durante un período no mayor a cinco años, a partir del año gravable siguiente al de la inversión (Camargo, 2018).

Depreciación acelerada

La depreciación acelerada se rige por las normas contables. La tasa global anual de depreciación no puede superar el 20%. El beneficiario puede definir una tasa fija de depreciación para cada año gravable, con la opción de modificarla, notificando a la Dirección Seccional de Impuestos antes de presentar la declaración de renta correspondiente (Camargo, 2018). Los contribuyentes podrán deducir el valor de la depreciación o amortización correspondiente a la inversión, o utilizar la depreciación acelerada contemplada en la Ley 1715 de 2014 (Camargo, 2018).

Exclusión del IVA en la adquisición de bienes y servicios

Este beneficio se aplica a todos los productos y servicios, nacionales o importados, necesarios para la ejecución de proyectos de energía solar con paneles solares (Camargo, 2018).

Exención de gravámenes arancelarios

La importación de maquinaria, equipos y otros elementos para proyectos de energías renovables está exenta del pago de derechos arancelarios (Camargo, 2018).

Propuesta de estrategia para el modelo económico

El crecimiento de los proyectos de energía solar en Colombia es alentador. En 2023, el mercado alcanzó una capacidad de aproximadamente 1,12 GW, con una proyección de crecimiento anual del 6,7% entre 2024 y 2032. Este crecimiento proyectado podría atraer inversiones superiores a US\$ 220 millones y generar miles de empleos, lo que muestra un panorama favorable para la rentabilidad de los proyectos solares en el país (ECONÓMICA, 2023).

Como estrategia económica, se propone fomentar la inversión mediante la optimización de los incentivos fiscales disponibles, junto con la mejora de la eficiencia técnica y administrativa en la ejecución de proyectos. Esto permitiría reducir costos y aumentar la rentabilidad de los proyectos solares, a la vez que se asegura el desarrollo de infraestructura sostenible. Además, se recomienda incentivar la participación del sector privado y atraer inversión extranjera mediante la simplificación de los procesos regulatorios y la ampliación de los beneficios tributarios.

PLANIFICAR

- Satisfacer las necesidades de los inversionistas y usuarios que deseen ser partícipes en los proyectos de energía solar, para ello establecer mecanismos de inversión sólidos y viables que generen buena rentabilidad.

ACTUAR

- Implementación de acciones correctivas para la mejora continua basada en indicadores de satisfacción de los inversionistas.



HACER

- Gestionar un plan económico que permita cumplir con las ganancias y rentabilidades esperadas, siendo así, se requiere profesional en finanzas para realizar presupuestos y cumplir con los objetivos deseados.

VERIFICAR

- Monitoreos financieros, evaluando periódicamente el desempeño y el comportamiento del proyecto de inversión.

Conclusiones

La energía solar fotovoltaica en Colombia ofrece un gran potencial ambiental debido a su alta radiación solar, que supera el promedio mundial. Este recurso proporciona una alternativa limpia a los combustibles fósiles, lo que reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y minimiza la contaminación del aire y el agua. Los proyectos solares, que emplean tecnologías cada vez más eficientes, contribuyen a la sostenibilidad ambiental del país. Además, los mecanismos de certificación ambiental garantizan que los proyectos cumplan con normativas internacionales y locales, promoviendo una gestión ambiental adecuada y sostenible.

Los proyectos solares fotovoltaicos en Colombia generan un impacto social positivo, creando empleo en las áreas de instalación, operación y mantenimiento, y fomentando el desarrollo económico local, especialmente en regiones rurales y menos desarrolladas. Iniciativas como el proyecto Guayepo I&II demuestran cómo la energía solar puede transformar comunidades al mejorar el acceso a la electricidad y contribuir al desarrollo socioeconómico de las zonas impactadas. Sin embargo, es esencial mantener una comunicación abierta con las

comunidades y hacerlas partícipes en la toma de decisiones para asegurar que las medidas de mitigación de impactos sociales sean efectivas, maximizando los beneficios.

La viabilidad económica de la energía solar fotovoltaica en Colombia mejora constantemente gracias a la reducción de los costos tecnológicos y los incentivos fiscales proporcionados por leyes como la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021. Estos incentivos han facilitado la inversión en proyectos solares, promoviendo un crecimiento sostenido en el sector. Las proyecciones de crecimiento del mercado solar muestran un panorama económico favorable para la expansión de la energía solar en el país.

Referencias bibliográficas

- 2050, N. (s.f.). *ISAIC. código eléctrico Colombiano ntc 2050* Obtenido de <https://osaic.com.co/wp-content/uploads/NTC-2050.pdf>
- ACCIONA. (2020). *sostenibilidad para todos* Obtenido de https://www.sostenibilidad.com/?_adin=02021864894
- ANLA. (2018). *ANLA. guía practica para la aplicación de incentivos TRIBUTARIOS* Obtenido de <https://www.anla.gov.co/eureka/manuales-y-guias/guias/829-guia-practica-para-la-aplicacion-de-los-incentivos-tributarios-de-la-ley-1715-de-2014>
- ARIAS, F. (2006). Obtenido de La actividad humana tiene un impacto variable en la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente, y para evaluar este impacto se utilizan indicadores de sostenibilidad como la huella ecológica y el indicador de desarrollo genuino
- CAMARGO, O. I. (2018). *UPME. invierta y gane con energía* Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.p
- CORFICOLOMBIANA. (2022). *cuellos de botella en compromisos de energías renovables no convencionales*.
- CREG. (2019). comisión de regulación de energía y gas Obtenido de https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0030_2019.htm
- CREG. (2015). *unidad de planeación minero-energética* Obtenido de https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_upme_0281_2015.ht

- CREG. (2015). *regulación de la creg sobre energías renovables comprende seis grandes temas* Obtenido de <https://creg.gov.co/publicaciones/8625/regulacion-de-la-creg-sobre-energias-renovables-comprende-seis-grandes-temas/#:~:text=En%20cuanto%20a%20la%20autogeneraci%C3%B3n%20a%20gran%20escala,la%20red%20y%20para%20la%20entrega%20de%20excedentes.>
- DIEGO, M. Y. (2018). *Repositoryo*. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/b834fea9-ad23-4a76-8011-071a9b05e544/content>
- ECONOMICA, L. N. (2023). *La Nota Económica*. Obtenido de <https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/colombia-contara-con-8-proyectos-de-energia-solar-adicionales-que-estarian-listos-para-entrar-en-operacion-en-diciembre-de-2024/economicas>, C. I. (2023). *Informe Perspectiva Sectorial - Energía*.
- EMR. (2023). *Mercado de Energía Solar en Colombia* Obtenido de <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-energia-solar-en-colombia>
- ENEL. (2021). *ENEL. La atención hacia la comunidad local, un aspecto clave para la compra de energía renovable* Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/historias/articulos/2021/06/crear-beneficios-comunidades-locales>
- ENEL. (20 de 07 de 2023). *ENEL. Parques solares en Colombia: ¿por qué son importantes para el país?* Obtenido de <https://www.enel.com.co/es/historias/a202306-parques-solares-en-colombia.html>
- ENERGY, A. R. (19 de 04 de 2022). *ATLAS RENEWABLE ENERGY*. Obtenido de <https://www.atlasrenewableenergy.com/garantizar-el-triple-resultado-final-de-su-estrategia-de-energias-renovables-el-mayor-rendimiento-de-la-inversion-2/>
- FISE. (2 de 05 de 2019). *FISE. Colombia y su gran potencial para la energía solar* Obtenido de <https://fise.co/noticias/colombia-y-su-gran-potencial-para-la-energia-solar/#:~:text=En%20el%20estudio%20%E2%80%9CLa%20gesti%C3%B3n%20para%20cadena%20de,el%20potencial%20del%20pa%C3%ADs%20en%20energ%C3%ADa%20solar%20fotovoltaica.>
- FRANCOISE CLEMENTI. (2020). *Los factores que influyen sobre el clima* Obtenido de <https://www.francoiseclementi.com/>
- GEOGRAPHIC, N. (2022). *La energía solar y su potencial para ayudar a reducir el calentamiento global* Obtenido de <https://www.nationalgeographiccl.com/medio-ambiente/2022/04/la-energia-solar-y-su-potencial-para-ayudar-a-reducir-el-calentamiento-global>

- GRUPO SOLAR SOLINC. (2023). *ENERGÍA SOLAR*. Obtenido de <https://energiasolar1.com/blog/diferencias-entre-energia-solar-eolica-e-hidraulica/#:~:text=Tanto%20en%20costos%20de%20inversi%C3%B3n%20como%20de%20mantenimiento%2C,materiales%20de%20fabricaci%C3%B3n%20a%20un%20precio%20menos%20elevado.>
- HERMANN SCHEER, P. D. (2010). *REVE*. Obtenido de <https://www.evwind.com/2010/11/05/hermann-scheer-1944-2010-pionero-de-las-energias-renovables/>
- IBERDROLA. (2020). *Las negociaciones climáticas: 25 años en busca de consensos para luchar contra el cambio climático*
Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/acuerdos-internacionales-sobre-el-cambio-climatico>
- IEA. (2023). *IEA. Executive summary* Obtenido de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary>
- INDUSTRIAL, J. R. (2012). *EFIMARKET*. Obtenido de <https://www.efimarket.com/blog/jeremy-rifkin-y-la-tercera-revolucion-industrial/>
- IRENA. (2022). *IRENA. Global Trends* Obtenido de <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Costs/Global-Trends>
- KAMMEN, D. M. (s.f.). *KAMMEN*. Obtenido de <https://kammen.berkeley.edu/>
- Kovalsky, G. (2011).
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/c682a5a3-3366-41dd-a660-db01b58fe36a/content> Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/c682a5a3-3366-41dd-a660-db01b58fe36a/content>
- LA REPUBLICA. (2024). *China es líder en la industria de producción de energía solar; por encima de EE.UU* Obtenido de <https://www.larepublica.co/globoeconomia/china-es-lider-en-la-industria-de-la-produccion-de-energia-solar-sobre-la-ue-y-ee-uu-3858245>
- LARA, B. (19 de 07 de 2023). *BIENESTAR COLSANITAS*. Obtenido de <https://www.bienestarcolsanitas.com/articulo/debe-saber-sobre-energia-solar-colombia>
- LINEA HERRERA, J. P. (2021). *Energías renovables fotovoltaicas: una aproximación descriptiva de su estado y su aplicación en Colombia*. Bogotá.
- LOPEZ, M. J. (2015). *La Cuenta del Triple Resultado o Triple Bottom Line* Obtenido de https://accid.org/wp-content/uploads/2018/11/LA_CUENTA_DEL_TRIPLE_RESULTADO.pdf

- LOVIN, A. (2011). *Google Books. Reinventing Fire: Bold Business Solutions for the New Energy Era* Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=ZQVZxsGFjnAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- MINAMBIENTE. (AGOSTO de 2016). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-1283-de-2016/#:~:text=Agosto%2003%20de%202016%20%20%20C2%ABPor%20la%20cual%20se,1715%20de%202014%20y%20se%20adoptan%20otras%20determinaciones.%20%20BB>
- MINAMBIENTE. (2016). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-1312-de-2016/#:~:text=Resoluci%C3%B3n%201312%20de%202016%20Ver%20documento%20Agosto%202011,energ%C3%ADa%20e%C3%B3lica%20continental%20y%20se%20toman%20otras%20determinaciones%20%20BB>.
- MINDS, M. F. (20 de 7 de 2021). *Made For Minds*. Obtenido de <https://www.dw.com/es/nuevo-r%C3%A9cord-mundial-de-emisiones-de-co2-en-2023/a-58323392>
- MINENERGIA. (2014). *Fuentes No Convencionales de Energía Renovable – FNCER* Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fncer/>
- MINENERGIA. (2015). *Decreto 2143 de 2015* Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64682>
- MINENERGIA. (2015). *Decreto Número 1073 del 26 Mayo de 2015* Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/repositorio-normativo/normativa/>
- POLARIDAD. (s.f.). Recuperado el 2024, de POLARIDAD: <https://polaridad.es/como-funcionan-las-celdas-solares/>
- POWER, E. G. (2022). *ENEL. Parque Solar Guayepo I&II será del tamaño de 2.000 canchas de fútbol* Obtenido de <https://www.enel.com.co/es/prensa/news/d202207-inicio-construccion-guayepo.html>
- POWER, E. G. (2023). *ENEL. GUAYEPO I & II* Obtenido de <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/esp%C3%B3l/egp/boletines/boletin-guayepo-i-ii-abril-2023.pdf>
- SEMANA. (4 de 09 de 2021). Colombia será potencia en energía solar Obtenido de <https://www.semana.com/enfoque/articulo/colombia-sera-potencia-en-energia-solar/202121/>

- SOLAIRE ENERGÍA RENOVABLE*. (s.f.). *Impacto ambiental y beneficios sociales de la energía solar* Recuperado el 2024, de <https://portal.solaire.com.co/impacto-ambiental-y-beneficios-sociales-de-la-energia-solar/>
- SOLAR PLACAS*. (s.f.). El líder mundial en energía solar: china, estados unidos y Alemania Recuperado el 2024, de <https://solarplacas.es/world-leader-in-solar-energy/>
- SOLAR, I. (2021). *INNOVA SOLAR*. Aprobación de la Ley de Transición energética.
- SSPD. (2017). *SUPERSEVICIOS. Mercado de Energía Mayorista*
- UPME. (2016). *INVIERTA Y GANE CON ENERGÍA Ley 1715 de 2014*.
- UPME. (2023). *Plan Indicativo de Expansión de la generación 2023-2037*. Bogotá.
- XM. (2023). *XM.GOV.CO*. Obtenido de <https://cnostatic.s3.amazonaws.com/cno-public/archivosAdjuntos/xm-cno-2023-02-02.pdf>
- ZAPATA, A. (2023). *EL COLOMBIANO. El lado oscuro de la energía solar, ¿qué pasará con la ola de desechos de paneles solares que se viene?* Obtenido de <https://www.elcolombiano.com/negocios/que-hacer-con-desechos-de-paneles-solares-DA21306656>