

GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA APLICADA A SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

**Daniel Parra Restrepo
Santiago Henao Gómez**

**Asesor:
Jorge Mario Tamayo Avendaño**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
Facultad de Ingeniería
Departamento de Mecánica
Tecnología en Mecánica Industrial
2025**

Contenido

Capítulo 1: Introducción	4
Capítulo 2: Marco teórico.....	5
2.1 La Energía Solar Como Recurso	5
2.2 Otras formas de aprovechar la energía solar	5
2.3 Dispositivos y tecnologías para aprovechar la energía solar.....	6
2.4 Objeto de aplicación: sistemas de aire acondicionado	7
2.4.1 Aplicaciones de la energía solar en sistemas de aire acondicionado.....	7
2.5 ¿Cuáles son los elementos que constituyen un sistema de aire acondicionado?	9
2.6 Sistemas de alimentación energética para aire acondicionado	10
2.6.1 Alimentación eléctrica	10
2.6.2 Motores de combustión interna	10
2.6.3 Sistemas de absorción (energía térmica)	11
2.7 Evaluación de las tarifas de energía eléctrica para la Industria en Colombia	11
2.8 Análisis del precio del galón de diésel en Colombia.....	12
2.9 Costo de unidades fotovoltaicas en Colombia	12
2.9.1 Costo de un Sistema Completo de Generación Fotovoltaica en Colombia:.....	14
2.10 Tasas de interés y tasas de inflación	15
2.11 Integración de sistemas fotovoltaicos con sistemas de aire acondicionado: viabilidad técnica y económica	16
2.11.1 Hipótesis	16
2.11.2 Justificación	16
Capítulo 3: Objetivos	18
3.1 Objetivo general	18
3.2 Objetivos Específicos	18
Capítulo 4: Metodología.....	20
4.1 Explicación de la metodología.....	20
4.1.1 Pasos de la metodología.....	20
4.1. Recolección de Información	20
4.2. Organización y Análisis de la Información.....	20
Capítulo 5: Resultados.....	22
Capítulo 6: Validación de Resultados	23
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones	24
Capítulo 8: Bibliografía	25

Capítulo 1: Introducción

En las últimas décadas, el consumo energético global ha experimentado un aumento constante debido al crecimiento poblacional y el avance tecnológico. Uno de los sectores con mayor demanda energética es el de climatización, en particular el uso de sistemas de aire acondicionado en ambientes residenciales, comerciales e industriales. Este incremento en la demanda de refrigeración y acondicionamiento de espacios, impulsado en gran medida por el cambio climático y el aumento de las temperaturas globales, representa un desafío para la sostenibilidad ambiental y energética. La dependencia de fuentes de energía fósil en este contexto no solo contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también genera una presión significativa sobre los recursos naturales limitados.

En respuesta a esta problemática, la generación de energía fotovoltaica ha surgido como una alternativa sostenible para reducir la dependencia de fuentes no renovables. La energía fotovoltaica, obtenida a partir de la radiación solar mediante el uso de celdas solares, representa una solución limpia y eficiente. Este trabajo de grado tiene como objetivo analizar y proponer un modelo de integración de ambos sistemas, evaluando tanto la viabilidad técnica como económica de su implementación. A través de este estudio, se espera contribuir al conocimiento en el campo de las energías renovables aplicadas a necesidades cotidianas, promoviendo un uso responsable y sostenible de los recursos energéticos.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 La Energía Solar Como Recurso

La energía solar es una fuente de energía renovable, limpia y abundante que proviene del sol, la cual se puede aprovechar de diferentes formas para generar electricidad, calor o energía mecánica. Dado que el sol es una fuente prácticamente inagotable de energía, su aprovechamiento se ha convertido en una opción cada vez más atractiva para satisfacer las necesidades energéticas a nivel global, minimizando los impactos negativos sobre el medio ambiente que conllevan el uso de fuentes de energía tradicionales como los combustibles fósiles. (Maissa Farhat a, 2015)

En particular, una de las formas más comunes de aprovechar la energía solar es a través de la energía solar fotovoltaica. Este proceso se basa en el uso de paneles solares fotovoltaicos, que están formados por células solares compuestas principalmente de materiales semiconductores como el silicio. Estas células solares aprovechan el efecto fotovoltaico, un fenómeno mediante el cual la luz solar incidente sobre las células excita los electrones del material semiconductor, generando una corriente eléctrica. Este proceso convierte directamente la radiación solar en electricidad, lo que permite el aprovechamiento de la energía solar para diversos fines, desde el autoconsumo en hogares hasta la generación de electricidad a gran escala en plantas fotovoltaicas. (Maissa Farhat a, 2015)

La instalación de paneles solares fotovoltaicos puede realizarse tanto en edificios y viviendas particulares como en grandes instalaciones solares, lo que permite su integración a diferentes niveles de consumo energético. En el ámbito doméstico, la energía solar fotovoltaica se utiliza principalmente para el autoconsumo, permitiendo que los hogares generen su propia electricidad a partir del sol, reduciendo así la dependencia de la red eléctrica convencional y fomentando la autosuficiencia energética. Además, los excedentes de energía generados por los paneles solares pueden ser inyectados a la red eléctrica, lo que se conoce como excedente fotovoltaico. (Caballero, 2023)

Otra forma de aprovechar la energía solar es a través de la energía solar térmica, que se utiliza para producir calor aprovechando la radiación solar. Este tipo de energía se utiliza tanto a nivel doméstico como industrial. Los colectores solares térmicos, que pueden ser paneles o espejos que concentran los rayos solares, capturan la energía del sol para calentar un fluido. Este fluido caliente luego se utiliza para generar vapor, que puede ser utilizado para mover turbinas y generar electricidad o para aplicaciones térmicas directas, como la calefacción de edificios o la producción de agua caliente sanitaria (Caballero, 2023).

2.1.1 Descripción general del recurso general en el mundo

El recurso solar es uno de los más abundantes y prometedores a nivel global dentro del conjunto de energías renovables. En la actualidad, la energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial, alcanzando una capacidad instalada global de 1419 GW en 2023. Esta tecnología representa aproximadamente el 15 % del total de energía renovable generada en el mundo y ha contribuido con un 4–6 % a la matriz energética mundial, dependiendo de la fuente y el año específico de medición. China lidera esta expansión, habiendo añadido más de 200 GW solo en 2023, lo que evidencia el compromiso global con esta fuente limpia. Gracias a los avances tecnológicos y la disminución sostenida en los costos de producción, se proyecta que el uso de la energía solar continuará en aumento, jugando un papel central en la transición energética global hacia fuentes limpias y sostenibles. La amplia disponibilidad de irradiación solar en muchas

regiones del mundo convierte a esta fuente en una de las más viables para alcanzar la seguridad energética y la descarbonización de las economías. (Herrera, 2024)

El análisis del recurso solar es fundamental para evaluar la viabilidad técnica y económica de un sistema fotovoltaico. Este proceso consiste en estudiar la disponibilidad de radiación solar en una ubicación específica, teniendo en cuenta componentes como la radiación directa, difusa y global, así como variables meteorológicas temperatura, humedad, viento y presión atmosférica que influyen en el rendimiento de los paneles solares. (Jofré, 2024)

Uno de los factores más relevantes en este análisis es la orientación e inclinación de los paneles. Para maximizar la captación de energía, se recomienda orientarlos hacia el ecuador, con una inclinación similar a la latitud del lugar, lo que permite aprovechar de manera más eficiente la trayectoria del sol a lo largo del año (Jofré, 2024).

Asimismo, existen herramientas digitales y bases de datos climáticas que permiten estimar el potencial solar de una zona, lo que facilita el diseño y dimensionamiento adecuado del sistema fotovoltaico. Este tipo de análisis es especialmente importante cuando se busca integrar la energía solar en sistemas de alto consumo, como los de aire acondicionado, ya que permite garantizar un suministro energético eficiente y sostenible (Jofré, 2024).

2.1.2 Generación eléctrica a partir de energía solar

La energía solar, tanto fotovoltaica como térmica, representa actualmente una parte significativa del conjunto de fuentes renovables en la generación eléctrica mundial. Según el *World Energy Outlook 2023* de la Agencia Internacional de Energía (IEA), para el año 2022 las energías renovables alcanzaron el 42 % de la capacidad instalada de generación eléctrica a nivel global. De ese total, la energía hidroeléctrica representó el 16,11 %, seguida por la energía solar con el 13,25 %, y la energía eólica con un 10,43 %. (enelgreenpower, 2024)

Este crecimiento refleja una tendencia sostenida a lo largo del tiempo: en 2010, las renovables representaban apenas el 25,69 % de la capacidad instalada global; en 2015 aumentaron al 30,84 % y en 2021 ya alcanzaban el 40 %. La energía solar, en particular, ha mostrado un avance notable, impulsada por la reducción de costos tecnológicos, las políticas de transición energética y el interés global por mitigar el cambio climático. (Enel Green Power, 2024)

Cabe destacar que, aunque la capacidad instalada no equivale directamente a la energía efectivamente generada, sí refleja el nivel de inversión y preparación de los sistemas eléctricos para producir energía a partir de fuentes limpias. En el caso de empresas líderes como Enel, por ejemplo, la solar representa más del 11 % de su capacidad instalada, contribuyendo a un portafolio en el que las renovables superan el 64 %.

Este panorama confirma el papel creciente de la energía solar dentro de la matriz energética global y su relevancia estratégica para alcanzar los objetivos de descarbonización y sostenibilidad en las próximas décadas. (Enel Green Power, 2024)

2.1.3 Evolución de la generación eléctrica solar

La participación de la energía solar en la generación eléctrica global ha experimentado un aumento sostenido en la última década, en un contexto de expansión de las fuentes renovables. De acuerdo con el *World Energy Outlook 2023* de la Agencia Internacional de Energía (IEA), en 2022, la energía solar representó el 13,25 % de la capacidad instalada global de generación eléctrica (Enel Green Power, 2024) (World Energy , 2023)

Aunque el informe no ofrece un desglose específico de los datos históricos para la energía solar, se puede observar un crecimiento significativo dentro del conjunto de las energías renovables, que han pasado de representar el 25,69 % en 2010, al 30,84 % en 2015, al 40 % en 2021, y al 41,98 % en 2022. Esta tendencia refleja el avance global hacia la adopción de tecnologías limpias, con la energía solar destacándose como una de las más dinámicas en términos de crecimiento y expansión tecnológica (Enel Green Power, 2024).

En 2023, el sector solar alcanzó un nuevo hito al instalar 345,5 GW de capacidad fotovoltaica, lo que elevó la capacidad mundial total a 1,419 GW. Este incremento formó parte de un récord general en la expansión de energías renovables, con 473 GW adicionales de capacidad instalada en el sector eléctrico global. En total, las energías renovables representaron el 86% de las nuevas capacidades instaladas, siendo la energía solar la principal fuente de crecimiento, con 73% de la expansión global. Dentro de este crecimiento, China fue el principal contribuyente, con 216,9 GW añadidos a la capacidad mundial (Molina, 2024).

Este aumento refuerza el papel central de la energía solar en la transición energética global, con países de Asia, como China e India, liderando este proceso. Además, países como Estados Unidos, Alemania, Brasil y España también jugaron un papel clave en el crecimiento de la capacidad fotovoltaica (Molina, 2024).

El informe destaca, además, que la competitividad de la energía solar, tanto en términos de costos como de eficiencia, está impulsando su crecimiento sostenido. La energía solar ha logrado superar a otras fuentes de energía como el carbón y el gas en diversas regiones del mundo, lo que refleja un cambio significativo hacia las energías renovables como fuentes clave de generación eléctrica para el futuro cercano (Molina, 2024).

2.1.4 Costos de generación fotovoltaica y su evolución

En los últimos años, los costos de generación de energía solar fotovoltaica han mostrado una tendencia a la baja, lo que ha contribuido significativamente a la expansión global de las energías renovables. Según el informe de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) titulado "*Costos de Generación de Energía Renovable en 2022*", la energía solar fotovoltaica ha experimentado una caída considerable en su costo nivelado de electricidad (LCOE), a pesar del aumento en los costos de materiales y equipos en 2022. En 2022, el LCOE de la energía solar fotovoltaica cayó un 3% en comparación con el año anterior, alcanzando los 0,049 USD/kWh. (IRENA, 2023)

Este descenso de los costos es el resultado de una combinación de factores, como la mejora en la eficiencia de los paneles solares, la reducción de los costos de fabricación y el aumento de la competitividad en el mercado global. En particular, China ha jugado un papel crucial en la disminución de los costos de la energía solar, debido a su liderazgo en la producción y despliegue de paneles solares. A pesar de que algunos mercados experimentaron aumentos en los costos, a nivel global la energía solar fotovoltaica ha logrado superar a otras fuentes de energía convencionales en términos de costos, especialmente en los últimos años. (IRENA, 2023)

La mejora en la competitividad de la energía solar ha sido especialmente notable en el contexto del aumento de los precios de los combustibles fósiles. En 2010, la energía solar era un 710% más cara que las soluciones basadas en combustibles fósiles. Sin embargo, para 2022, el costo de la energía solar fotovoltaica fue un 29% más bajo en comparación con las soluciones más baratas de energía fósil. Esta evolución ha sido fundamental para el crecimiento sostenido de la energía solar, que ahora se presenta como una opción cada vez más económica y viable en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. (IRENA, 2023)

2.1.5 Descripción de energía solar en Colombia

En Colombia, el uso de la energía solar se ha posicionado como una apuesta clave para avanzar hacia un futuro más sostenible. A pesar de la incertidumbre global sobre el desarrollo energético, el país ha mostrado un optimismo creciente hacia la adopción de paneles solares. El Ministerio de Minas y Energía ha impulsado

la transición energética mediante la suscripción de 11 proyectos solares, lo que refleja un compromiso por parte del gobierno para promover el uso de fuentes de energía renovables. Además, el Decreto 829 de 2020 otorga beneficios fiscales y financieros a las empresas que implementen sistemas solares, incentivando la adopción de esta tecnología tanto en el sector industrial como en el residencial. (Ambiente Solar Energía Renovable, 2022)

El uso de la energía solar en Colombia no solo está limitado al sector empresarial, sino que también es accesible para los hogares. El país cuenta con condiciones climáticas favorables y una ubicación geográfica que permite una radiación solar óptima, con un promedio de 12 horas diarias de luz solar, lo que lo convierte en uno de los países con mayor potencial de generación solar en el mundo. Según la Asociación Colombiana de Energía Renovables (SER Colombia), la energía solar en el país puede generar electricidad de manera eficiente durante todo el año, superando en rendimiento a otros países en términos de producción de energía renovable. (Ambiente Solar Energía Renovable, 2022)

El gobierno colombiano también ha demostrado su compromiso con la sostenibilidad mediante inversiones en infraestructura pública. Instituciones como el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), diversas alcaldías municipales y universidades públicas han adoptado paneles solares en sus instalaciones, lo que contribuye a la creación de un entorno más verde y a la sensibilización sobre los beneficios de las energías renovables. De esta forma, Colombia no solo está avanzando en la transición energética, sino que también está fomentando una cultura de sostenibilidad tanto en el sector público como en el privado. (Ambiente Solar Energía Renovable, 2022)

2.1.6 Otras formas de aprovechar la energía solar

Además de las aplicaciones más comunes de la energía solar, existen otras formas innovadoras de aprovechar esta fuente de energía limpia. Una de ellas es la energía solar concentrada (CSP), que utiliza espejos o lentes para concentrar grandes cantidades de luz solar en un único punto. Este enfoque permite generar temperaturas extremadamente altas que, al ser aprovechadas, producen vapor que mueve turbinas generadoras de electricidad. La energía solar concentrada es particularmente útil en plantas solares de gran escala, ya que permite generar grandes volúmenes de energía. (Deye, 2024)

Otro sistema relevante son las baterías solares, que almacenan la electricidad generada por los paneles solares para su uso posterior. Este almacenamiento es especialmente valioso en sistemas fotovoltaicos autónomos o en áreas alejadas de la red eléctrica, asegurando un suministro continuo incluso cuando no hay luz solar disponible, como durante la noche o en días nublados. (Deye, 2024)

2.1.7 Dispositivos y tecnologías para aprovechar la energía solar

Para capturar y convertir la energía solar en una forma útil, se emplean diversos dispositivos y tecnologías especializadas. Los paneles solares fotovoltaicos son los más comunes en la generación de electricidad solar. Estos dispositivos están compuestos por células solares que transforman los fotones de la luz solar en electrones, creando así una corriente eléctrica que puede ser utilizada en diversas aplicaciones. (Deye, 2024) (HelioEsfera, 2025).

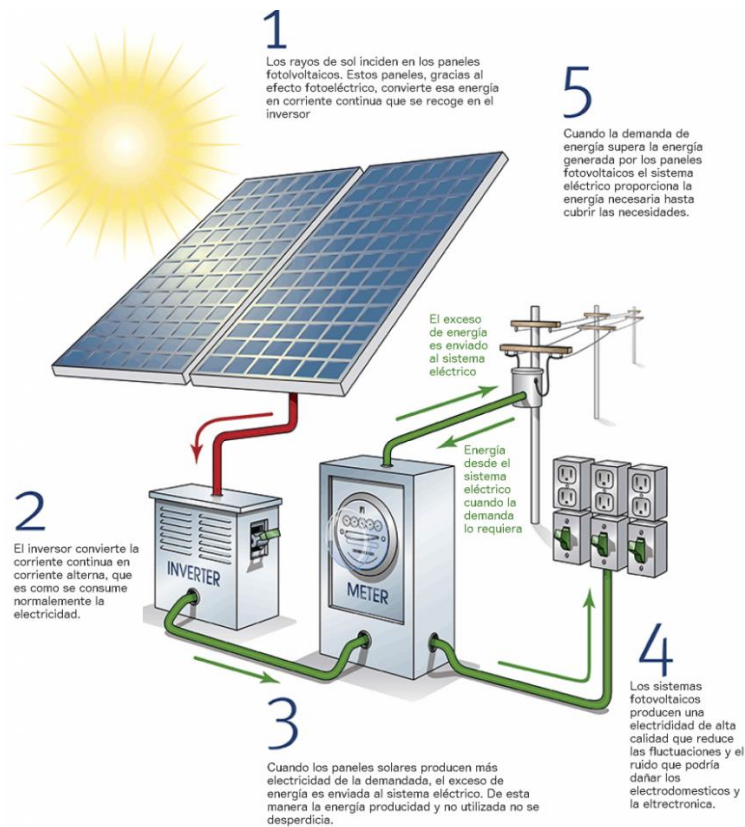


Figura 1. Elementos de un sistema fotovoltaico distribuido, tomado de (HelioEsfera, 2025).

Por otro lado, los colectores solares térmicos aprovechan el calor del sol para calentar un fluido, como agua o aire. Los colectores solares planos son los más tradicionales, pero los tubos solares evacuados ofrecen mayor eficiencia, especialmente en climas fríos, ya que minimizan las pérdidas de calor. Estos colectores capturan la radiación solar para calentar fluidos como agua o glicol, que se utilizan en calefacción, agua caliente sanitaria o refrigeración. Existen dos tipos principales: los planos, más comunes, y los tubos de vacío, más eficientes en climas fríos. Aunque la instalación inicial puede ser costosa, los sistemas térmicos se amortizan en 6 a 9 años y tienen una vida útil de hasta 25 años o más con un mantenimiento adecuado. (Alonso, 2023) (Carol Plazas, 2017).

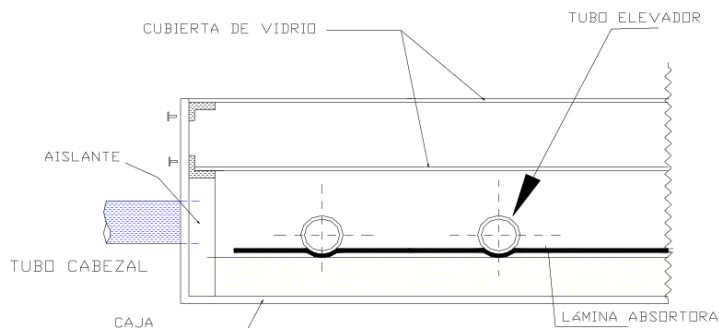


Figura 2. Descripción de un colector solar térmico.

Los inversores solares son esenciales para convertir la electricidad de corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es la forma utilizada en hogares y redes eléctricas. Además, estabilizan la energía, monitorizan el sistema y mejoran su rendimiento. Existen varios tipos de inversores, como los de conexión a red, los optimizadores de potencia y los microinversores, cada uno adaptado a diferentes necesidades de instalación (Mateo, 2023) (Perez, 2022)

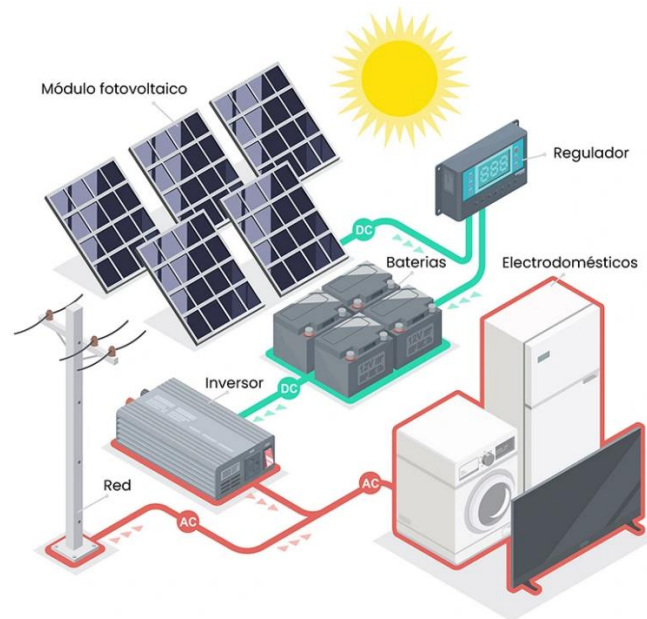


Figura 3. Representación del Inversor dentro de un sistema de generación fotovoltaico., tomado de (HelioEsfera, 2025).

Las baterías solares almacenan la energía generada durante el día, permitiendo su uso posterior en momentos en los que no está disponible luz solar, como durante la noche o en días nublados. Esto hace que las instalaciones solares sean más autónomas y funcionales en todo momento (Deye, 2024).

Los seguidores solares (*trackers*) son dispositivos que ajustan la orientación de los paneles solares a lo largo del día para maximizar la captación de luz solar. Pueden ser de un eje, que siguen el movimiento del sol de este a oeste, o de dos ejes, que permiten que los paneles sigan tanto el movimiento horizontal como vertical del sol. (solar, 2024)

Las plantas solares térmicas (CSP) utilizan espejos o lentes para concentrar la luz solar en un único punto, donde se genera calor que se transforma en energía mecánica, produciendo electricidad. Esta tecnología es especialmente utilizada en plantas solares de gran escala para generar grandes cantidades de energía. (Deye, 2024)

Los sistemas solares híbridos combinan la energía solar con otras fuentes de energía, como generadores a gas o gasolina, garantizando un suministro constante de energía, especialmente en áreas remotas donde no se tiene acceso a la red eléctrica. (Deye, 2024)

Finalmente, los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios (BIPV) incorporan células solares directamente en la estructura del edificio, como en fachadas o ventanas, aprovechando la energía solar sin comprometer el diseño arquitectónico. (Nieto, 2020).

2.2 Costo de unidades fotovoltaicas en Colombia

El costo de las unidades fotovoltaicas en Colombia varía dependiendo de factores como la capacidad del sistema, el tipo de panel y el proveedor. Los precios de los paneles solares en el mercado colombiano se presentan de manera diversa, reflejando las distintas opciones disponibles en términos de tecnología y características específicas de cada producto.

El panel solar monocristalino de alta eficiencia que se observa en la *Figura 4* tiene una potencia nominal de 540 W y se encuentra en el mercado local a un precio de \$1.382.700 COP.



Figura 4. Panel Solar Sylvania 540W (Market Place, 2023).

El panel policristalino se observa en la , con un costo de \$385.600 COP. (libre, Panel Solar Netion Policristalino 150W, s.f.)



Figura 5. Panel Solar Netion Policristalino 150W (libre, Panel Solar Netion Policristalino 150W, s.f.).

Panel monocristalino solar 345W se observa en la Ilustración 3, con una eficiencia del 18.1%, disponible por \$450.000 COP. (vivasolar-colombia, s.f.)



Figura 6- Panel Solar Jinko Solar 345W (vivasolar-colombia, s.f.).

El panel solar solar Powest Policristalino 345W, se observa en la Ilustración 4, Es adecuado para plantas de energía a gran escala, con un precio de \$940.150 COP. (libre, articulo.mercadolibre, s.f.).

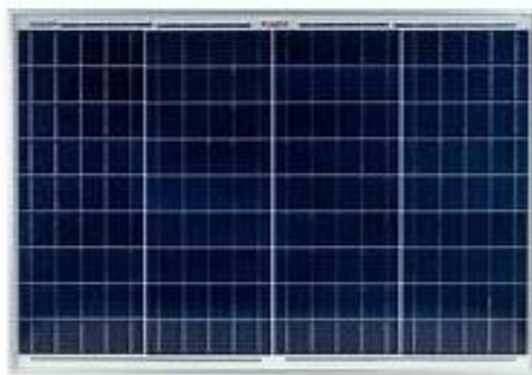


Figura 7. Panel Solar Powest Policristalino 345W (libre, articulo.mercadolibre, s.f.).

El panel solar Sylvania 165W se observa en la Ilustración 5, Es un panel compacto y eficiente, con un costo de \$372.900 COP. (Homecenter, s.f.)



Figura 8. Panel Solar Sylvania 165W (Homecenter, s.f.).

Estos precios pueden variar según el proveedor y las especificaciones técnicas de cada panel. Es recomendable contactar directamente a los proveedores para obtener cotizaciones actualizadas y adaptadas a las necesidades específicas de cada proyecto.

2.2.1 Costo de un Sistema Completo de Generación Fotovoltaica en Colombia:

En los últimos años, la energía solar ha emergido como una de las alternativas más atractivas y sostenibles para la generación de electricidad en Colombia. Gracias a su ubicación geográfica cercana al ecuador, el país posee un alto potencial para aprovechar la energía solar, lo que la convierte en una opción viable tanto para consumidores residenciales como comerciales (Greentech, 2023).

a. Paneles solares

Los costos de instalación de un sistema de paneles solares pueden oscilar entre \$8,3 millones y \$37,3 millones COP, dependiendo de factores como el tamaño y las especificaciones del sistema. Aunque la inversión inicial es alta, el presidente Gustavo Petro ha mencionado que este tipo de soluciones puede generar ahorros significativos en las facturas de electricidad, como lo demostró el caso de un colegio en Bogotá, donde las facturas se redujeron entre 20% y 30% (Arenales, 2023).

Sin embargo, los expertos advierten que, a pesar de los beneficios a largo plazo, el costo inicial puede representar un obstáculo importante para muchas familias colombianas. La implementación de un sistema fotovoltaico requiere una inversión considerable, que podría no ser accesible para un hogar promedio en Colombia que no cuente con los recursos necesarios para adquirir dicho sistema (Arenales, 2023).

También se menciona que los ahorros potenciales pueden variar dependiendo de las condiciones del lugar de instalación, como la orientación de los paneles y la disponibilidad de espacio, lo cual influye directamente en la producción de energía. Además, se destaca que los paneles solares tienen una vida útil de aproximadamente 25 años, lo que podría justificar la inversión a lo largo del tiempo (Arenales, 2023).

b. Inversores

Los inversores son componentes fundamentales en un sistema fotovoltaico, ya que se encargan de convertir la energía continua (DC) generada por los paneles solares en energía alterna (AC), que es la forma de energía que utilizan la mayoría de los electrodomésticos y equipos eléctricos. Existen diferentes tipos de inversores, siendo los más comunes los de onda cuadrada y los de onda sinusoidal (Caroline, 2025).

- **Inversores de Onda Cuadrada:** Este tipo de inversor genera una forma de onda cuadrada, con subidas y bajadas bruscas en ángulos de 90 grados. Aunque son más baratos de fabricar y pueden alimentar electrodomésticos básicos, como calefactores o bombillas, no son recomendables para dispositivos electrónicos modernos o equipos con motor debido a los niveles elevados de armónicos que contienen, lo que puede dañarlos a largo plazo. Son apropiados principalmente para herramientas eléctricas y equipos pesados que no dependen de una corriente alterna limpia. (Caroline, 2025)
- **Inversores de Onda Sinusoidal:** Los inversores de onda sinusoidal, también conocidos como inversores de onda sinusoidal pura, generan una corriente alterna suave y estable, similar a la que se obtiene de la red eléctrica. Estos inversores son más costosos debido a su diseño avanzado, pero son mucho más eficientes y seguros para alimentar dispositivos electrónicos sensibles, como computadoras, microondas, refrigeradores y equipos médicos. Además, los inversores de onda sinusoidal tienen la ventaja de generar menos calor, lo que aumenta la eficiencia energética y la duración de la batería del sistema (Caroline, 2025).

En el mercado colombiano, los inversores de corriente de onda sinusoidal pura representan una opción eficiente y segura para alimentar equipos electrónicos sensibles, gracias a su alta calidad y características avanzadas. Un ejemplo representativo es el inversor VOLVERT de 2500W, el cual convierte corriente continua

de 12V a corriente alterna de 110/120V, ofreciendo una potencia continua de 2500W y máxima de 5000W, con una eficiencia de conversión superior al 90%. Este equipo cuenta con múltiples opciones de conectividad, incluyendo tres salidas de CA, dos puertos USB, un puerto tipo C, pantalla LCD y control remoto inalámbrico, lo que facilita su uso y monitoreo. Además, incorpora protecciones integrales contra sobrecarga, sobrecalentamiento, cortocircuito, entre otros, prolongando la vida útil tanto del inversor como de los dispositivos conectados. Con un costo aproximado de \$2.414.777 COP, este tipo de tecnología representa una inversión inicial considerable, pero justificada por su durabilidad, eficiencia energética y seguridad operativa, lo cual favorece su implementación en sistemas que requieren estabilidad y rendimiento constante. (yaxa, s.f.)

C. Baterías y Almacenamiento de Energía

Las baterías juegan un papel fundamental en los sistemas solares, ya que permiten almacenar la energía generada durante el día para su uso durante la noche o en días nublados. Aunque no todos los sistemas solares requieren baterías, su instalación aumenta considerablemente el costo del sistema, pero proporciona la ventaja de una autonomía energética. Las baterías de gel y monoblock son las más comunes en sistemas fotovoltaicos debido a su eficiencia y durabilidad (Energía, 2024).

2.2.2 Baterías de Gel

Las baterías de gel son un tipo de batería sellada que no utiliza electrolito líquido, como las tradicionales baterías de plomo-ácido. En lugar de este electrolito, emplean una mezcla de ácido sulfúrico y óxido de silicio que forma un gel. Este diseño innovador permite que el electrolito permanezca dentro de la batería, evitando derrames o evaporación. Gracias a su estructura, las baterías de gel tienen una baja tasa de autodescarga, lo que las hace ideales para sistemas solares que pueden permanecer inactivos durante largos períodos. (Autosolar, 2025)

2.2.2.1 Diseño

El diseño hermético y el uso del electrolito gelificado hace que las baterías de gel sean más seguras y duraderas en comparación con las baterías de plomo-ácido tradicionales.

- **Seguridad:** Previenen fugas y pueden instalarse en cualquier posición.
- **Resistencia:** Son más resistentes a altas temperaturas y sobrecargas, lo que prolonga su vida útil.
- **Mantenimiento reducido:** No requieren mantenimiento frecuente debido a su diseño sellado.
- **Larga vida útil:** Tienen una vida útil promedio de seis años y mantienen un rendimiento constante durante la mayor parte de su ciclo (Autosolar, 2025).

2.2.2.2 Funcionamiento en un Sistema Solar

En un sistema fotovoltaico, el proceso de carga y descarga de las baterías de gel es crucial para su funcionamiento. Durante la carga, la energía generada por los paneles solares se convierte en corriente continua (CC) y se almacena en la batería, donde el plomo de las placas reacciona con el ácido sulfúrico y el gel, transformando la energía solar en energía química. Esta energía se conserva en las placas y el gel, lo que permite que la batería mantenga la carga durante largos períodos, incluso cuando la producción solar es baja. Cuando se necesita energía, la batería convierte la energía química nuevamente en corriente continua (CC) para alimentar los dispositivos conectados. Este ciclo de carga y descarga se repite a lo largo de la vida útil de

la batería, lo que posibilita el uso de la energía almacenada cuando la producción solar es insuficiente, siendo importante monitorear estos ciclos para evitar daños por sobrecarga o descarga profunda (Autosolar, 2025).

2.2.2.3 Aplicaciones y Ventajas

Las baterías de gel son especialmente recomendadas para aplicaciones que requieren alta fiabilidad debido a su capacidad de almacenar energía de manera eficiente y duradera. En el ámbito de la energía solar, permiten almacenar la energía generada durante el día para su uso en la noche o en condiciones de baja radiación solar. También son fundamentales en equipos de respaldo, garantizando un suministro constante de energía en situaciones de fallos en la red eléctrica. Su uso en vehículos eléctricos es común, ya que ofrecen una autonomía eficiente y confiable, lo que las hace ideales para este tipo de aplicaciones. Además, en el sector de las telecomunicaciones, proporcionan una fuente confiable de energía, asegurando el funcionamiento ininterrumpido de las infraestructuras y sistemas de comunicación, esenciales para la conectividad global (Autosolar, Baterías GEL, 2025).

Las baterías de gel ofrecen diversas ventajas que las hacen ideales para aplicaciones como sistemas solares, vehículos eléctricos y equipos de respaldo. Su diseño hermético y el uso de un electrolito gelificado les permiten funcionar sin necesidad de mantenimiento frecuente, lo que aumenta su durabilidad. Tienen una vida útil promedio de seis años y mantienen un rendimiento constante durante la mayor parte de su ciclo, con una disminución abrupta solo al final de su vida útil. Estas baterías pueden instalarse en cualquier posición debido a su diseño a prueba de derrames, lo que las hace versátiles en varios entornos. Además, son más resistentes al calor que las baterías tradicionales y no presentan el riesgo de fugas, ya que no contienen líquidos libres y están equipadas con válvulas de seguridad. Su resistencia a vibraciones y su capacidad para soportar descargas profundas sin sufrir daños las convierte en una opción confiable en condiciones extremas. También generan una mínima cantidad de humo, lo que permite su uso en espacios cerrados, y tienen una baja tasa de autodescarga, lo que garantiza que conserven su carga durante períodos prolongados sin uso. En resumen, las baterías de gel destacan por su seguridad, eficiencia, y larga vida útil, lo que las hace ideales para diversas aplicaciones de almacenamiento de energía (Autosolar, 2025) (Higonsolar, 2023).

2.2.2.4 Costo

Las baterías de gel son una opción ampliamente preferida en los sistemas de energía solar debido a su durabilidad, eficiencia y bajo mantenimiento. Fabricadas con materiales de alta calidad y bajo estrictos estándares, estas baterías garantizan un rendimiento constante a lo largo del tiempo, lo que las convierte en una inversión confiable para cualquier instalación solar (Autosolar, Baterías GEL, s.f.).

En Colombia, el precio de las baterías de gel varía considerablemente dependiendo de factores como la marca, la capacidad y las características específicas de cada modelo. Por ejemplo, algunas empresas especializadas en energía solar, como AutoSolar, ofrecen baterías de gel con precios que oscilan según las necesidades de cada proyecto. El costo de una batería de gel de 12V y 200Ah puede fluctuar entre \$1,200,000 COP y \$2,000,000 COP (AutoSolar, 2025).

Referencia batería gel	Especificaciones técnicas de las baterías de gel	Precio de una batería gel
Batería 12V 40Ah Tensite	<ul style="list-style-type: none"> Voltaje nominal: 12V (Voltios) Capacidad nominal: 40Ah (Amperios-hora) Peso: 13.45Kg Medidas (Longitud, ancho y altura) 197 mm x 165 mm x 173 mm 	\$422.836
Batería 12V 100Ah Tb Plus	<ul style="list-style-type: none"> Voltaje nominal: 12V (Voltios) Capacidad nominal: 100Ah (Amperios-hora) Peso: 31.2Kg Medidas (Longitud, ancho y altura) 330 mm x 173 mm x 216 mm 	\$1.0940.800
Batería Estacionaria 600Ah 6V Ultracell UZV600-6	<ul style="list-style-type: none"> Voltaje nominal: 6V (Voltios) Capacidad nominal: 600Ah (Amperios-hora) Peso: 58.5Kg Medidas (Longitud, ancho y altura) 295 mm x 178 mm x 408 mm 	\$2.277.606

Figura 9. Especificaciones técnicas de baterías GEL, (Autosolar, 2025).

2.2.3 Baterías Monoblock GEL

Las baterías Monoblock GEL son una versión avanzada de las baterías de gel. Se caracterizan por un diseño sellado, lo que las hace completamente libres de mantenimiento y sin emisión de gases, lo que las convierte en una opción segura y eficiente. Estas baterías tienen una mayor resistencia y un número de ciclos de carga significativamente más alto en comparación con las baterías AGM (Absorbent Glass Mat). Las Baterías Monoblock GEL superan a las AGM en un 25% en cuanto a su ciclo de vida y en un 50% respecto a otras baterías monoblock (AutoSolar, 2025).

2.2.3.1 Características y Funcionamiento

Al igual que las baterías de gel, las baterías Monoblock GEL cuentan con una estructura cerrada que evita derrames y no requiere mantenimiento, lo que las convierte en una opción ideal para aplicaciones exigentes, como instalaciones solares fotovoltaicas, vehículos recreativos y sistemas de respaldo. Estas baterías ofrecen un diseño sin mantenimiento, ya que no emiten gases ni líquidos, lo que reduce significativamente los costos de mantenimiento. Además, su instalación sencilla permite utilizarlas tanto de manera independiente como dentro de un sistema fotovoltaico, facilitando su integración. Gracias a su durabilidad, tienen una vida útil más prolongada y son altamente resistentes a las vibraciones, lo que las hace aptas para soportar condiciones extremas, garantizando un rendimiento confiable en una amplia gama de entornos (AutoSolar, 2025).

2.2.3.2 Precios y Costos

El costo de las baterías Monoblock GEL puede variar dependiendo de la capacidad y la marca. Por ejemplo, una batería GEL 12V 100Ah Tensite puede costar aproximadamente 137,34 €, mientras que una batería GEL 12V 300Ah Tensite se encuentra en el rango de 310,97 €. Para aplicaciones solares, el precio de una batería Solar GEL 12V 98Ah Ultracell UCG-98-12 puede ser de 151,55 €, y la GEL 12V 172Ah Ultracell UCG-172-12 cuesta aproximadamente 245,41 €. (Autosolar, Baterías Monoblock GEL, s.f.)

En pesos colombianos, los precios de estas baterías pueden oscilar entre 250.000 COP y 1.500.000 COP, dependiendo de la capacidad. Para sistemas más grandes, como las baterías Monoblock de mayor capacidad, el precio puede superar los 5.000.000 COP (Autosolar, Baterías Monoblock GEL, s.f.)

2.2.3.3 d. Estructura de Montaje y Materiales de Instalación

En Colombia, la estructura de montaje y los materiales de instalación representan componentes esenciales en los sistemas fotovoltaicos, tanto por su función técnica como por su impacto en el costo total del proyecto. El precio de las estructuras varía según el tipo de instalación (techo o suelo), la cantidad de paneles y el material utilizado. Por ejemplo, en AutoSolar, una estructura para tres paneles solares sobre suelo con inclinación de 15° a 30° tiene un costo aproximado de \$549.782 COP, mientras que una estructura para seis paneles sobre techo de teja de barro puede alcanzar los \$1.258.415 COP. (AutoSolar, 2025)

2.2.4 2. Costo total de instalación

El costo total de la instalación de un sistema fotovoltaico depende del tamaño y los componentes seleccionados.

- Sistema de 3 kW (aproximadamente 6 paneles solares): \$6,000,000 COP a \$9,000,000 COP.
- Sistema de 5 kW (aproximadamente 10 paneles solares): \$9,000,000 COP a \$14,000,000 COP.
- Sistema de 10 kW (aproximadamente 20 paneles solares): \$18,000,000 COP a \$25,000,000 COP (Greentech, 2023).

D. Regulador MPPT

se utiliza para maximizar la eficiencia de los paneles solares al ajustar continuamente la carga de los paneles para operar en su punto de máxima potencia. Esto se logra al controlar la relación entre el voltaje de los paneles y el de la batería, optimizando la energía extraída de los paneles solares según las condiciones de luz y temperatura. Sus características incluyen

- Mayor eficiencia: aumenta hasta un 30% la producción de energía.
- Protección de las baterías: evita sobrecargas y descarga excesiva, lo que prolonga su vida útil.
- Flexibilidad: permite el uso de paneles solares de diferentes tamaños y tipos.
- Seguridad: incluye protecciones contra sobretensiones, sobrecargas y cortocircuitos. (Solarcos, 23)

E. Acometida y cableado eléctrico

Para la instalación de paneles solares, es crucial considerar varios aspectos relacionados con los cables fotovoltaicos

- Normas y Certificaciones: Asegúrate de usar cables que cumplan con normas como la EN 50618, especialmente para instalaciones de alta tensión (hasta 1500V). Los cables deben estar certificados para garantizar su seguridad y durabilidad.
- Material del cable: Es importante que los cables sean de cobre estañado para evitar la corrosión y que tengan aislamiento LSHF (Low Smoke Halogen Free) para evitar la emisión de gases tóxicos en caso de incendio.
- Tipos de cables: Los cables fotovoltaicos incluyen cables de "string" (que conectan los paneles al concentrador) y cables de alimentación de CC y CA que conectan los paneles con los inversores y transformadores.
- Resistencia a condiciones externas: Los cables deben ser resistentes a factores ambientales como la radiación UV, la humedad y las altas temperaturas (Top Cable, 2023).

F. Reguladores de cable

- Control de carga eficiente Ajusta el flujo de energía entre los paneles solares y las baterías, asegurando que las baterías se carguen adecuadamente para prolongar su vida útil. Utiliza tres fases de carga: *Bulk*, *Absorción* y *Flotación*.
- Protección contra sobrecargas Evita que las baterías se sobrecarguen, asegurando un llenado adecuado y protegiendo las baterías contra daños.
- Función de descarga profunda Protege las baterías evitando descargas excesivas, lo que podría dañarlas permanentemente.
- Monitoreo del sistema Algunos modelos incluyen pantallas para mostrar información sobre el voltaje de las baterías, la corriente generada, el estado de carga, entre otros.
- Tipos de reguladores Existen reguladores PWM (Modulación por Ancho de Pulsos) y MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia), siendo los MPPT más eficientes al maximizar la producción energética.
- Protección contra inversión de corriente Evita que la corriente fluya de la batería a los paneles solares durante la noche (Monsolar, 2025).

G. materiales de instalación y fijación

- Rieles de aluminio: Se utilizan para montar y asegurar los paneles solares en techos o suelos, proporcionando una base estable y resistente.
- Sistemas de fijación: Incluyen pernos, abrazaderas, y otros accesorios que permiten ajustar los paneles a los rieles de aluminio y asegurar una instalación duradera y segura.
- Cables eléctricos: Son esenciales para conectar los paneles solares, inversores, baterías y otros componentes del sistema fotovoltaico.
- Inversores y reguladores de carga: Se instalan para convertir y regular la energía generada, asegurando que se utilice de manera eficiente.
- Conectores y herramientas de instalación: Permiten realizar las conexiones eléctricas de manera segura y eficiente entre los distintos componentes (Hi Power, 2025).

H. Generalidades, aplicaciones, costos totales y disponibilidad de elementos

Las tecnologías *Cleantech* enfocadas en la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente. Se destacan por su capacidad para ofrecer soluciones limpias, reduciendo el impacto ambiental en diversas industrias. Estas tecnologías tienen aplicaciones en sectores como la energía renovable, el reciclaje, la eficiencia energética y la gestión del agua. En cuanto a los costos totales, aunque la inversión inicial puede ser elevada, los ahorros a largo plazo y la eficiencia energética pueden justificar el gasto. Respecto a la disponibilidad de elementos, los materiales y componentes para las *Cleantech* están disponibles, pero a menudo se necesita una infraestructura específica y un desarrollo continuo para aumentar su accesibilidad a gran escala (BBVA, 2025).

2.3 Aplicaciones en sistemas de aire acondicionado

La energía solar se ha convertido en una opción cada vez más popular para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de aire acondicionado. Al aprovechar la energía solar para alimentar estos sistemas, se no solo reduce el consumo de energía proveniente de la red eléctrica, sino que también se puede lograr una disminución significativa de las facturas de electricidad y una notable reducción de la huella de carbono. El uso de energía solar en sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) está revolucionando la forma en que regulamos el clima en nuestros hogares y edificios. Los sistemas solares

permiten convertir la luz solar en electricidad mediante paneles fotovoltaicos, que alimentan directamente los componentes del sistema de aire acondicionado, mejorando así la eficiencia energética. (Deye, 2024)

Además, las soluciones solares para HVAC pueden ser una alternativa más ecológica y rentable a largo plazo, ya que no solo contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también permiten a los usuarios ahorrar considerablemente en costos de energía. La tecnología solar continúa avanzando, y a medida que los costos de instalación disminuyen, los sistemas de aire acondicionado solares se están volviendo más accesibles y viables para una mayor cantidad de consumidores (Deye, 2024).

2.3.1 Características de un sistema de AC basado en generación fotovoltaica

Los sistemas de aire acondicionado solar fotovoltaico utilizan paneles solares fotovoltaicos para generar electricidad, que luego alimenta el sistema de aire acondicionado. Los paneles solares convierten la luz solar en corriente continua (CC), que es transformada en corriente alterna (CA) a través de un inversor para ser utilizada por el aire acondicionado. (Aprender21, 2024)

Funcionamiento:

- Los paneles solares están instalados en el techo o en una zona con buena exposición al sol.
- La electricidad generada por los paneles alimenta directamente el aire acondicionado o se almacena en baterías solares para su uso posterior.
- En los días soleados, el aire acondicionado funciona principalmente con energía solar, reduciendo así el consumo de electricidad proveniente de la red (Aprender21, 2024).

Aplicaciones:

- **Viviendas:** Reducción del consumo de energía de la red eléctrica al utilizar energía solar para el funcionamiento del aire acondicionado.
- **Oficinas y comercios:** Disminución de los costos de energía en edificios comerciales, especialmente en lugares donde los sistemas de climatización son esenciales (Aprender21, 2024).

2.3.1.1 Aire acondicionado con bomba de calor solar

Las bombas de calor solares son sistemas capaces de proporcionar tanto aire acondicionado como calefacción utilizando energía solar. Estos sistemas emplean paneles solares térmicos, que calientan un fluido utilizado por la bomba de calor. (Solarmente, 2024)

Funcionamiento:

- Los colectores solares térmicos capturan la energía solar y calientan un fluido que pasa por el sistema de la bomba de calor.
- Este calor es transferido al aire, bien sea para enfriar o calentar el espacio, dependiendo de la estación del año.
- En modo de refrigeración, el sistema puede enfriar el aire en lugar de producir calor. (Solarmente, 2024)

Aplicaciones:

- **Climatización en viviendas:** Ideal para climas soleados, permitiendo calefacción y refrigeración mediante energía solar (Perpiñán, 2023).
- **Sistemas híbridos:** Combinan energía solar con la electricidad de la red para funcionar de manera más eficiente, especialmente en áreas donde la radiación solar varía durante el día. (Solarmente, 2024)

2.3.1.2 Aires acondicionados solares de absorción

Los aires acondicionados de absorción funcionan mediante un proceso térmico, en lugar de utilizar compresores eléctricos convencionales. Estos sistemas pueden ser alimentados con energía solar térmica.

Funcionamiento:

- Los colectores solares térmicos calientan una solución de agua y amoníaco o litio, que genera vapor.
- Este vapor se utiliza para hacer funcionar el ciclo de absorción, produciendo frío.
- A diferencia de los sistemas convencionales, estos sistemas no requieren electricidad para el compresor, lo que los hace ideales para operar con energía solar.

Aplicaciones:

- **Grandes instalaciones comerciales:** Ideal para edificios grandes o instalaciones industriales donde se requiere una alta capacidad de enfriamiento.
- **Instalaciones fuera de la red:** Perfecto para áreas rurales o remotas donde no hay acceso a la electricidad de la red, pero sí suficiente radiación solar.

2.3.1.3 Sistemas híbridos (Energía solar y red eléctrica)

Los sistemas híbridos combinan energía solar con electricidad de la red eléctrica para alimentar el aire acondicionado de manera más eficiente. Estos sistemas aprovechan la energía solar durante el día y recurren a la red eléctrica cuando la radiación solar no es suficiente.

Funcionamiento:

- Durante el día, los paneles solares generan electricidad que alimenta el aire acondicionado.
- Si la capacidad del sistema solar es insuficiente o la demanda es mayor, el sistema se conecta a la red eléctrica.
- En algunos casos, las baterías solares pueden almacenar energía para su uso posterior, como por la noche o en días nublados.

Aplicaciones:

- **Viviendas:** Ideal para hogares con sistemas fotovoltaicos que desean alimentar el aire acondicionado con energía solar durante el día.
- **Oficinas y edificios comerciales:** Permite equilibrar el costo de la energía, utilizando la energía solar durante las horas de mayor calor y recurriendo a la red eléctrica cuando sea necesario.

2.3.1.4 Ventiladores solares

Los ventiladores solares son dispositivos simples que, aunque no son sistemas de aire acondicionado completos, utilizan paneles solares para proporcionar ventilación y reducir la temperatura en áreas donde un aire acondicionado completo no es necesario.

Funcionamiento:

- Los paneles solares alimentan un ventilador eléctrico que mejora la circulación del aire, ayudando a reducir la temperatura en el interior.
- Son más económicos que los sistemas tradicionales de aire acondicionado.

Aplicaciones:

- **Viviendas en zonas cálidas:** Proporcionan alivio del calor sin los costos elevados de los sistemas de aire acondicionado convencionales.
- **Invernaderos y almacenes:** Útiles en lugares donde es necesario mantener temperaturas estables sin un uso intensivo de energía.

2.4 ¿Cuáles son los elementos que constituyen un sistema de aire acondicionado?

Los sistemas de aire acondicionado, fundamentales para mantener un ambiente cómodo en espacios residenciales y comerciales, están compuestos por diversos elementos que funcionan en conjunto para enfriar el aire de manera eficaz. Cada componente cumple una función específica dentro del ciclo de refrigeración, y su integración con tecnologías como los sistemas fotovoltaicos puede optimizar su rendimiento, aprovechando la energía solar para reducir el consumo de electricidad convencional. (Arnabat, 2024)

- Compresor:** el compresor es el componente central de cualquier sistema de aire acondicionado. Su función principal es comprimir el gas refrigerante, aumentando su presión y temperatura antes de enviarlo al condensador. Este proceso requiere energía eléctrica, la cual puede ser proporcionada eficientemente por los paneles solares de un sistema fotovoltaico, reduciendo la dependencia de la red eléctrica (Arnabat, 2024).
- Condensador:** el condensador es un intercambiador de calor que permite al gas refrigerante, previamente comprimido, liberar el calor absorbido del interior del edificio. Al pasar por este componente, el gas se enfría y se convierte nuevamente en líquido. Al ser alimentado por energía solar, el condensador funciona de manera más eficiente, ayudando a optimizar el consumo energético global del sistema (Arnabat, 2024).
- Ventilador:** el ventilador del condensador juega un papel esencial en el enfriamiento, disipando el calor del refrigerante para facilitar su conversión de gas caliente a líquido. Además, los ventiladores internos distribuyen el aire frío a través de las distintas áreas del espacio. Estos ventiladores pueden ser alimentados por energía generada por los paneles solares, lo que contribuye a una mayor eficiencia energética y menor consumo de electricidad de la red (Arnabat, 2024).
- Válvula de expansión:** la válvula de expansión controla la cantidad de refrigerante que fluye hacia el evaporador. Al reducir la presión y temperatura del refrigerante, permite que este se evapore y absorba calor del ambiente. Aunque su función es principalmente mecánica, el sistema fotovoltaico asegura que la energía que alimenta este proceso sea limpia y eficiente (Arnabat, 2024).
- Evaporador (Unidad Interna o Split):** el evaporador es donde ocurre el enfriamiento del aire interior. Este componente absorbe el calor del aire circundante, haciendo que el refrigerante pase de líquido a gas. Los sistemas fotovoltaicos permiten que el evaporador funcione de manera más económica, utilizando energía solar para enfriar el ambiente sin recurrir a la red eléctrica (Arnabat, 2024).
- Gas refrigerante:** el gas refrigerante es el fluido que circula entre la unidad interna y externa del aire acondicionado. Su función es absorber el calor del aire y liberarlo al exterior, permitiendo el ciclo de refrigeración. Aunque el gas en sí no es parte del sistema fotovoltaico, el uso de paneles solares para alimentar el sistema de aire acondicionado mejora la eficiencia de todo el ciclo, ya que la energía solar reemplaza parcialmente la electricidad convencional (Mulero, 2023).
- Termostato:** El termostato regula la temperatura interna del espacio. Este dispositivo detecta las fluctuaciones de temperatura y activa o desactiva el sistema de aire acondicionado según sea necesario. En un sistema fotovoltaico, el termostato también optimiza el uso de la energía solar, asegurando que el sistema solo se active cuando haya suficiente energía disponible para operar de manera eficiente (Mulero, 2023).
- Conductos (En sistemas centrales):** los conductos son los pasajes a través de los cuales el aire frío generado por el sistema de aire acondicionado es distribuido en las diferentes áreas del edificio. En

un sistema fotovoltaico, los ventiladores que impulsan el aire a través de estos conductos también pueden ser alimentados por energía solar, reduciendo el consumo eléctrico general (Mulero, 2023).

Cada uno de estos componentes depende de la electricidad para funcionar, y un sistema fotovoltaico es una excelente solución para reducir la demanda de energía de la red eléctrica. Los paneles solares proporcionan la energía necesaria para alimentar tanto los componentes principales (como el compresor y el ventilador) como los accesorios (como el termostato y la válvula de expansión), lo que permite un funcionamiento más eficiente y económico del aire acondicionado. Además, el uso de energía solar no solo optimiza el rendimiento del sistema, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

2.5 Sistemas de alimentación energética para aire acondicionado

2.5.1 Alimentación eléctrica

La mayoría de los sistemas de aire acondicionado utilizan energía eléctrica para su funcionamiento, que se suministra generalmente de dos formas:

- **Monofásica (110V - 220V):** comúnmente empleada en sistemas residenciales o comerciales pequeños, donde el aire acondicionado tiene una capacidad de enfriamiento moderada.
- **Trifásica (208V - 480V):** Utilizada en sistemas de mayor capacidad, como en grandes edificios comerciales o instalaciones industriales, debido a su capacidad para manejar cargas más altas y su eficiencia en la distribución de energía.

2.5.2 Motores de combustión interna

En algunos sistemas de aire acondicionado de mayor escala, como los utilizados en vehículos o aplicaciones industriales, se emplean motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles para generar la energía necesaria:

- **Motores a gasolina o diésel:** Usados principalmente en sistemas de aire acondicionado portátiles o en unidades móviles como las de camiones refrigerados.
- **Turbinas de gas:** Utilizadas en aplicaciones industriales de gran demanda energética, donde se requiere un suministro constante de potencia para mantener la operación del sistema de climatización.

Energía solar Con el avance de las energías renovables, los sistemas fotovoltaicos han emergido como una alternativa ecológica para alimentar los sistemas de aire acondicionado:

- **Paneles fotovoltaicos:** Estos captan la energía solar y la convierten en corriente continua (DC), que posteriormente es convertida a corriente alterna (AC) mediante el uso de inversores. Este sistema es especialmente útil en instalaciones donde se desea reducir el consumo de energía de la red eléctrica o donde hay un enfoque en la sostenibilidad.
- **Sistemas híbridos:** Combinan la energía solar con la red eléctrica, lo que permite que los sistemas de aire acondicionado aprovechen la energía solar durante el día y recurran a la red cuando la radiación solar es insuficiente, optimizando el rendimiento y reduciendo costos operativos.

2.5.3 Sistemas de absorción (energía térmica)

Existen sistemas de aire acondicionado que funcionan con energía térmica en lugar de la electricidad, lo que los hace adecuados para instalaciones que requieren altas capacidades de refrigeración y tienen acceso a fuentes de calor:

- **Aire acondicionado por absorción:** Utilizan fuentes de calor, como quemadores de gas natural, biomasa, vapor o energía solar térmica, para evaporar el refrigerante en lugar de usar un compresor eléctrico. Este tipo de sistema es común en aplicaciones industriales y comerciales de gran escala donde la demanda de refrigeración es constante y el acceso a electricidad puede ser costoso o limitado.

2.6 Evaluación de las tarifas de energía eléctrica para la Industria en Colombia

En los últimos años, las tarifas de energía eléctrica en Colombia han experimentado incrementos significativos, lo que ha afectado directamente a diversos sectores industriales, incluyendo el de los aires acondicionados. Según datos del startup Energy Master, entre junio de 2023 y junio de 2024, las tarifas para empresas aumentaron hasta un 32%, con un incremento promedio del 20% en los principales departamentos del país (Ehplus, 2024).

En 2024, las tarifas alcanzaron niveles históricos, con los valores más altos registrados en tres décadas. Este aumento ha sido atribuido a varios factores, siendo uno de los más relevantes la reducción de los niveles de los embalses, que pasaron del 70% en 2023 al 55% en octubre de 2024. Esta situación obligó al sector energético a implementar medidas de emergencia para mitigar los efectos de la crisis (Agencia API, 2024).

Además, el Ministerio de Hacienda y Crédito Público de Colombia, en su informe de 2024, presentó un ranking con las empresas que tienen las tarifas más altas por kilovatio. Esta información permite comprender mejor las diferencias en los costos que enfrenta la industria, así como identificar a los actores clave en el sector energético (Sandoval, 2024).

En relación con las tarifas específicas por operador, el Ministerio publicó el ranking de empresas con las tarifas más altas por kilovatio en 2024 de acuerdo con lo que se observa en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Tarifas de electricidad en Colombia, tomado de (Sandoval, 2024).

Operador	Tarifa por kWh (COP)
Air-e	1.186
Afinia	1.128
Emevasi	1.066
CEO	1.025
EDEQ	1.023

Estos incrementos en las tarifas de energía tienen un impacto directo en los costos operativos de la industria de los aires acondicionados, afectando tanto la fabricación como la instalación y mantenimiento de los equipos. (Sandoval, 2024)

Históricamente, en 2005, la industria colombiana consumía el 31.8% de la energía total del país, con una tarifa industrial promedio de US\$0.0975 por kWh, un valor ligeramente inferior al promedio de América Latina. Además, la industria es el mayor consumidor de electricidad, seguida por la explotación de minas y carbón, y también representa más del 26% del consumo de gas natural, especialmente para procesos térmicos y de cogeneración. Esta dependencia energética es aún más crítica durante fenómenos como El Niño, cuando la generación hidráulica disminuye y se recurre más a las fuentes térmicas (Cortázar, 2025).

Ante estos recientes incrementos en las tarifas de energía, es urgente que las empresas adopten medidas de eficiencia energética. La implementación de tecnologías más eficientes y la exploración de fuentes de energía alternativas, como la cogeneración y las energías renovables, son esenciales para mitigar el impacto de los costos y garantizar la competitividad en el mercado (Cortázar, 2025).

2.7 Análisis del precio del galón de diésel en Colombia

A partir del 1 de febrero de 2025, el precio promedio del galón de diésel (ACPM) en Colombia experimentó un aumento de \$38, ubicándose en \$10.461 por galón. En la ciudad de Medellín, este incremento es aún más pronunciado, con un precio de \$10.789 por galón. Estos ajustes reflejan las modificaciones más recientes en los costos del diésel a nivel nacional, los cuales pueden variar dependiendo de la ciudad y otros factores locales, como la oferta y demanda del combustible, así como las políticas regionales de distribución y precios (siglo, 2025).

2.8 Tasas de interés y tasas de inflación

En 2024, la inflación general en Colombia se redujo al 5,20%, la cifra más baja en cuatro años, lo que ha tenido un impacto significativo en los costos de diversos productos y servicios en el país (Reuters, 2025). Durante el mismo año, la industria del aire acondicionado experimentó un crecimiento significativo, con un aumento del 47% en las ventas, impulsado por el fenómeno de El Niño y una mayor demanda de equipos eficientes en consumo energético (El Nuevo Siglo, 2024). Aunque no se dispone de datos específicos sobre las tasas de inflación y de interés exclusivas para la industria del aire acondicionado, es importante destacar que las tasas de interés en Colombia suelen estar influenciadas por la inflación general y las políticas del Banco de la República. Estas tasas afectan los costos de financiamiento para las empresas del sector, impactando en la inversión y en los precios finales de los productos (Camacol, 2025).

El cambio climático, junto con el aumento de las temperaturas en muchas regiones del mundo, ha generado una mayor demanda de sistemas de aire acondicionado, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas y en climas cálidos. Estos sistemas, aunque esenciales para el confort y la salud, requieren una gran cantidad de energía, que proviene principalmente de fuentes fósiles. Como resultado, su uso intensivo contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, exacerbando los problemas ambientales globales y elevando los costos energéticos tanto a nivel individual como colectivo (El Nuevo Siglo, 2024).

Frente a estos retos, la generación de energía fotovoltaica se perfila como una alternativa viable y sostenible para satisfacer la demanda energética de los sistemas de aire acondicionado. La tecnología fotovoltaica convierte la radiación solar en electricidad, lo que ofrece una fuente limpia y renovable que puede disminuir la dependencia de combustibles fósiles y reducir las emisiones de CO₂. Sin embargo, la variabilidad de la irradiación solar y los altos costos iniciales de instalación presentan desafíos significativos para su adopción generalizada, especialmente en aplicaciones de alta demanda como el aire acondicionado, lo que requiere de soluciones innovadoras y subsidios gubernamentales que faciliten la transición hacia fuentes de energía más limpias (Valor & Dinero, 2024).

2.9 Integración de sistemas fotovoltaicos con sistemas de aire acondicionado: viabilidad técnica y económica

Con el fin de enfrentar los desafíos derivados del aumento de la demanda energética y los problemas ambientales generados por los sistemas de aire acondicionado tradicionales, se propone la integración de sistemas fotovoltaicos como fuente de alimentación para dichos equipos. Este enfoque busca evaluar tanto la viabilidad técnica como económica de la implementación de esta tecnología en un contexto específico, considerando las condiciones locales y las necesidades energéticas.

Este trabajo se orienta a responder las siguientes preguntas:

- a. ¿Cuál es la eficiencia y el rendimiento de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía fotovoltaica bajo diversas condiciones climáticas?
- b. ¿Qué impacto económico y ambiental tiene la implementación de esta tecnología en comparación con los sistemas de aire acondicionado convencionales?
- c. ¿Cuáles son las barreras y limitaciones técnicas que podrían dificultar la adopción de la combinación de estas tecnologías?

2.9.1 Hipótesis

La generación de energía fotovoltaica aplicada a sistemas de aire acondicionado puede reducir significativamente el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero, presentando una solución sostenible y rentable en condiciones climáticas adecuadas.

Este enfoque permitirá evaluar la capacidad de la tecnología fotovoltaica para enfrentar desafíos ambientales y energéticos, así como su posible contribución al desarrollo de ciudades más sostenibles y resilientes.

2.9.2 Justificación

La investigación sobre la generación de energía fotovoltaica aplicada a sistemas de aire acondicionado responde a la urgente necesidad de soluciones energéticas sostenibles frente a la creciente demanda de climatización. En un contexto global donde el cambio climático y las altas temperaturas afectan cada vez más a las poblaciones, especialmente en áreas urbanas y climas cálidos, los sistemas de aire acondicionado son esenciales para el confort y la salud. Sin embargo, su elevado consumo energético y dependencia de fuentes fósiles plantean un problema ambiental y económico significativo, al aumentar tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como los costos de electricidad.

Desde un enfoque social y práctico, esta investigación tiene el potencial de beneficiar tanto a usuarios individuales como a sectores comerciales e industriales al proponer una alternativa que reduzca los costos energéticos y disminuya la huella de carbono de los sistemas de refrigeración. La implementación de sistemas de aire acondicionado alimentados por energía fotovoltaica representa una opción accesible y sostenible, especialmente en países con alta irradiación solar, donde el aprovechamiento de esta fuente renovable puede maximizarse.

A nivel teórico, esta investigación busca contribuir a un área que aún presenta vacíos importantes en la literatura, particularmente en el análisis de la eficiencia, viabilidad económica y rendimiento de sistemas híbridos de energía solar y aire acondicionado. Aunque existen estudios sobre generación fotovoltaica y sobre

aire acondicionado por separado, la integración de ambas tecnologías requiere una evaluación exhaustiva que permita entender sus beneficios y limitaciones. Este trabajo pretende proporcionar un marco teórico y técnico que facilite futuras implementaciones y fomente la adopción de energías limpias en aplicaciones prácticas de alta demanda.

Además, desde un punto de vista técnico y metodológico, la investigación permitirá desarrollar modelos y metodologías de evaluación que puedan aplicarse en diferentes contextos y escenarios climáticos, adaptándose a las variaciones en disponibilidad solar y necesidades de refrigeración. Esto no solo enriquecerá el campo de estudio de energías renovables, sino que también servirá como referencia para proyectos de ingeniería y políticas públicas orientadas a la sostenibilidad, promoviendo un cambio hacia sistemas energéticos más responsables y eficientes.

Capítulo 3: Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica y económica de la integración de un sistema de generación de energía fotovoltaica para alimentar sistemas de aire acondicionado, con el fin de reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de climatización en regiones con alta irradiación solar. Este objetivo abarca el análisis del rendimiento energético, la eficiencia y los costos de implementación, así como la identificación de las condiciones óptimas y las posibles limitaciones para su aplicación práctica.

3.2 Objetivos Específicos

1. Analizar las características y el rendimiento energético de un sistema de generación fotovoltaica en condiciones de alta demanda de aire acondicionado, para identificar la eficiencia y capacidad de suministro de energía en diferentes escenarios climáticos.
2. Evaluar el impacto económico y ambiental de la implementación de energía fotovoltaica en sistemas de aire acondicionado, con el objetivo de determinar los beneficios potenciales en reducción de costos y disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.
3. Diseñar un modelo de integración entre sistemas fotovoltaicos y de aire acondicionado, considerando los aspectos técnicos, económicos y ambientales, para establecer las condiciones óptimas y las limitaciones de su implementación en aplicaciones prácticas.

Capítulo 4: Metodología

La metodología de esta investigación está diseñada para abordar los objetivos planteados y evaluar la integración de sistemas de generación de energía fotovoltaica en sistemas de aire acondicionado. A continuación, se detalla el proceso de investigación, los instrumentos de recolección de datos y el enfoque de análisis que permitirá responder a las preguntas planteadas y validar la hipótesis.

4.1 Recolección de Información

Para cumplir con los objetivos de la investigación, se recopilará información tanto teórica como experimental, utilizando las siguientes técnicas e instrumentos:

4.1.1 Revisión Bibliográfica

Se recopilarán estudios previos, artículos científicos, informes técnicos y normativas relacionadas con la generación fotovoltaica, eficiencia energética en aire acondicionado y estudios de integración de ambas tecnologías. Esta información permitirá construir el marco teórico, identificar vacíos en la literatura y analizar estudios de casos similares que servirán como referencia.

4.2 Organización y Análisis de la Información

Para analizar los datos recopilados, se organizará la información en dos fases:

4.2.1 Análisis de Eficiencia Energética y Rendimiento

Se evaluará la eficiencia energética del sistema de generación fotovoltaica en términos de producción y demanda de energía del sistema de aire acondicionado. Este análisis incluirá variables como la irradiación solar, la capacidad de los paneles fotovoltaicos, el consumo del aire acondicionado y las pérdidas energéticas. Los resultados se presentarán en tablas y gráficos comparativos que muestren la cantidad de energía generada en función de las diferentes condiciones climáticas y de uso.

4.3 Análisis Económico y Ambiental

Para evaluar la viabilidad económica, se calcularán los costos de instalación y mantenimiento del sistema fotovoltaico, así como el ahorro en costos energéticos a largo plazo comparado con un sistema convencional. Además, se analizará el impacto ambiental en términos de reducción de emisiones de CO₂, calculando la cantidad de emisiones evitadas mediante el uso de energía solar. Los resultados de este análisis se mostrarán en

tablas de costo-beneficio y gráficos de comparación de emisiones.

4.4 Análisis de características de rendimiento energético en sistemas fotovoltaicos

4.4.1 Paso 1: Investigación preliminar

Investigaremos los principios básicos de los sistemas fotovoltaicos y su rendimiento en condiciones de alta demanda energética. Investigaremos el consumo de energía de los sistemas de aire acondicionado en distintos climas y la relación entre temperatura externa y demanda energética.

4.4.2 Paso 2: Selección de los sistemas y parámetros

Elegiremos un sistema fotovoltaico adecuado (paneles solares, inversores, baterías, y demás elementos) para su análisis. Determinaremos las especificaciones técnicas del aire acondicionado (potencia, eficiencia energética, y consumo).

4.4.3 Paso 3: Simulación de diferentes escenarios climáticos

Seleccionaremos distintas ubicaciones o modelos climáticos (por ejemplo, clima cálido, moderado, frío) para simular las condiciones de demanda. Utilizaremos software de simulación (como PVsyst o S AM, Solidwork, inventor y demás) para modelar cómo variaría la eficiencia y capacidad de suministro en función de estas condiciones climáticas.

4.4.4 Paso 4: Análisis de rendimiento

Evaluaremos el rendimiento energético del sistema fotovoltaico bajo los diferentes escenarios, observando la producción de energía y su relación con el consumo de los sistemas de aire acondicionado.

Analiza la eficiencia del sistema fotovoltaico en términos de energía generada y compararla con las necesidades del aire acondicionado.

4.4.5 Paso 5: Interpretación de resultados

Identificaremos en qué condiciones climáticas el sistema fotovoltaico es más eficiente para satisfacer la demanda de energía del aire acondicionado. Calcularemos las horas de autonomía del sistema fotovoltaico en función de las horas de operación del aire acondicionado.

4.5 Evaluación del Impacto de sistemas fotovoltaicos en aplicaciones de aire acondicionado

4.5.1 Paso 1: Estudio de costos

Realizaremos un análisis de costos iniciales para la instalación de un sistema fotovoltaico y los sistemas de aire acondicionado (costo de equipos, instalación, mantenimiento, etc). Analizaremos el costo de la electricidad en la región y compararemos el costo de la energía generada por el sistema fotovoltaico.

4.5.2 Paso 2: Análisis de ahorro económico

Calcularemos el ahorro en la factura eléctrica al utilizar energía solar para alimentar el aire acondicionado. Proyectaremos los ahorros a largo plazo, considerando la vida útil de los sistemas fotovoltaicos y las tarifas eléctricas futuras.

4.5.3 Paso 3: Evaluación ambiental

Determinaremos las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se evitarían al reemplazar la energía convencional con la energía solar. Calcularemos la reducción de huella de carbono y los beneficios ambientales de la implementación del sistema fotovoltaico.

4.5.4 Paso 4: Comparación de resultados

Compararemos los beneficios económicos y ambientales de implementar sistemas fotovoltaicos en comparación con sistemas convencionales de energía para aire acondicionado. Utilizaremos herramientas de cálculo de huella de carbono y análisis de retorno de inversión (ROI) para presentar nuestras conclusiones.

4.6 Diseñar un modelo de integración entre sistemas fotovoltaicos y de aire acondicionado

4.6.1 Paso 1: Investigación sobre integración de sistemas

Investigaremos cómo los sistemas fotovoltaicos pueden integrarse eficazmente con sistemas de aire acondicionado (como la conexión directa o la utilización de almacenamiento de energía).

Examinaremos las tecnologías disponibles para la integración (como inversores híbridos, reguladores de carga, almacenamiento en baterías).

4.6.2 Paso 2: Definición de condiciones óptimas

Estableceremos las condiciones ideales de funcionamiento, como el tamaño adecuado del sistema fotovoltaico en relación con la demanda energética del aire acondicionado. Estableceremos los requerimientos técnicos para una integración eficiente, considerando las limitaciones de espacio, eficiencia energética y coste.

4.6.3 Paso 3: Análisis económico y ambiental

Incluiremos un análisis del costo de implementación del sistema integrado (precio de paneles solares, baterías, inversores y componentes adicionales).

Evaluaremos los beneficios económicos (ahorros a largo plazo) y ambientales (reducción de emisiones) de implementar la solución en diferentes escalas.

4.6.4 Paso 4: Identificación de limitaciones y desafíos

Identificaremos las posibles limitaciones técnicas, como la capacidad de almacenamiento de energía, la fluctuación en la generación solar o los costes elevados de la infraestructura.

Analizaremos los desafíos económicos como el coste inicial elevado o los posibles problemas de financiamiento para la implementación en aplicaciones prácticas.

4.6.5 Paso 5: Desarrollo de modelo de integración

Diseñaremos un modelo técnico detallado que incluya todos los componentes del sistema (paneles solares, inversores, sistemas de almacenamiento, aire acondicionado, etc.).

Definiremos las condiciones de operación del sistema integrado y las estrategias de optimización (como el uso de energía solar durante el día y almacenamiento para la noche).

4.6.6 Paso 6: Presentación de conclusiones

Resumiremos las condiciones óptimas de integración y las limitaciones en un informe que ofrezca soluciones prácticas para la implementación de estos sistemas en el contexto de alta demanda de aire acondicionado.

Capítulo 5: Resultados

El estudio se llevará a cabo bajo un enfoque cuantitativo y exploratorio, que permite medir y analizar el rendimiento energético y económico de los sistemas propuestos. A su vez, se empleará un diseño experimental para simular y evaluar la interacción entre un sistema fotovoltaico y un sistema de aire acondicionado, con el fin de identificar la eficiencia, viabilidad y beneficios potenciales de esta combinación.

Descripción del recurso solar en Colombia

Se observa una mayor cantidad de recurso en las subregiones caribe y llanera

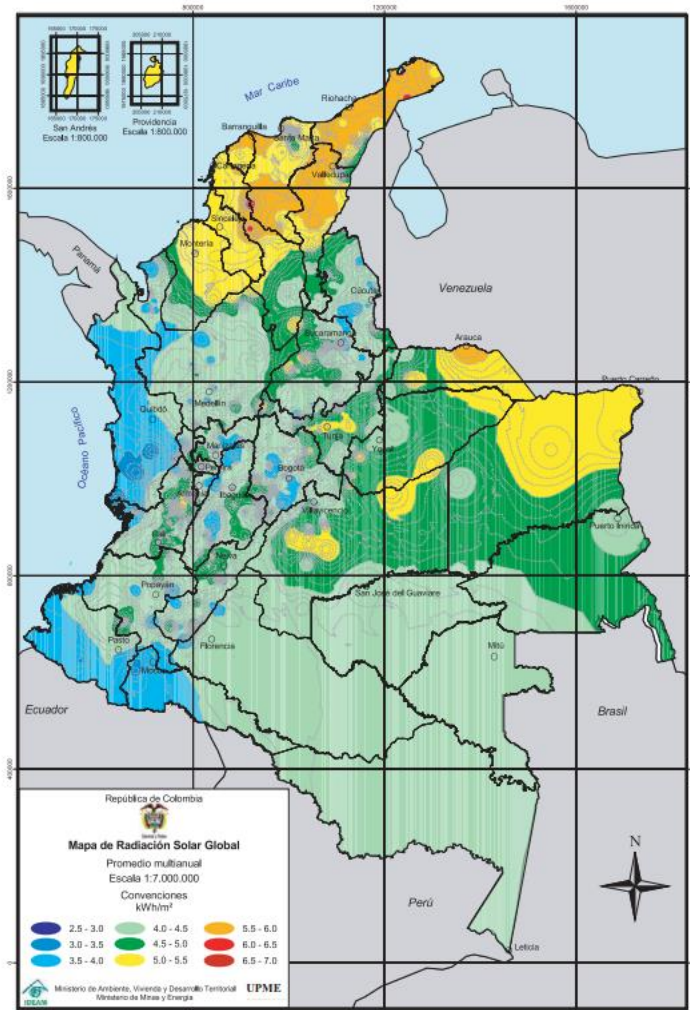


Figura 10. Distribución de la radiación solar global para el territorio nacional.

Recurso en la región del valle del Aburrá

Medellín y su área metropolitana presentan una radiación solar promedio de 4.5 – 5.0 kWh/m², lo que indica un nivel moderado de aprovechamiento solar. El clima tropical con alta nubosidad y lluvias frecuentes reduce un poco la eficiencia de los sistemas solares. Aun así, durante el mediodía y la temporada seca se registra buena radiación.

Por otro lado, Santa Fe de Antioquia y el occidente del departamento muestran niveles más altos de radiación, entre 5.0 y 5.5 kWh/m², representados por zonas amarillas en el mapa. Esta subregión tiene un clima más seco y caluroso, lo que mejora notablemente el rendimiento de sistemas fotovoltaicos, especialmente en municipios como Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo y Sopetrán.

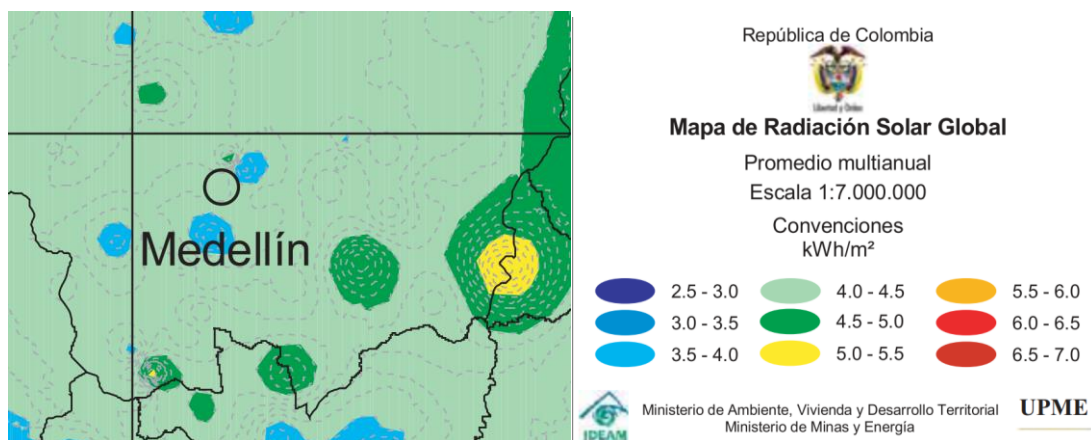


Figura 11 Vista en detalle de contornos de radiación en la región del valle de Aburrá de Colombia

Región caribe

La región Caribe presenta algunas de las zonas con mayor radiación solar del país distribuidas a lo largo y ancho de departamentos como Sucre, Bolívar, Magdalena, Cesar y la Guajira.

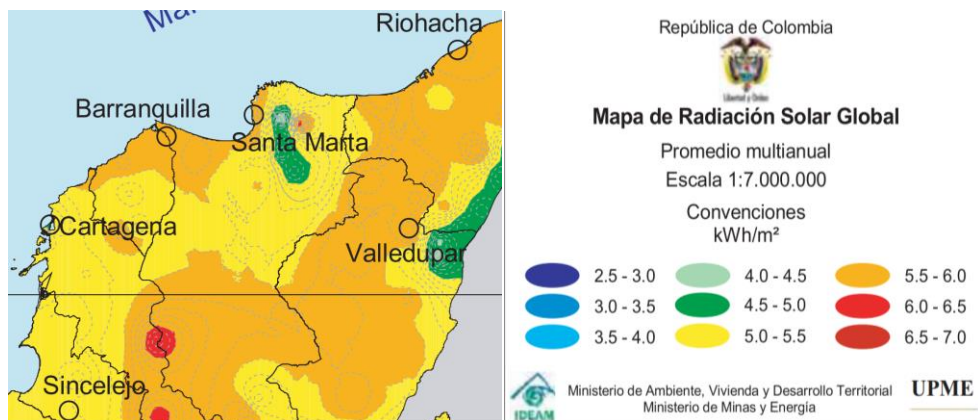


Figura 12. Vista en detalle de contornos de radiación en la región del Caribe de Colombia

Sur de Sincelejo (Sucre): Presenta la radiación más alta del mapa, con valores entre 6.5 y 7.0 kWh/m²/día. Este punto rojo indica una zona de altísimo potencial solar, gracias a su clima seco, poca nubosidad y altos niveles de irradiancia directa, condiciones óptimas para la instalación de parques solares a gran escala.

Zonas rurales cercanas a Santa Marta: Se observan pequeños puntos rojos y anaranjados en los alrededores, especialmente hacia la Sierra Nevada y sectores costeros, donde se generan microclimas con alta radiación solar. Estas áreas alcanzan valores entre 6.0 y 6.5 kWh/m²/día, lo que las convierte en espacios ideales para proyectos solares descentralizados y comunitarios.

Corredor Cartagena – Barranquilla: la radiación se mantiene entre 6.0 y 6.5 kWh/m²/día, lo cual es muy favorable para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos en áreas residenciales, comerciales e industriales. Aunque estas ciudades presentan una humedad relativa elevada, la baja nubosidad y la alta incidencia solar directa compensan estas condiciones.

Valledupar, Riohacha y zona central del Cesar: También destacan con promedios de radiación entre 5.5 y 6.5 kWh/m²/día. Estas condiciones son altamente competitivas y hacen de esta subregión un espacio con gran viabilidad técnica y económica para inversiones en energía solar

Recurso solar en Bogotá

En la ciudad de Bogotá, se puede observar que no es una zona con alto recurso solar en comparación con otras regiones del país. A pesar de ser una ciudad muy industrializada, las condiciones climáticas caracterizadas por alta nubosidad y frecuentes lluvias limitan el aprovechamiento de la radiación solar.

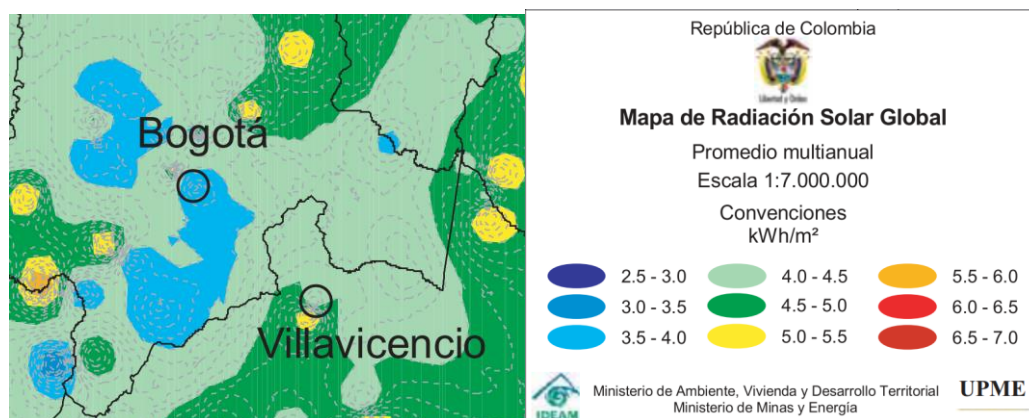


Figura 13. Vista en detalle de contornos de radiación en la ciudad de Bogotá

La mayoría del territorio de Bogotá presenta niveles de radiación solar promedio entre 4.0 y 4.5 kWh/m²/día, representados en tonos azul claro. Esto indica un recurso solar moderado, que puede ser aprovechado para proyectos solares, aunque con menor eficiencia en comparación con otras zonas del país.

Existen áreas marcadas en azul claro que reflejan niveles de radiación aún más bajos, por debajo de los 3.5 a 4.0 kWh/m²/día. Estas zonas se localizan principalmente en el occidente y suroccidente de Bogotá, donde las condiciones atmosféricas desfavorables afectan la captación de energía solar.

Sin embargo, también hay zonas aisladas con mayor potencial solar, identificadas en verde oscuro y amarillo, con promedios de 4.5 a 5.5 kWh/m²/día. Estas áreas se ubican al sur y suroeste del área urbana de Bogotá.

Región andina

En el mapa de Radiación Solar Global de Colombia, se observa que la región andina, en donde se ubican las ciudades de Armenia, Pereira, Manizales e Ibagué, cuenta con un recurso solar anual promedio moderado. Según la escala de colores proporcionada en el mapa, esta zona presenta valores de radiación solar que oscilan entre 4.0 y 4.5 kWh/m²/día.

Dentro de esta región se destacan variaciones locales importantes. Por ejemplo, en Puerto Espejo, ubicado en el área de Armenia, se evidencia un recurso solar ligeramente superior, con promedios entre 4.5 y 5.0 kWh/m²/día, lo cual representa una mejor disponibilidad para el aprovechamiento de energía solar. En contraste, sectores como Hojas Anchas, también en Armenia, presentan un recurso solar algo más bajo, con valores entre 3.5 y 4.0 kWh/m²/día.

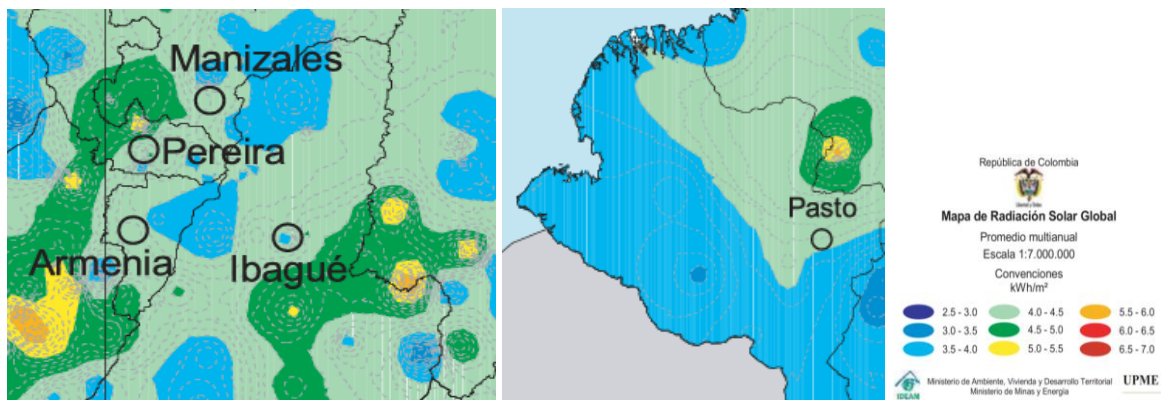


Figura 14 Vista en detalle de contornos de radiación en la región Andina de Colombia

Además, se identifican zonas rurales con mayor potencial solar. Al suroeste de Armenia, hacia municipios como La Tebaida y Montenegro, se presentan áreas con tonalidades verdes más intensas, que indican un recurso solar más estable. Situaciones similares se observan al suroeste de Ibagué, en dirección a municipios como Coello o San Luis, así como en las áreas rurales entre Pereira y Manizales, especialmente en zonas como Santa Rosa de Cabal.

Se puede observar que la ciudad de Pasto, ubicada en el departamento de Nariño, presenta una radiación solar global promedio relativamente baja. Según el mapa, la mayoría del territorio que rodea a la ciudad muestra tonalidades correspondientes a valores de radiación solar entre 3.5 y 4.0 kWh/m²/día, lo que indica una baja disponibilidad de energía solar.

Esta cifra es notablemente inferior en comparación con otras regiones del país, como los Llanos Orientales, la región Caribe, o incluso ciertas zonas de la región andina central, que presentan promedios más altos. Esta menor captación solar en Pasto se debe principalmente a sus condiciones geográficas y climáticas, entre las que se destacan su altitud, el clima de montaña y la alta frecuencia de nubosidad durante el año

Región Pacífica

Se observa que la Región Pacífica, donde se encuentran las ciudades de Quibdó y Cali, presenta una notable variabilidad en el recurso solar anual. Por un lado, Quibdó, capital del departamento del Chocó, se caracteriza por tener una de las radiaciones solar baja, con valores promedio que oscilan entre 3.5 y 4.0 kWh/m²/día, lo cual está representado en color azul claro.

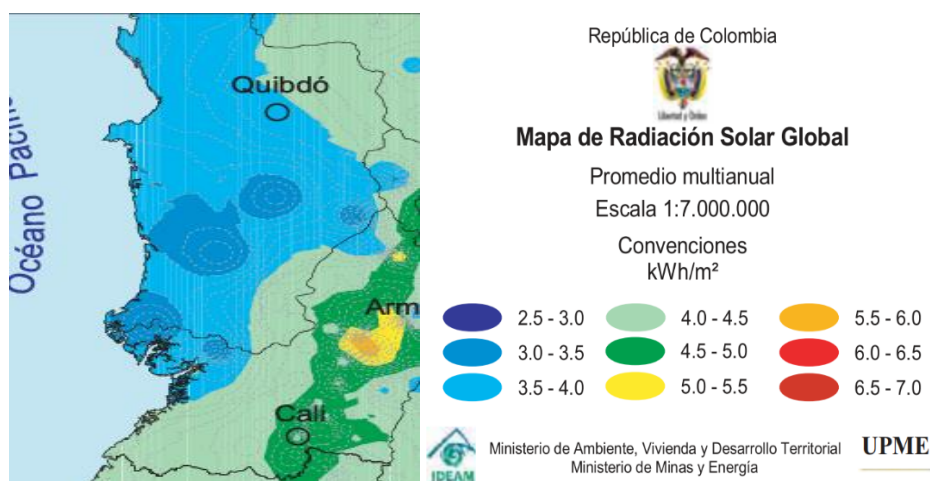


Figura 15. Vista en detalle de contornos de radiación en la región Pacífica de Colombia

Sin embargo, dentro del área de Quibdó se identifican dos pequeñas zonas con un recurso solar un poco más superior, representadas en verde claro, que indican valores promedio entre 4.0 y 4.5 kWh/m²/día. Estas zonas podrían corresponder a áreas como Tutunendo al suroeste, y Yuto o el corregimiento de El Caraño hacia el este de la ciudad.

Por otro lado, la ciudad de Cali, ubicada en el departamento del Valle del Cauca, muestra un recurso solar mucho más favorable. Gran parte de su territorio presenta valores entre 4.5 y 5.0 kWh/m²/día, indicados en verde oscuro en el mapa, lo que representa un nivel moderado de radiación. A diferencia de Quibdó, Cali cuenta con varias zonas donde el recurso solar es aún mayor. Específicamente, se observan áreas en amarillo, con valores de 5.0 a 5.5 kWh/m²/día, posiblemente ubicadas al norte y oriente de la ciudad, en sectores como Yumbo, Palmira o Candelaria. Incluso hay pequeñas zonas en color naranja, que indican niveles de 5.5 a 6.0 kWh/m²/día.

Región Orinoquia

Se observa que la región de la Orinoquía, la cual abarca ciudades como Bucaramanga, Arauca, Tunja, Yopal, Villavicencio, Puerto Carreño, Inírida y Cúcuta, presenta una notable variabilidad en la disponibilidad del recurso solar.

En Puerto Carreño, por ejemplo, se identifican zonas con altos niveles de radiación solar, especialmente en áreas marcadas en amarillo con promedios de 5.5 a 6.0 kWh/m²/día. Sin embargo, también se encuentran sectores con promedios más moderados entre 4.5 y 5.0 kWh/m²/día. De igual manera, en Arauca predominan valores entre 4.5 y 5.0, aunque se destaca una zona en color naranja que indica una mayor disponibilidad del recurso, con valores entre 5.5 y 6.0 kWh/m²/día.

Las ciudades de Tunja y Bucaramanga presentan valores que oscilan entre 4.0 y 5.0 kWh/m²/día, junto con algunas áreas más reducidas en color azul, correspondientes a promedios entre 3.5 y 4.0, lo que evidencia una menor disponibilidad. En Yopal y Villavicencio se observa una situación similar, con promedios moderados entre 4.5 y 5.0, y algunas zonas en amarillo que alcanzan valores de 5.0 a 5.5 kWh/m²/día, lo cual representa un mayor potencial para el aprovechamiento solar.

Por otro lado, Puerto Inírida se encuentra entre las zonas con menor disponibilidad dentro de la región, presentando en su mayoría promedios moderados. En cuanto a Cúcuta, la mayor parte de su territorio está representada en verde claro, con promedios entre 4.0 y 4.5 kWh/m²/día, y algunas zonas en azul que reflejan valores aún más bajos, entre 3.5 y 4.0.

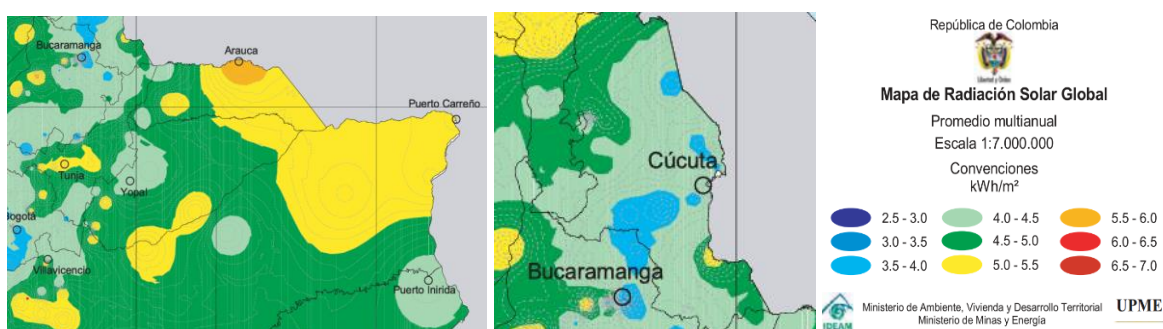


Figura 16. Vista en detalle de contornos de radiación en la región de Orinoquía de Colombia

Región amazónica

En la región Amazónica de Colombia, se evidencia muy poca disponibilidad de recurso solar anual, esto puede ser a causa de las condiciones climáticas que son características de esta zona, como la alta nubosidad y la frecuente presencia de lluvias. Ciudades como Mocoa, Florencia, San José del Guaviare, Mitú y Leticia se encuentran en áreas donde predominan tonalidades verdes claro en el mapa de radiación solar global, corresponde a promedios entre 4.0 y 4.5 kWh/m²/día. Estos valores se ubican en un nivel medio y no alcanzan el máximo recurso óptimo para un buen aprovechamiento del recurso solar.

Además, en la ciudad de Mocoa se observan zonas en color azul, que representan promedios aún más bajos, entre 3.5 y 4.0 kWh/m²/día. Esto indica una menor disponibilidad del recurso, lo que podría limitar la viabilidad de proyectos solares en esa área.

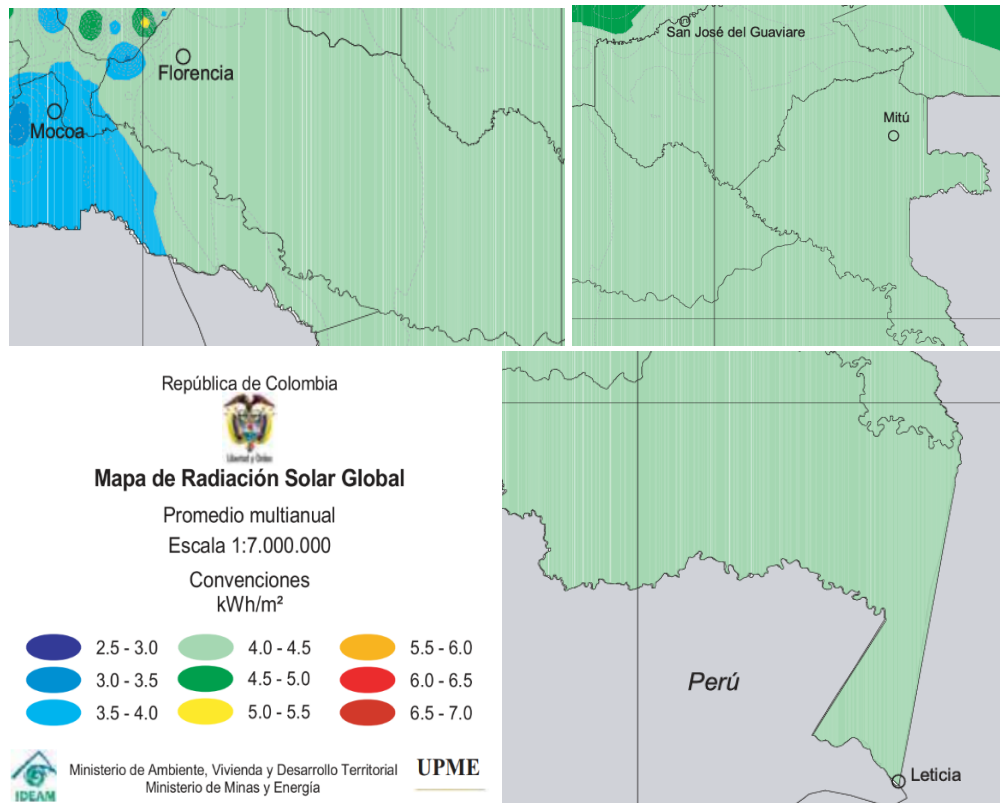


Figura 17. Vista en detalle de contornos de radiación en la región Amazónica de Colombia

Disponibilidad del Recurso Solar en Colombia durante el Mes de Julio

Durante el mes de julio, la región Caribe presenta los niveles más altos de radiación solar del país. Ciudades como Riohacha, Santa Marta, Cartagena, Barranquilla, Valledupar y Sincelejo se encuentran dentro del recurso máximo lo cual indica un promedio de 6.0 a 6.5 kWh/m²/día, e incluso algunas zonas cercanas a Riohacha alcanzan valores entre 6.5 y 7.0 kWh/m²/día. Esto nos indica que julio es un mes óptimo para el aprovechamiento de energía solar en esta región, con altísima disponibilidad del recurso.

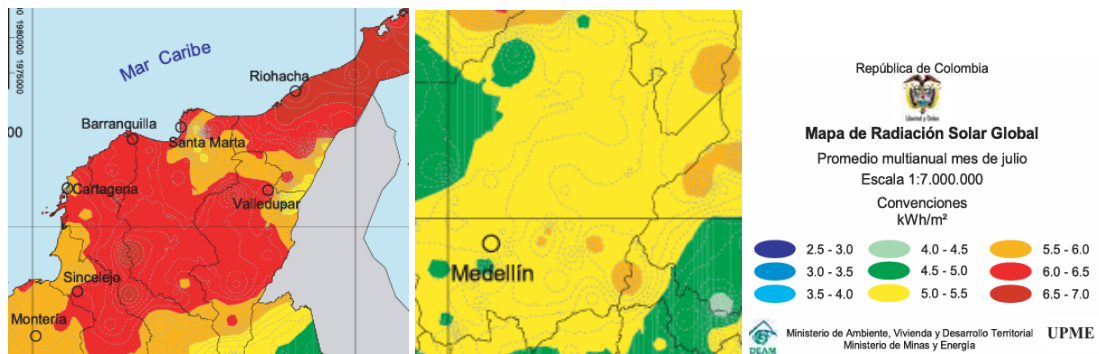


Figura 18. Vista en detalle de contornos de radiación en la región del Caribe y la ciudad de Medellín en el mes de Julio.

Por otro lado, la ciudad de Medellín y sus alrededores presentan un promedio de radiación solar entre 5.5 y 6.0 kWh/m²/día durante el mes de julio. Aunque este valor es adecuado para el desarrollo de proyectos solares, no alcanza los niveles máximos registrados en la región Caribe. Aunque esta representa una buena disponibilidad del recurso si la comparamos con los promedios anuales en esta misma zona, generalmente oscilan entre 4.0 y 4.5 kWh/m²/día y en algunos puntos alcanzan entre 5.0 y 5.5 kWh/m²/día. Lo que nos indica que julio es uno de los meses de mayor potencial solar para Medellín, superando los valores habituales del resto del año como lo podemos ver en la imagen de Medellín en el promedio anual.

Tabla 2 Radiación solar global multianual (Colombia) Fuente: (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2005)

Ciudad	Radiación solar global multianual (kWh/m ²)
Medellín	4.25
Barranquilla	5.75
Cartagena	5.25
Sincelejo	5.25
Valledupar	5.75
Santa Marta	5.25
Bogotá	4.25
Pasto	3.70
Manizales	4.25
Ibagué	4.75
Armenia	4.75
Pereira	4.25
Cali	4.75
Quibdó	3.7
Bucaramanga	4.25
Tunja	4.75
Villavicencio	4.75
Yopal	4.75
Arauca	5.30
Puerto Carreño	5.30
Puerto Inírida	4.75
Cúcuta	4.25
Mocoa	3.70
Florencia	4.25
San José del Guaviare	4.25
Mitú	4.25
Leticia	4.25

Eficiencias típicas de paneles solares comerciales: ¿cuáles son los valores representativos actualmente?

Tradicionalmente, los paneles solares comerciales han presentado eficiencias en un rango aproximado del 10% al 20%, lo que representaba el estándar para la conversión de la luz solar en electricidad. Sin embargo, los avances en la tecnología fotovoltaica han permitido mejorar significativamente estos valores. Actualmente, los paneles de silicio monocristalino, los más utilizados debido a su alto rendimiento, muestran eficiencias promedio que oscilan entre el 17% y el 23%, superando ampliamente los estándares tradicionales.

Además, el desarrollo de tecnologías emergentes como las células bifaciales, heterounión (HJT), TOPCon y las células tandem de perovskita ha permitido alcanzar eficiencias superiores al 25% en condiciones de laboratorio, y ya existen modelos comerciales con rendimientos cercanos a este umbral. Por ejemplo, las células tipo InGaP/GaAs//Si han registrado eficiencias de hasta un 33,7%, aunque su uso sigue siendo limitado debido a su alto costo y aplicaciones específicas.

El rendimiento de un panel solar afecta directamente la producción de energía, ya que determina la eficiencia con la que se convierte la luz solar en electricidad utilizable. Por ejemplo, un panel con una eficiencia del 20% puede transformar 200 W de energía solar en 40 W de electricidad, mientras que uno con una eficiencia del 15% produciría únicamente 30 W, lo que demuestra que un mayor rendimiento se traduce en una mayor generación energética. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

Factores que influyen en la eficiencia de un panel solar

La eficiencia de los paneles solares constituye un aspecto fundamental en el diseño, dimensionamiento y evaluación del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Este parámetro se define como la relación entre la energía eléctrica generada y la energía solar incidente sobre la superficie del módulo. Sin embargo, la eficiencia no es un valor fijo, ya que está sujeta a la influencia de múltiples variables técnicas, ambientales y operativas. A continuación, se detallan los principales factores que inciden directamente en la eficiencia de un panel solar. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

1. Inclinación del panel

La inclinación del módulo fotovoltaico es determinante para optimizar la captación de radiación solar. Un ángulo de inclinación adecuado maximiza la irradiancia recibida durante el año, ajustándose según la latitud geográfica. La inclinación incorrecta puede generar pérdidas de hasta un 10-15% en la producción energética anual. En sistemas fijos, se recomienda adoptar una inclinación equivalente a la latitud del lugar, mientras que en sistemas con seguimiento solar este factor se ajusta dinámicamente. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

2. Temperatura de operación

A pesar de que la radiación solar es la fuente primaria de energía, las altas temperaturas afectan negativamente la eficiencia de conversión de las celdas fotovoltaicas. Por cada grado centígrado por encima de 25 °C, la potencia de salida disminuye aproximadamente entre un 0,3% y un 0,5%, dependiendo del coeficiente de temperatura del panel. Paneles con menores coeficientes térmicos

son más adecuados para regiones cálidas o con alta irradiación. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

3. Ubicación geográfica

La ubicación influye significativamente debido a la variación de la irradiación solar global anual. Zonas cercanas al ecuador o con climas secos y despejados ofrecen un mayor recurso solar, lo cual se traduce en una mayor producción fotovoltaica. La evaluación del potencial solar del sitio es esencial en la fase de planificación para garantizar la viabilidad energética y económica del proyecto. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

4. Tecnología del panel

El tipo de tecnología fotovoltaica utilizada (monocristalino, policristalino, PERC, HJT, TOPCon, entre otras) determina la eficiencia base del módulo. Las tecnologías de célula N-Type, PERC o HJT han mostrado eficiencias superiores, mayor tolerancia térmica y menor degradación en el tiempo, lo que mejora la producción energética a lo largo de la vida útil del sistema. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

5. Calidad del panel

La calidad de fabricación incide directamente en la durabilidad, degradación anual y fiabilidad del panel. Marcas con altos estándares de producción presentan tasas de degradación más bajas (entre 0,25% y 0,5% anual), mayor resistencia a condiciones adversas y garantías extendidas de rendimiento (hasta 30 años con 87-90% de capacidad funcional). La elección de un proveedor certificado es crucial para asegurar la inversión a largo plazo. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

6. Degradación anual

Los módulos fotovoltaicos experimentan una disminución progresiva en su capacidad de generación. Una baja tasa de degradación implica una mayor producción acumulada a lo largo de la vida útil del sistema. Este factor es especialmente relevante para calcular el retorno de inversión (ROI) y la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto fotovoltaico. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

7. Factor de forma (Fill Factor)

El Fill Factor (FF) es un indicador de la calidad eléctrica de la célula solar. Representa la relación entre la potencia máxima del panel y el producto de la corriente de cortocircuito (I_{sc}) y el voltaje de circuito abierto (V_{oc}). Valores de FF cercanos al 80% reflejan una mayor eficiencia en la conversión de energía dentro del dispositivo fotovoltaico. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025).

8. Sombreamiento

La presencia de sombras totales o parciales sobre los paneles puede reducir drásticamente la producción de energía, incluso hasta provocar puntos calientes (hot-spots) que dañen las células. Para mitigar estos efectos, se recomienda el uso de microinversores u optimizadores de potencia que permiten el funcionamiento individualizado de cada módulo. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

9. Orientación del panel

La orientación determina la cantidad y calidad de la radiación solar recibida. En el hemisferio norte, la orientación ideal es hacia el sur, y en el hemisferio sur, hacia el norte. Desviaciones significativas respecto a la orientación óptima generan pérdidas en la producción energética, especialmente en sistemas sin seguimiento solar. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

10. Acumulación de polvo y suciedad

La presencia de partículas, hojas, excrementos de aves o polvo sobre la superficie del panel reduce la cantidad de radiación incidente. En climas áridos o zonas urbanas con alta contaminación, las pérdidas por suciedad pueden alcanzar hasta un 50% si no se realiza un mantenimiento regular. La limpieza periódica es indispensable para garantizar un funcionamiento eficiente. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

11. Calidad de la instalación

La correcta instalación de los paneles y del sistema fotovoltaico en su conjunto influye de forma significativa en el rendimiento global. Factores como el diseño estructural, el tipo de conexión eléctrica, la ventilación de los módulos y la calidad de los materiales empleados pueden favorecer o limitar el aprovechamiento del recurso solar. (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

Clasificación de la eficiencia de paneles fotovoltaicos según dimensiones, potencias y eficiencia

En el mercado actual, los paneles solares se clasifican principalmente según su eficiencia, dimensiones y potencia, características que influyen directamente en su rendimiento y aplicación. Generalmente, los paneles con eficiencias entre 16% y 17% se consideran de eficiencia media-baja y suelen ser más económicos, mientras que aquellos con eficiencias de 18% a 19% representan un rango medio-alto, ofreciendo un balance entre costo y desempeño. Los módulos con eficiencias superiores al 19% corresponden a tecnologías avanzadas y de alta eficiencia, ideales para maximizar la generación de energía en espacios limitados. Además, la configuración común incluye paneles de 60 células, con dimensiones aproximadas de 1,7 m por 1,0 m, y paneles de 72 células, que miden cerca de 2,0 m por 1,0 m, siendo la potencia nominal y eficiencia variables según la tecnología y calidad del fabricante. Esta clasificación permite seleccionar el panel más adecuado según las necesidades específicas de espacio, presupuesto y demanda energética, optimizando así la rentabilidad y funcionalidad del sistema fotovoltaico (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025).

Estas son las más habituales medidas de placas solares con su potencia y eficiencia:

Tabla 3 Medidas de placas solares con su potencia y eficiencia Fuente: (Alonso J. A., Eficiencia y Rendimiento de placas solares, 2025)

Potencia del panel	Medidas placas solares	Eficiencia
Panel Solar de 250W	1,7 m x 1,0 m	14,7%
Panel Solar de 260W	1,7 m x 1,0 m	15,2%
Panel Solar de 270W	1,7 m x 1,0 m	15,8%
Panel Solar de 280W	1,7 m x 1,0 m	16,4%
Panel Solar de 300W	1,7 m x 1,0 m	17,6%
Panel Solar de 310W	1,7 m x 1,0 m	18,2%
Panel Solar de 320W	1,7 m x 1,0 m	18,8%
Panel Solar de 330W	1,7 m x 1,0 m	19,4%
Panel Solar de 330W	2,0 m x 1,0 m	16,5%
Panel Solar de 340W	2,0 m x 1,0 m	17%
Panel Solar de 350W	2,0 m x 1,0 m	17,5%
Panel Solar de 370W	2,0 m x 1,0 m	18,5%
Panel Solar de 380W	2,0 m x 1,0 m	19%
Panel Solar de 390W	2,0 m x 1,0 m	19,5%
Panel Solar de 400W	2,0 m x 1,0 m	20%
Panel Solar de 410W	2,0 m x 1,0 m	20,5%

Placas solares más eficientes del mercado según fichas técnicas de fabricantes en 2025

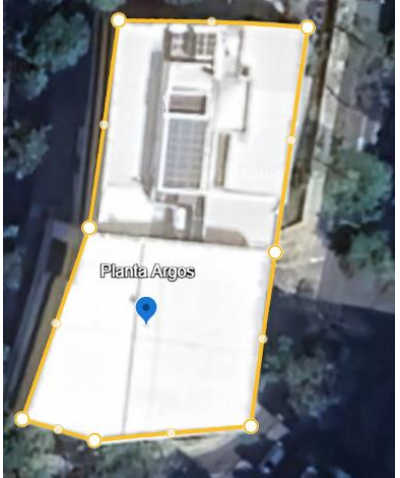

La siguiente tabla presenta las 10 placas solares con mayor eficiencia declarada por sus fabricantes en el año 2025. Esta lista se basa exclusivamente en los datos técnicos oficiales, sin filtrar ni validar el rendimiento real en campo. Incluye modelos específicos de marcas reconocidas que incorporan tecnologías avanzadas, con eficiencias que varían entre 21.4% y 22.84%, superando ampliamente los valores promedio del mercado. El objetivo es mostrar los paneles solares premium que representan la vanguardia tecnológica en términos de conversión energética, reflejando los mejores rendimientos teóricos disponibles actualmente (Alonso J. A., Los modelos de placas solares de mayor eficiencia, 2025).

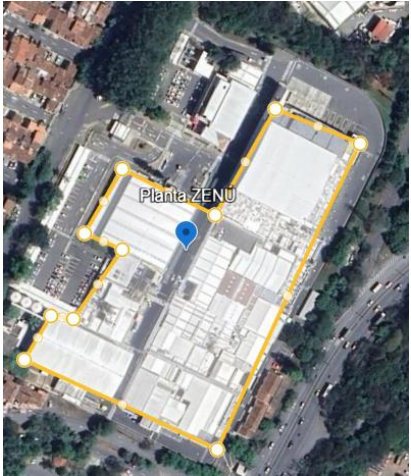
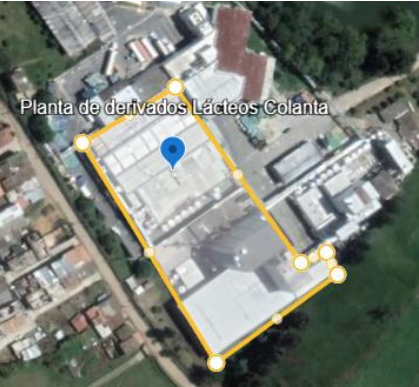

Tabla 4 Placas solares más eficientes del mercado (Alonso J. A., Los modelos de placas solares de mayor eficiencia, 2025)




Fabricante	Modelo	Eficiencia	Potencia	Tamaño (largo x ancho)
FuturaSun	FU590MV Nova Duetto	22.84%	590 W	2.278 x 1.134mm
Maxeon	MAX6-440-AC	22.8%	440 W	1.872 x 1.032 mm
Maxeon	Maxeon 3	22.7%	430 W	1.690 x 1.046 mm
REC Solar	REC Alpha Pure R	22.3%	430 W	1.730 x 1.118 mm
FuturaSun	FU435MVS Velvet Plus	22.28%	430 W	1.722 x 1.134 mm
FuturaSun	Velver FU 480 MVL	22.1%	480W	2.094 x 1.038 mm
FuturaSun	FU430M Zebra pro	21.8%	430W	1.895 x 1.039 mm
Meyer Burger	Meyer Burger Glass 385	21.5%	385W	1.722 x 1.041 mm
Meyer Burger	Meyer Burger Glass 395	21.5%	395W	1.767 x 1.041 mm
SunPower	SPR-P6-410 COM- XS	21.4%	420W	1.808 x 1.086 mm
LG neon R	LG360Q1C-A5	20.8%	360W	1.700 x 1.016 mm

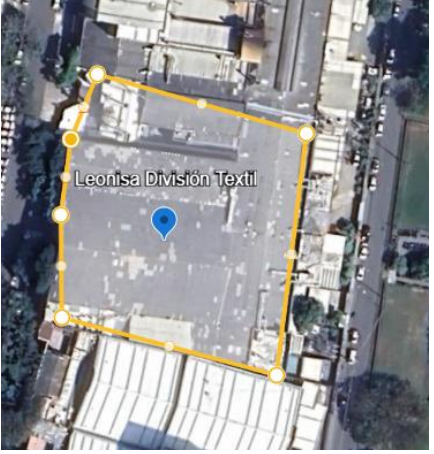
Lugares de interés para el análisis de implementación de proyectos PV para auto-consumo

Tabla 5 Lugares de interés para el análisis de implementación de proyectos Fuente: Google Earth

Nombre del Sitio	Ubicación Geográfica	Área [m2]	Vista Aérea
Planta Nacional de Chocolates	Aguacatala, Medellín (6°13'23"N 75°34'42"W)	3763.01	
Planta de Argos	Poblado, Medellín (6°13'13"N 75°34'41"W)	1,221,03	
Centro Comercial Monterrey	Poblado, Medellín (6°12'50"N 75°34'36"W)	11.510,93	

<p>Planta ZENÚ</p>	<p>Boyacá, Medellín (6°18'10"N 75°33'51"W)</p>	<p>18.487,92</p>	
<p>Planta derivados Lácteos Colanta</p>	<p>San Pedro de los milagros, Antioquia (6°27'08"N 75°33'16"W)</p>	<p>8.607,54</p>	
<p>Laboratorios medifarma CORPAUL</p>	<p>Rionegro, Antioquia (6°13'22"N 75°23'33"W)</p>	<p>10.618,84</p>	

<p>Hospital Pablo Tobón Uribe</p>	<p>Córdoba, Medellín (6°16'37"N 75°34'48"W)</p>	<p>3.696,31</p>	
<p>Centro comercial Parque Fabricato</p>	<p>Bello, Antioquia (6°19'33"N 75°33'30"W)</p>	<p>17.033,7</p>	
<p>Laboratorio Profesional Farmacéutico</p>	<p>Sabaneta, Antioquia (6°09'24"N 75°36'26"W)</p>	<p>1.170,17</p>	

Leonisa División Textil	Guayabal, Medellín (6°12'57"N 75°34'44"W)	4.395,34	
--------------------------------	---	----------	--

Matriz de casos para análisis de recurso solar

Caso	Área [m2]	Lugares	Radiación solar global multianual (kWh/m2)
1	3763,01	Ubicación 1 (Medellín)	4,25
2	1,221,03		
3	11.510,93	Ubicación 2 (Bogotá)	4,25
4	18.487,92		
5	8.607,54	Ubicación 3 (Barranquilla)	5,75
6	10.618,84		
7	3.696,31	Ubicación 4 (Cartagena)	5,25
8	17.033,7		
9	1.170,17	Ubicación 5 (Cali)	4,75
10	4.395,34		

Caso	Área [m2]	Ubicación 1 (Medellín)	Ubicación 2 (Bogotá)	Ubicación 3 (Barranquilla)	Ubicación 4 (Cartagena)	Ubicación 5 (Cali)
1	3763,01	4,25	4,25	5,75	5,25	4,75
2	1,221,03					
3	11.510,93					
4	18.487,92					
5	8.607,54					
6	10.618,84					
7	3.696,31					
8	17.033,7					
9	1.170,17					
10	4.395,34					

Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

El trabajo desarrollado permitió a los estudiantes familiarizarse con los principios fundamentales de los sistemas fotovoltaicos, abordando aspectos como sus principales componentes, la eficiencia típica de los paneles solares, los costos asociados a la electricidad y otros parámetros técnicos relevantes. Esta base teórica es esencial para comprender el potencial de la energía solar como fuente alternativa para alimentar sistemas de aire acondicionado, especialmente en contextos industriales donde el consumo energético es elevado.

Uno de los aportes más destacados del trabajo fue la caracterización del recurso solar en la ciudad de Medellín, lo cual permitió contextualizar la viabilidad del sistema en un entorno específico. Asimismo, se identificaron zonas potenciales de instalación de paneles solares en cubiertas de edificios industriales, considerando variables como la orientación, la disponibilidad de espacio y la radiación solar incidente. Esta fase del análisis constituye un paso importante hacia la evaluación técnica de proyectos fotovoltaicos localizados.

Si bien el trabajo no alcanzó a desarrollar un diseño detallado ni un estudio completo de factibilidad energética y económica, se logró establecer una base sólida sobre la cual construir análisis más profundos en el futuro. Los resultados obtenidos abren la posibilidad de continuar explorando soluciones sostenibles para la climatización en entornos industriales, integrando criterios técnicos, ambientales y económicos en fases posteriores del proyecto.

Bibliografía

- Alonso, I. A. (30 de 03 de 2023). *¿Qué es un colector solar térmico y cuánto cuesta instalar uno?* Obtenido de eldiario.es: https://www.eldiario.es/consumoclaro/que-es-un-colector-solar-termico-y-cuanto-cuesta-instalar-uno_1_10051687.html
- Alonso, J. A. (02 de 05 de 2025). *Eficiencia y Rendimiento de placas solares*. Obtenido de sfe-solar.com: https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/eficiencia-rendimiento/?srsltid=AfmBOooylu9ppPoOHESAFkFCcLOaC4Z-S--ixl2Fzb_khtFpHyM9nVE1
- Alonso, J. A. (05 de 05 de 2025). *Los modelos de placas solares de mayor eficiencia*. Obtenido de sfe-solar.com: <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/mejores/>
- Arenales, J. V. (02 de 10 de 2023). *La inversión inicial para la instalación puede oscilar entre \$8 millones y \$37 millones y tienen un tiempo de vida útil de 25 años*. Obtenido de larepublica.co: <https://www.larepublica.co/economia/los-costos-de-la-instalacion-de-paneles-solares-3718571>
- Arnabat, I. (04 de 04 de 2024). *¿Cómo funciona el aire acondicionado?* . Obtenido de CALORYFRIO: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/como-funciona-el-aire-acondicionado-infografia.html>
- Autosolar. (s.f.). *¿Qué ventajas tienen las baterías de gel?* Obtenido de autosolar.es: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-ventajas-tienen-las-baterias-de-gel>
- AutoSolar. (13 de 06 de 2025). *Estructuras Paneles Solares*. Obtenido de autosolar.co: <https://autosolar.co/estructuras-paneles-solares/>
- Autosolar. (s.f.). *Baterías GEL*. Obtenido de autosolar.co: https://autosolar.co/baterias-gel?srsltid=AfmBOoo8Rgp0Ss6LbQRUQiMpOpOog44H0_hu1IVvTBISub2m96hqJzxd
- Autosolar. (s.f.). *Baterías Monoblock GEL*. Obtenido de Autosolar.es: <https://autosolar.es/baterias/baterias-monoblock-gel>
- BBVA. (10 de 01 de 2025). *¿Qué son los paneles solares, cómo funcionan y cuál es su futuro?* Obtenido de bbva.com: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-funcionan-y-cual-es-su-futuro/>
- Caballero, A. (26 de 09 de 2023). *Energía solar fotovoltaica y térmica: ventajas y desventajas*. Obtenido de Climate consulting selectra: <https://climate.selectra.com/es/que-es/energia-solar>
- Camacol. (25 de 01 de 2025). *Inflación: Resultados 2024 y perspectivas 2025*. Obtenido de camacol: [camacol.co/prensa/noticias/inflacion-resultados-2024-y-perspectivas-2025](https://www.camacol.co/prensa/noticias/inflacion-resultados-2024-y-perspectivas-2025)

Carol Plazas, N. M. (21 de 11 de 2017). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA CON PARAMETROS DE RENDIMIENTO MODIFICABLES*. Obtenido de researchgate.net: https://www.researchgate.net/figure/Figura-No1-Esquema-basico-de-un-colector-solar-PARAMETROS-DE-DISENO-PARA-UN-CSPP-Para_fig1_237661772

Caroline. (20 de 01 de 2025). *Comparación de características - Inversor de onda cuadrada frente a inversor de onda sinusoidal*. Obtenido de solarinvertermanufacturers.com: <https://www.solarinvertermanufacturers.com/es/square-wave-inverter-vs-sine-wave/>

Cortázar, D. (2025). *La demanda energética como indicador*. Obtenido de repositorio.banrep: <https://repositorio.banrep.gov.co/server/api/core/bitstreams/b14cbc60-7a03-45b1-a17b-572d883bab65/content>

Deye. (09 de 02 de 2024). *Soluciones solares HVAC: aprovechar el sol para el aire acondicionado*. Obtenido de Deye: <https://deye.com/es/hvac-solar-solutions-harnessing-the-sun-for-air-conditioner/#:~:text=HVAC%20solar%2C%20o%20calefacci%C3%B3n%2C%20ventilaci%C3%B3n,disminuyendo%20los%20costos%20de%20electricidad.>

Ehplus. (22 de 08 de 2024). *Empresas colombianas en alerta: Aumentos de hasta 32% en tarifas de energía agravan la situación económica*. Obtenido de ehplus: <https://ehplus.do/empresas-colombianas-en-alerta-aumentos-de-hasta-32-en-tarifas-de-energia-agravan-la-situacion-economica/>

Elnuevosiglo. (21 de 01 de 2024). *El Niño "dispara" venta de aires acondicionados en el país*. Obtenido de elnuevosiglo: https://www.elnuevosiglo.com.co/economia/aumenta-venta-de-aires-acondicionados-en-todo-el-pais?utm_source=chatgpt.com

enelgreenpower. (21 de 02 de 2024). *Energías renovables y capacidad instalada: ¿cuál es la situación en el mundo?* Obtenido de enelgreenpower.com: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/gigawhat/buscar-articulos/articles/2024/02/crecimiento-capacidad-instalada-renovables#>

Energía, N. (01 de 02 de 2024). *Todo lo que debes saber sobre baterías para placas solares*. Obtenido de novaluz.es: <https://novaluz.es/blog/todo-lo-que-debes-saber-sobre-baterias-para-placas-solares/>

fera21. (24 de 10 de 2024). *Aires Acondicionados Solares: Eficiencia Energética y Sostenibilidad*. Obtenido de cursoderefrigeracion.com: <https://cursoderefrigeracion.com/aires-acondicionados-solares/>

Greentech. (15 de 09 de 2023). *Costo de la instalación de paneles solares en Colombia: Una guía completa*. Obtenido de greentech.net.co: <https://greentech.net.co/costo-de-instalacion-de-paneles-solares/>

- HelioEsfera. (13 de 06 de 2025). *Diagrama de un sistema fotovoltaico*. Obtenido de <https://www.helioesfera.com/diagrama-sistema-fotovoltaico/>:
<https://www.helioesfera.com/diagrama-sistema-fotovoltaico/>
- Herrera, A. (2024). *Producción actual de energía renovable a nivel mundial: cifras y proyecciones futuras*. Obtenido de ecologiadigital.bio: <https://ecologiadigital.bio/>
- Higonsolar. (26 de 07 de 2023). *12 cosas que debe saber sobre la batería de gel*. Obtenido de es.higonsolar.com: <https://es.higonsolar.com/12-things-you-need-to-know-for-gel-battery>
- Homecenter. (s.f.). *Homecenter*. Obtenido de <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/726828/panel-solar-165w-policristalino-sylvania/726828/>
- Investigativo, A. P. (19 de 12 de 2024). *Colombia cierra 2024 con las tarifas de energía más altas en 30 años*. Obtenido de [agenciapi](https://www.agenciapi.co/noticia/empresas/colombia-cierra-2024-con-las-tarifas-de-energia-mas-altas-en-30-anos): <https://www.agenciapi.co/noticia/empresas/colombia-cierra-2024-con-las-tarifas-de-energia-mas-altas-en-30-anos>
- IRENA. (08 de 2023). *Costos de generación de energía renovable en 2022*. Obtenido de [irena.org](https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022-ES):
<https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022-ES>
- Jofré, N. (16 de 01 de 2024). *El análisis del recurso solar en un proyecto de instalación fotovoltaica*. Obtenido de eiposgrados.com: <https://eiposgrados.com/blog-energias/analisis-recurso-solar-fotovoltaica/>
- libre, M. (s.f.). Obtenido de [articulo.mercadolibre](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-901418246-panel-solar-policristalino-345w-powest-_JM): https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-901418246-panel-solar-policristalino-345w-powest-_JM
- Maissa Farhat a, O. B. (06 de 07 de 2015). *Diseño e Implementación de un Sistema de Control estable basado en Lógica Borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de Generación Fotovoltaico*. Obtenido de Elsevier: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-automatica-e-informatica-331-pdf-S1697791215000631>
- Mateo, J. (20 de 07 de 2023). *Inversores solares o fotovoltaicos: ¿qué son y cómo funcionan?* Obtenido de POWEN: <https://powen.es/inversores-solares/>
- Molina, P. S. (27 de 03 de 2024). *En 2023 se instalaron en el mundo 345,5 GW fotovoltaicos, según IRENA*. Obtenido de [pv-magazine.es](https://www.pv-magazine.es/): <https://www.pv-magazine.es/2024/03/27/en-2023-se-instalaron-en-el-mundo-3455-gw-fotovoltaicos-segun-irena/>
- Monsolar. (06 de 04 de 2025). *Monsolar*. Obtenido de [Monsolar.com](https://www.monsolar.com/):
<https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/>
- Mulero, J. R. (04 de 05 de 2023). *Partes de un aire acondicionado*. Obtenido de [rapitecnic](https://rapitecnic.com/):
<https://rapitecnic.com/partes-de-un-aire-acondicionado/>

Negocios, R. (03 de 05 de 2024). *El Calor Impulsa las Ventas de Electrodomésticos en Colombia en el 2024*. Obtenido de intenz: https://intenz.co/2024/05/03/el-calor-impulsa-las-ventas-de-electrodomsticos-en-colombia-en-el-2024/?utm_source=chatgpt.com

Nieto, L. F. (2020). *Desarrollo de nuevos modelos para la fotovoltaica integrada en edificios (bipv) en ciudades sostenibles*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=284192>

Perez, P. (09 de 12 de 2022). *¿Qué es un inversor solar y cuál es su función?* Obtenido de eltex.es: <https://eltex.es/que-es-un-inversor-solar-y-su-funcion/>

power, H. (06 de 04 de 2025). *Componentes y equipos necesarios en una instalación de paneles solares*. Obtenido de Hipowercr.com: <https://blog.hipowercr.com/equipos-para-instalacion-de-paneles-solares>

Reuters. (09 de 01 de 2025). *Colombia cierra 2024 con inflación de 5,20%, por encima de la meta del Banco Central*. Obtenido de reuters: https://www.reuters.com/latam/domestico/LSGEELFWRZMAHLAAPY2BESP6PE-2025-01-10/?utm_source=chatgpt.com

siglo, E. n. (10 de 02 de 2025). *Aumento de combustibles pone en riesgo sector logístico*. Obtenido de elnuevosiglo: <https://www.elnuevosiglo.com.co/economia/aumento-en-combustibles-pone-en-riesgo-sector-logistico#:~:text=A%20partir%20del%201%20de,situ%C3%A1ndose%20en%20%2410.461%20por%20gal%C3%B3n.>

solar, P. (14 de 10 de 2024). *Qué es un tracker? El Seguidor Solar*. Obtenido de Portalsolar: <https://portalsolar.com.ar/actualidad/eficiencia-energetica/que-es-un-tracker-el-seguidor-solar/>

Solarcos. (09 de 10 de 23). *¿Qué es un regulador mppt y por qué lo necesitas en tu sistema fotovoltaico?* Obtenido de solarcos.com: <https://solarcos.com/regulador-mppt/>

Solarmente. (19 de 01 de 2024). *Beneficios de combinar la energía solar con una bomba de calor*. Obtenido de solarmente.es: <https://solarmente.es/blog/beneficios-energia-solar-bomba-calor/>

Top Cable. (10 de 12 de 2023). *Top Cable*. Obtenido de topcable.com: <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/caracteristicas-de-cables-para-aplicaciones-fotovoltaicas/>

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2005). *Atlas de radiación solar de Colombia*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

vivasolar-colombia. (s.f.). *Viva solar*.

World Energy . (2023). *World Energy Outlook 2023*. Obtenido de [iea.org](https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023?language=es):
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023?language=es>

yaxa. (s.f.). *Inversores de corriente de onda sinusoidal pura de 2500 W CC 12 V a CA 110 V 120 V con puerto tipo C 3 salidas de CA puertos USB duales pantalla LCD*. Obtenido de <https://colombia.yaxa.co/>: <https://colombia.yaxa.co/products/inversores-de-corriente-de-onda-sinusoidal-pura-de-2500-w-cc-12-v-a-ca-110-v-120-v-con-puerto-tipo-c-3-salidas-de-ca-puertos-usb-duales-pantalla->

zeroadmin. (15 de 07 de 2022). *Colombia promueve la energía solar* . Obtenido de ambientesolar.com.: <https://ambientesolar.com.co/energia-solar-en-colombia/>