

EVALUACIÓN DE VIABILIDAD PARA LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR A LA  
MATRIZ DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

MARÍA ALEJANDRA GÓMEZ GUZMÁN

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

DIRECTOR

DIANA CAROLINA GARZÓN VELÁSICO

INGENIERA AMBIENTAL

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.

2024

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Nombre del director**

**Firma del Director**

---

**Nombre**

**Firma del presidente Jurado**

---

**Nombre**

**Firma del Jurado**

---

**Nombre**

**Firma del Jurado**

**Bogotá, D.C. noviembre de 2024**

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada Garcia-Peña

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Secretario General

Dr. José Luis Macias Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>1 OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Objetivo general</b>	12
<b>1.2 Objetivos específicos</b>	12
<b>2 MARCO TEÓRICO</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Energía solar</b>	13
<b>2.2 Sistema fotovoltaico</b>	13
<b>2.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red</b>	15
<b>3 ANTECEDENTES</b>	<b>17</b>
<b>4 NORMATIVIDAD</b>	<b>19</b>
<b>5 METODOLOGÍA</b>	<b>20</b>
<b>6 RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>21</b>
<b>6.1 Área requerida por panel</b>	31
<b>6.2 Área total requerida para 3 paneles</b>	32
<b>6.3 Número de paneles solares a instalar</b>	33
<b>6.4 Cálculo de producción de energía solar anual.</b>	34
<b>6.5 Cobertura del sistema</b>	34
<b>7 ANÁLISIS FINANCIERO</b>	<b>36</b>
<b>7.1 Proyección a 1 Año</b>	39
<b>7.2 Proyección a 5 Años</b>	39
<b>7.3 Proyección a 10 Años</b>	40
<b>8 CONCLUSIONES</b>	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>43</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Instalación fotovoltaica conectada a la red.	15
Figura 2. Promedio Radiación Solar Bogotá.	22
Figura 3. Consumo mensualizado vivienda caso de estudio.	25
Figura 4. Consumo diario vivienda caso de estudio.	27
Figura 5. Sistema fotovoltaico interconectado a la red.	31
Figura 6. Vista área de instalación del sistema fotovoltaico.	33
Figura 7. Tarifas de energía eléctrica (\$/kWh) reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).	36

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Promedio Horario Radiación Solar en Bogotá – Brillo Solar	23
Tabla 2. Consumo promedio mensual de la vivienda caso de estudio.	24
Tabla 3. Consumo promedio diario de la vivienda caso de estudio.	26
Tabla 4. Desagregación del consumo.	27
Tabla 5. Resumen Sistema Técnico y Financiero.	32
Tabla 6. Disgregación costo-beneficio del sistema objeto de estudio.	39

## RESUMEN

Este estudio evalúa la viabilidad de integrar un sistema fotovoltaico a la matriz energética de una vivienda unifamiliar en la ciudad de Bogotá. La creciente demanda de fuentes de energía sostenible ha impulsado la búsqueda de alternativas para reducir la dependencia a las fuentes convencionales, es entonces, cuando la energía solar se presenta como una opción prometedora en este sentido.

En esta investigación, se llevó a cabo un análisis de la ubicación geográfica de la vivienda, considerando factores como la radiación y el brillo solar en calidad de parámetros fundamentales para la instalación de un sistema fotovoltaico. Además, se evaluaron los costos asociados a la instalación y mantenimiento de los paneles solares, así como los posibles ahorros en la factura eléctrica a lo largo del tiempo. Por consiguiente, los resultados obtenidos indican que la integración de energía solar en la matriz de la vivienda es altamente viable considerando los aspectos técnicos y económicos, determinando así, que el proyecto de integración de energía solar en la vivienda es altamente factible a corto plazo, con una recuperación de la inversión estimada en un período de 5 años.

Este hallazgo resalta aún más la viabilidad del proyecto, ya que demuestra que los beneficios económicos derivados de la instalación de los paneles solares superan significativamente los costos asociados en un lapso relativamente corto. Este resultado refuerza la idea de que la adopción de energía solar no solo es una opción técnica y económicamente viable, sino también una inversión sólida y rentable a corto plazo para la vivienda objeto de estudio.

**Palabras clave:** Energía solar, sistema fotovoltaico, brillo solar, radiación, energía renovable.

## INTRODUCCIÓN

La transición hacia fuentes de energía sostenibles y renovables se ha convertido en una prioridad global en la lucha contra el cambio climático y la reducción de la dependencia de las fuentes de energía convencionales. Dentro de este contexto, la evaluación de la viabilidad para la integración de energía solar en la matriz energética de viviendas unifamiliares en ciudades urbanas como Bogotá adquiere una relevancia fundamental.

Bogotá al ser la capital del país, enfrenta desafíos energéticos que demandan soluciones innovadoras y sostenibles, por lo que la introducción de sistemas fotovoltaicos en viviendas unifamiliares representa una oportunidad prometedora para diversificar la matriz energética urbana y reducir la huella de carbono residencial en la ciudad. No obstante, es importante evaluar los diferentes obstáculos económicos y técnicos que el acceso a esta tecnología pueda presentar y así garantizar la participación de más ciudadanos en las buenas prácticas ambientales.

Según el Ministerio de Minas y Energía, en 2021, la generación de energía eléctrica en Colombia estuvo compuesta por un 68% de generación hidráulica y un 32% de generación térmica; la dependencia de la red pública eléctrica en el país ha generado una serie de desafíos, como la necesidad de mejorar y expandir la infraestructura de la red para atender la creciente demanda de energía y la vulnerabilidad de la red a interrupciones y fluctuaciones en el suministro [1].

La energía solar es una fuente de energía limpia y renovable cuya implementación puede contribuir a la reducción de la dependencia a la red eléctrica pública, adquiriendo así una independencia energética que a su vez contribuiría en la mitigación del cambio climático. Esta independencia energética no solo ofrece beneficios ambientales al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también diversifica la matriz energética de la ciudad, reduciendo la dependencia de la vivienda a una sola fuente de energía. En un contexto de cambio climático, donde la disponibilidad de agua para la generación hidroeléctrica puede verse afectada, esta diversificación se vuelve aún más crucial ya que no se hace necesario el uso agua para la producción de electricidad, aliviando la presión sobre los recursos hídricos y asegurando un suministro más estable de energía en regiones donde el cambio climático puede afectar la

disponibilidad y distribución de agua. De esta manera, la implementación de la energía solar en la ciudad no solo mejora la calidad ambiental y de vida de sus habitantes, sino que también promueve la sostenibilidad y la seguridad energética a largo plazo. Asimismo, la implementación de energía solar en una vivienda unifamiliar puede aumentar considerablemente el valor de la propiedad y mejorar su eficiencia energética, lo que puede representar un factor importante en la decisión de comprar o arrendar una vivienda.

La implementación de estos sistemas en viviendas de carácter unifamiliar en Bogotá puede reducir significativamente los costos de energía eléctrica en el hogar, específicamente a largo plazo, ya que la vida útil promedio de un sistema solar es de 20-30 años y requiere poco mantenimiento [2], lo que permite un retorno de la inversión a largo plazo.

Es importante resaltar que Colombia se encuentra comprometido con el correcto desarrollo de la transición energética, como lo demuestra el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 del presidente Gustavo Petro. Este plan establece objetivos claros y estrategias para promover el uso de tecnologías limpias y renovables, como la energía solar, con el fin de reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. A través de este plan, se han generado diversas iniciativas y beneficios para que más personas tomen conciencia sobre la importancia y las ventajas de este tipo de tecnologías, haciéndolos partícipes de la solución a una problemática que aqueja no solo a nuestro país, sino a todo el mundo. Además, se impulsan políticas y programas de incentivos para la instalación de paneles solares en hogares, empresas y sectores públicos, promoviendo así la adopción masiva de energía solar y contribuyendo activamente a la mitigación del cambio climático y la mejora de la calidad ambiental en Colombia.

Este estudio busca principalmente evaluar la implementación de la energía solar en una vivienda unifamiliar en la ciudad de Bogotá, cuyo propósito es reducir la dependencia de la red eléctrica pública y contribuir a la sostenibilidad ambiental, teniendo en cuenta los desafíos técnicos, económicos y espaciales que puedan surgir.

Para lograr este objetivo, se plantea en primer lugar, estudiar las condiciones climatológicas y meteorológicas de la ciudad de Bogotá para confirmar si se cumplen las condiciones técnicas

requeridas para la instalación de paneles solares. En segundo lugar, se analizarán los consumos energéticos de la vivienda unifamiliar objeto de estudio y, por último, se llevará a cabo un estudio de viabilidad técnica y económica para determinar la factibilidad de la instalación de paneles solares en la vivienda objeto de estudio.

## **1 OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo general**

Evaluar la implementación de la energía solar en una vivienda unifamiliar en la ciudad de Bogotá para reducir la dependencia de la red eléctrica pública y contribuir a la sostenibilidad ambiental, teniendo en consideración los desafíos técnicos, económicos y espaciales que se puedan presentar.

### **1.2 Objetivos específicos**

- 1.** Estudiar las condiciones climatológicas y meteorológicas de la ciudad de Bogotá con el fin de corroborar el cumplimiento de las condiciones técnicas requeridas para la instalación de los paneles solares.
- 2.** Analizar los consumos energéticos de la vivienda unifamiliar de estudio.
- 3.** Realizar un estudio de la viabilidad técnica y económica para la instalación de paneles solares en una vivienda de tipo unifamiliar en la ciudad de Bogotá.

## **2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Energía solar**

El "Informe Especial sobre Fuentes de Energía Renovable y Mitigación del Cambio Climático" del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) subraya que la energía solar es una de las principales fuentes de energía renovable disponible, con un potencial enorme para abordar los desafíos del cambio climático [3]; razón por la cual se plantea la integración de este tipo de energía como una alternativa viable para disminuir la dependencia a las fuentes de energía convencionales.

La energía solar es una forma de energía limpia y renovable que se obtiene a partir de la radiación solar, la cual puede ser capturada y convertida en diferentes formas útiles de energía, como la energía eléctrica (mediante paneles fotovoltaicos) o la energía térmica (mediante colectores solares térmicos) [4].

### **2.2 Sistema fotovoltaico**

Los paneles solares funcionan mediante el efecto fotovoltaico, un proceso mediante el cual los materiales semiconductores convierten la radiación solar directamente en electricidad. Este proceso se basa en la capacidad de ciertos materiales, como el silicio, para liberar electrones cuando absorben fotones de luz solar. Como explica Green (2003), este fenómeno implica que cuando la luz solar incide sobre la superficie del panel solar, los fotones de luz son absorbidos por los átomos del material semiconductor, generando pares de electrones y huecos. Estos electrones, al ser liberados, crean un flujo de corriente eléctrica a través del material semiconductor, que puede ser aprovechado para generar electricidad. Esta corriente eléctrica puede ser utilizada directamente o almacenada en baterías para su uso posterior.

Además, el rendimiento de los paneles solares puede variar dependiendo de factores como la intensidad y la duración de la luz solar, así como la eficiencia del diseño y los materiales utilizados [5]. En resumen, los paneles solares son dispositivos que aprovechan el efecto fotovoltaico para convertir la radiación solar en energía eléctrica de manera limpia y sostenible, contribuyendo así

a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y al desarrollo de fuentes de energía renovable [6].

Un sistema fotovoltaico está constituido por una agrupación de módulos y un conjunto de elementos que adaptan la energía eléctrica que produce el generador a la aplicación [7]. Este tipo de sistemas se pueden clasificar en dos tipos conforme su aplicación: sistemas autónomos y sistemas conectados a la red.

El primer tipo, los sistemas autónomos, se enfocan en garantizar un suministro eléctrico constante incluso cuando la producción de energía solar es insuficiente para satisfacer la demanda o cuando las condiciones climáticas no permiten una generación solar óptima. Para lograr esto, es esencial almacenar la energía generada durante los momentos en que la producción excede la demanda energética.

Los sistemas conectados a la red eléctrica, no requieren una disponibilidad absoluta del suministro eléctrico, lo que implica que los criterios para definir la capacidad del generador son menos precisos. En esta situación, se considera que la red eléctrica es una fuente continua de energía. Estos sistemas permiten intercambiar electricidad con la red cuando la generación solar excede las necesidades del usuario y adquirir energía de la red cuando la demanda supera la capacidad de producción del sistema fotovoltaico.

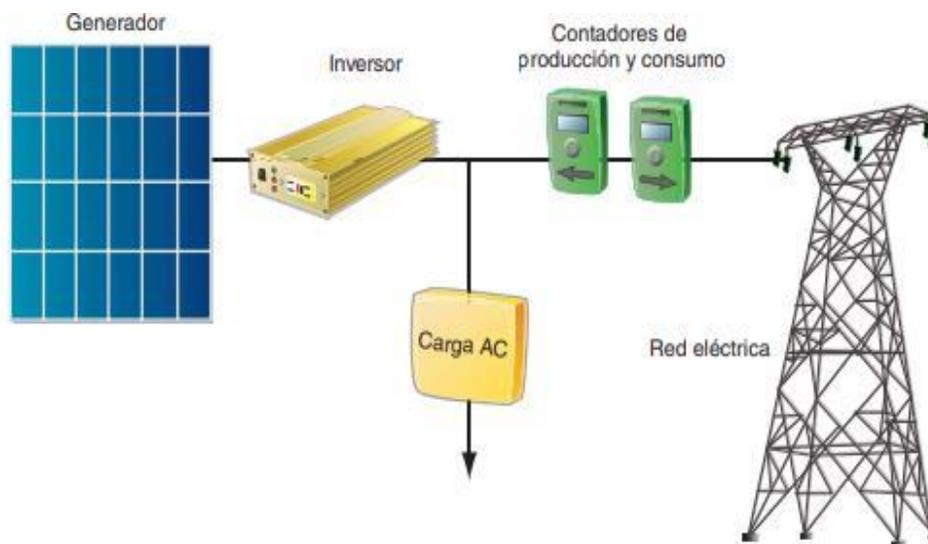
Esta tecnología funciona por medio de paneles solares, los cuales forman parte de un sistema solar fotovoltaico completo que, dependiendo de la aplicación, comprende baterías para el almacenamiento de electricidad, inversores CC/CA que conectan un sistema solar fotovoltaico a la red y otros componentes eléctricos o elementos de montaje diversos [8]. Estas partes adicionales del sistema solar fotovoltaico forman una segunda parte del sistema que se denomina balance del sistema. Por último, el sistema solar incluye productos como electrodomésticos, aparatos de radio o televisión que utilizan la electricidad solar para su funcionamiento. Estos productos se denominan carga [8].

## 2.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Un sistema fotovoltaico conectado a la red consiste en una configuración de componentes, que incluyen paneles solares e inversores. Su propósito principal radica en la generación de energía eléctrica a partir de la radiación solar. Empleando el efecto fotovoltaico, los paneles solares convierten la energía proveniente de los fotones incidentes en un flujo de electrones que actúan como una fuente de corriente continua. Cuando estos sistemas se integran en instalaciones donde la corriente de la red es de naturaleza alterna, se hace necesario el uso de un inversor que facilite la incorporación de electricidad proveniente del generador fotovoltaico al sistema eléctrico.

Figura 1.

*Instalación fotovoltaica conectada a la red.*



**Nota.** Esta figura presenta los componentes y características clave de una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica. Se incluyen detalles sobre los paneles solares, inversores, sistemas de almacenamiento, medidores bidireccionales y la configuración del sistema. Tomado de: [9] T. Días y G. Carmona, “Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1,” vol. 1, pp. 18–24, 2016.

- **Componentes Principales**

- **Paneles Solares Fotovoltaicos:** Transforman la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico.

- **Inversores:** Convierten la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA) para ser compatible con la red eléctrica.
- **Sistema de Montaje y Cableado:** Instalación física y conexión eléctrica que permite la integración de los paneles al sistema.
  
- **Funcionamiento:**
  - Los paneles solares capturan la luz solar y generan electricidad en forma de corriente continua.
  - El inversor convierte la corriente continua en corriente alterna para que sea compatible con la red eléctrica convencional.
  - La electricidad generada se inyecta directamente en la red eléctrica y se distribuye para su consumo en las diferentes instalaciones.

### 3 ANTECEDENTES

En los últimos años, la energía solar ha ganado una mayor relevancia en Colombia, ya que representa una alternativa sostenible y rentable para la generación de energía eléctrica [9]. Bogotá, al ser la capital del país y la ciudad más grande del territorio colombiano, es también el centro político, cultural y económico, por lo que es importante la implementación de otros sistemas de energía como alternativas para contribuir al desarrollo sostenible de la ciudad y del país, siendo así pionera en la diversificación de la matriz energética. Como es de esperarse, la mayoría de la industria se encuentra concentrada en Bogotá, lo que genera una gran demanda de energía para suplir las necesidades de estas actividades económicas. Sin embargo, esta concentración industrial también conlleva a que la ciudad sea una de las principales fuentes de generación de gases de efecto invernadero. Para contextualizar, en el año 2019, Bogotá emitió un total de 10,623,267 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, según datos oficiales. Sin embargo, se observa un cambio positivo en la tendencia, ya que para el año 2021 estas emisiones se redujeron a un total de 9,528,152 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que representa una disminución del 10.3% [10].

Este descenso en las emisiones de gases de efecto invernadero refleja un progreso significativo en la lucha contra el cambio climático y evidencia la efectividad de las medidas implementadas para promover el uso de energías renovables y avanzar hacia una transición energética más sostenible. En línea con este objetivo, el gobierno actual ha establecido la implementación de una serie de iniciativas destinadas a fomentar el uso de energías renovables en la ciudad, con el fin de hacer de Bogotá una urbe más sostenible en términos ambientales, sociales y económicos.

Colombia es uno de los países en latino américa en los cuales se cuenta con una amplia normatividad a nivel ambiental, un ejemplo de esto es la Ley 1715 de 2014 regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional y establece el marco legal y el marco para promover el uso de las fuentes de energía no convencionales, principalmente las renovables, establece el objeto de la creación de los medios. Promoción de la inversión, la investigación y el desarrollo en tecnologías limpias para la producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta a la demanda como parte de la política energética.

Es importante mencionar también al Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, quienes financian, gestionan, ejecutan planes, programas y proyectos alineados con el propósito de mejorar la eficiencia energética y el uso de fuentes no convencionales de energía en el país; uno de los principales proyectos que llevaron a cabo en el año 2019 fue la financiación de estudios para la implementación de estrategias de gestión eficiente de la energía e instalación de sistemas solares fotovoltaicos en los departamentos de Antioquia, Chocó, Nariño, Amazonas y Guajira [11].

Por otra parte, en el año 2021 el ministro de vivienda, ciudad y territorio incluyó un beneficio denominado “Ecobertura” para las personas interesadas en adquirir viviendas No VIS las cuales cumplan con estándares de sostenibilidad y sean amigables con el medio ambiente; puesto que la promoción de buenas prácticas ambientales es un imperativo y un propósito que está alineado con la Agenda de Desarrollo Sostenible a 2030 [12]. Según el ministro, cada familia recibirá una cobertura de 52 salarios mínimos para cubrir parte de la cuota de su crédito de vivienda durante los primeros 7 años. Es decir, que los hogares que compren en este tipo de proyectos se beneficiarán de un monto adicional de 10 salarios mínimos, si se compara con aquellos que adquieren una vivienda No VIS tradicional y que pueden acceder a un subsidio de 42 salarios mínimos [12]. Asimismo, uno de los antecedentes más importantes en este campo es la resolución 030 de 2018 por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas, la cual tiene por objeto regular aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional (SIN) [13]. En otras palabras, esta resolución permite a los usuarios residenciales instalar sistemas solares en sus hogares y vender el excedente de energía generada a la red, lo que a su vez representa una oportunidad para reducir los costos de energía eléctrica y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

En el año 2019, la Universidad de la Salle participó en el Solar Decathlon, una iniciativa del Departamento de Energía de los Estados Unidos; se nombró “Casa Nativa” y fue diseñada por estudiantes de ingeniería y arquitectura. Esta cuenta con paneles solares en el techo, los cuales generan energía eléctrica para el funcionamiento de los electrodomésticos, iluminación y sistemas de calefacción y refrigeración [14].

## **4 NORMATIVIDAD**

La ley 1715 de 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, establece como finalidad instaurar el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, así como para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional [15].

La NTC (Norma Técnica Colombiana) 2050 tiene como objeto establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los sistemas de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables no convencionales, como la energía solar, para su conexión a la red eléctrica en Colombia. Asimismo, la Resolución 030 de 2018 por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas, tiene por objeto regular aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional (SIN) [13].

## 5 METODOLOGÍA

El proyecto se llevó a cabo en la ciudad de Bogotá en una vivienda ubicada en la localidad de Teusaquillo, específicamente en el barrio Galerías situado en la zona nororiental de la localidad, cuyo objetivo fue realizar el análisis de viabilidad para la instalación de un sistema foto en dicho domicilio.

La investigación se realizó a partir de un análisis de las condiciones climatológicas y meteorológicas de la zona para evaluar si cumplía con los requisitos técnicos para el correcto funcionamiento de los paneles solares; asimismo, fue necesario evaluar los consumos de la vivienda para llevar a cabo el análisis financiero de la instalación. El proyecto contempló la evaluación inicial de la viabilidad técnica y financiera de la implementación de energía solar en la residencia, asimismo, se estudiaron las limitaciones relacionadas como lo son la disponibilidad de espacio para la instalación de los paneles solares y la radiación de la zona en la que se encuentra ubicada la vivienda.

Se planteó la integración de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica pública, considerando que esta tecnología brinda la posibilidad de aprovechar la energía generada por los paneles solares. Al adoptar este tipo de tecnología, no solo se garantiza el aprovechamiento la generación solar, si no también permite hacer uso de la red pública de energía. Esta conexión resulta fundamental en situaciones en las que la generación solar pueda ser insuficiente, permitiendo así recibir energía adicional de la red convencional.

Se destaca que la elección de este sistema en Bogotá se justifica por la existencia de una red de distribución eléctrica en la ciudad. La presencia de esta infraestructura eléctrica facilita la integración del sistema fotovoltaico, asegurando un suministro energético constante. Este enfoque se alinea con la necesidad de aprovechar sosteniblemente la radiación solar disponible, contribuyendo así al desarrollo energético y medioambiental de Bogotá.

## 6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

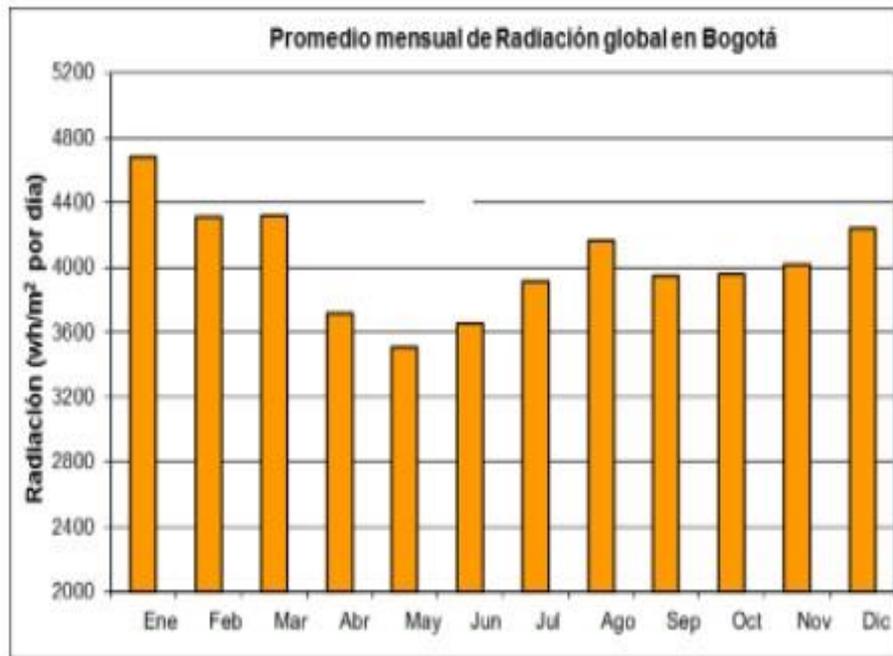
Para evaluar la viabilidad de la integración de energía solar a la matriz de la vivienda caso de estudio, se requiere conocer las condiciones climáticas específicas de Bogotá. La ciudad posee un clima subtropical de alta montaña, con temperaturas moderadas y variaciones estacionales en la cantidad de horas de sol. Las condiciones climáticas pueden influir en la generación solar y en la eficiencia de los paneles solares [16].

Los patrones de precipitación en Colombia están altamente relacionados con el desplazamiento latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y el ciclo conocido como El Niño, La Niña – Oscilación del Sur – ENOS, el cual es la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico en la escala interanual. Estos fenómenos hacen parte de un proceso natural y recurrente, cuyos periodos de ocurrencia fluctúan entre 3 y 7 años, según registros históricos [17].

La radiación solar se puede definir también como un factor clave para la instalación de sistemas fotovoltaicos, ya que incide directamente en la generación de energía proveniente de la luz solar. Este parámetro influye significativamente en la viabilidad económica del proyecto, puesto que precisa la cantidad de energía que puede ser producida por el sistema y de esta manera impactando en los ahorros en la factura de electricidad y la rentabilidad a largo plazo.

Figura 2.

*Promedio Radiación Solar Bogotá.*



**Nota:** Esta figura muestra la radiación solar promedio en la ciudad de Bogotá, proporcionando información crucial para evaluar el potencial de generación de energía solar en la región. Tomado de: [18] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia,” 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.ideam.gov.co>.

El IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, en su “*Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*” en el año 2021 reportó que en la estación meteorológica de la Universidad Nacional los valores de radiación solar estuvieron entre 2.500 Wh/m<sup>2</sup> y 4.700 Wh/m<sup>2</sup>. El brillo solar, representa la intensidad de la luz solar directa que llega a la superficie terrestre, es un parámetro esencial para la instalación de sistemas fotovoltaicos. Como se puede observar en la **Tabla 1** en la ciudad de Bogotá se tiene un rango de 6 a 8 horas diarias en las cuales la radiación solar alcanza valores propicios para la instalación de un sistema fotovoltaico.

Tabla 1.

Promedio Horario Radiación Solar en Bogotá – Brillo Solar

ESTACION UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (BOGOTÁ)												
PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m <sup>2</sup> )												
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
1-2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	0,4
2-3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3
3-4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
4-5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4	0,3
5-6	0,2	0,1	0,3	1,3	2,5	1,9	1,2	1,2	2,0	3,0	2,7	0,7
6-7	31,9	29,1	39,5	52,9	66,3	82,0	95,2	90,6	60,2	71,6	61,4	50,2
7-8	194,9	162,3	149,3	177,2	188,3	188,0	191,0	172,9	190,6	205,6	196,3	208,9
8-9	351,3	342,2	264,3	309,3	294,4	291,3	313,7	290,8	284,5	346,4	356,3	378,8
9-10	507,6	455,8	366,7	388,1	391,4	389,5	399,7	387,8	399,5	457,6	456,6	504,3
10-11	589,9	543,7	469,6	425,6	431,5	447,8	476,8	467,0	460,2	501,8	519,1	545,5
11-12	607,4	544,1	483,3	433,2	456,7	497,2	520,6	491,4	489,4	468,0	488,2	533,5
12-13	560,1	503,8	433,2	412,9	464,7	490,0	544,6	494,3	481,1	442,4	414,1	491,1
13-14	475,7	465,6	389,8	385,9	404,2	476,3	499,4	457,5	432,5	393,3	355,3	423,4
14-15	375,9	357,0	313,5	307,7	334,2	391,8	404,2	392,0	396,2	315,9	274,7	348,9
15-16	304,4	275,2	231,1	225,1	245,4	275,5	292,9	305,2	296,4	209,9	186,3	254,7
16-17	171,2	145,7	145,6	136,4	143,1	158,6	177,2	168,1	166,4	111,0	80,2	124,9
17-18	46,4	48,7	47,7	36,6	36,7	46,3	59,4	48,9	34,5	16,7	13,0	26,0
18-19	0,5	0,9	0,7	0,2	0,3	0,5	1,1	0,8	0,4	0,3	0,4	0,4
19-20	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
20-21	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3
21-22	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2
22-23	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3
23-0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2	0,3	0,2
Acumulada diaria	4207,3	3673,1	3334,2	3270,4	3457,9	3716,7	3937,1	3728,5	3690,0	3633,0	3420,7	3891,2



**Nota:** Esta tabla presenta los valores promedio de radiación solar a lo largo de diferentes horas del día en Bogotá, permitiendo analizar la variación de la radiación solar en función del tiempo. Los datos son fundamentales para la planificación y evaluación de proyectos de energía solar en la región. Tomado de: [18] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia,” 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.ideam.gov.co>.

En el marco de este proyecto, se realizó una evaluación del consumo energético de la vivienda unifamiliar caso de estudio, utilizando como fuente principal de datos las facturas de electricidad. Este enfoque basado en datos reales permite una comprensión detallada de los patrones de consumo a lo largo del tiempo, comprendiendo la variabilidad climática de Bogotá. Al analizar las facturas, se obtuvieron los datos precisos de la demanda energética de la vivienda, identificando tendencias, picos y variaciones que son esenciales para dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico propuesto.

Tabla 2.

Consumo promedio mensual de la vivienda caso de estudio.

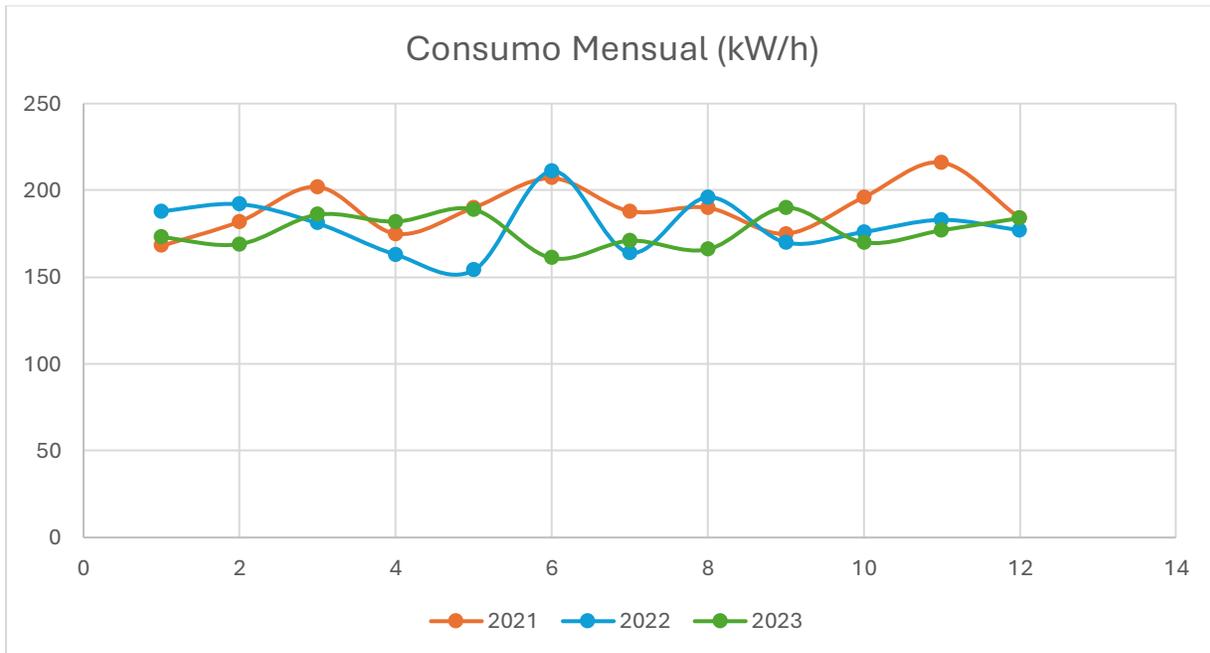
	MES (kW/h)		
	2021	2022	2023
<b>ENERO</b>	168	188	173
<b>FEBRERO</b>	182	192	169
<b>MARZO</b>	202	181	186
<b>ABRIL</b>	175	163	182
<b>MAYO</b>	190	154	189
<b>JUNIO</b>	207	211	161
<b>JULIO</b>	188	164	171
<b>AGOSTO</b>	190	196	166
<b>SEPTIEMBRE</b>	175	170	190
<b>OCTUBRE</b>	196	176	170
<b>NOVIEMBRE</b>	216	183	177
<b>DICIEMBRE</b>	184	177	184

	2021	2022	2023
<b>PROMEDIO</b>	189,42	179,58	176,50
<b>PROMEDIO MENSUAL (kW/h)</b>	181,83		
<b>COSTO PROMEDIO MENSUAL (COP)</b>	\$ 127.766		

**Nota.** Esta tabla presenta el consumo promedio mensual de energía eléctrica de la vivienda analizada, desglosado por meses. Los datos son esenciales para entender los patrones de consumo energético y evaluar la viabilidad de la integración de un sistema de energía solar.

Figura 3.

Consumo mensualizado vivienda caso de estudio.



**Nota:** Este gráfico ilustra el consumo promedio mensual de energía eléctrica de la vivienda analizada, visualizando las fluctuaciones en el consumo a lo largo del año. Los datos son fundamentales para comprender el comportamiento energético de la vivienda y evaluar la posibilidad de implementar un sistema de energía solar. Tomado de: Elaboración propia.

Como se puede observar en la **Tabla 2**, los consumos mensuales de energía de la vivienda revelan un punto máximo en el consumo del mes de noviembre de 2021 con un valor de 216 kW/h y un mínimo en el mes de mayo de 2022 con un valor de 154 kW/h, lo que nos ayuda a una comprensión más profunda del perfil energético. Se observa un marcado aumento en el consumo para el año 2021, esto debido a la emergencia sanitaria mundial del COVID-19, situación que obligó a la comunidad mundial a permanecer en aislamiento. El incremento de la permanencia en el hogar condujo a un uso más prolongado de dispositivos electrónicos y electrodomésticos, generando una demanda energética inusualmente alta.

De igual manera en la **Tabla 3**, se presentan los consumos por día de la vivienda en cuestión, lo que nos ayuda a comprender el uso de la energía en la vivienda caso de estudio y se puede observar allí que para el período estudiado el consumo promedio diario oscila entre los 5,40 y los 6,70 kW/h.

Tabla 3.

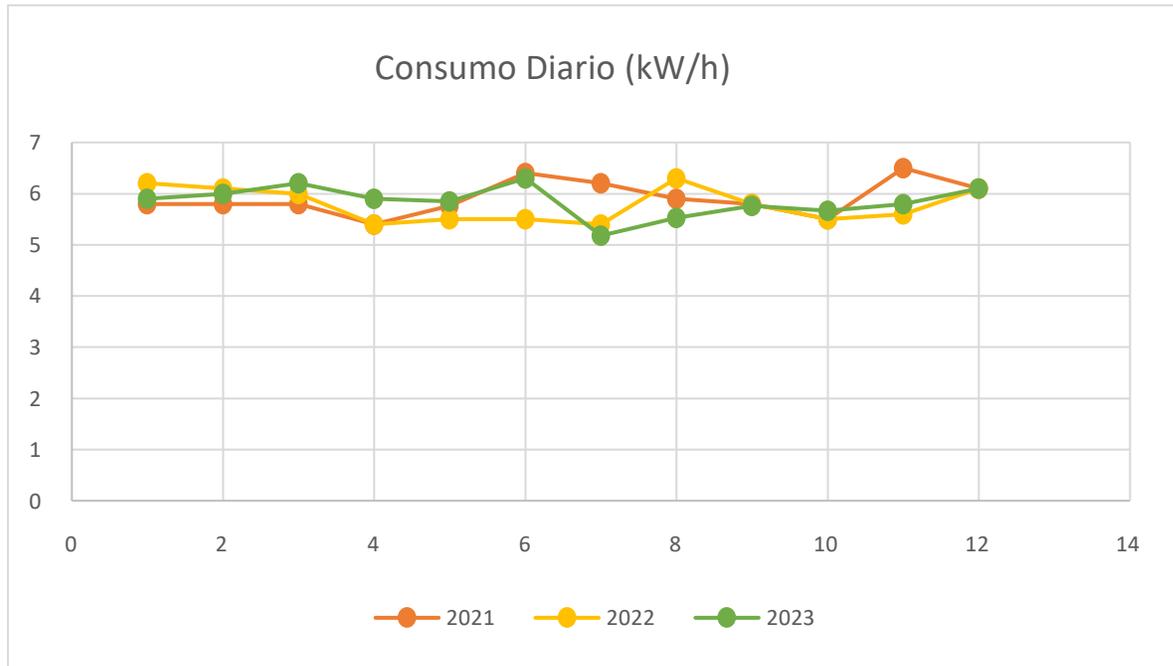
*Consumo promedio diario de la vivienda caso de estudio.*

	<b>DÍA (kW/h)</b>		
	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
<b>ENERO</b>	5,80	6,20	5,90
<b>FEBRERO</b>	6,00	6,10	6,00
<b>MARZO</b>	6,30	6,20	6,00
<b>ABRIL</b>	5,80	5,40	6,00
<b>MAYO</b>	6,50	5,50	5,90
<b>JUNIO</b>	6,40	6,30	5,50
<b>JULIO</b>	6,20	5,40	5,18
<b>AGOSTO</b>	6,30	6,10	5,53
<b>SEPTIEMBRE</b>	5,80	5,80	5,76
<b>OCTUBRE</b>	6,70	5,80	5,67
<b>NOVIEMBRE</b>	6,50	5,50	5,90
<b>DICIEMBRE</b>	6,10	5,90	6,10
<b>PROMEDIO</b>	<b>6,20</b>	<b>5,85</b>	<b>5,79</b>

**Nota:** Esta tabla muestra el consumo promedio diario de energía eléctrica de la vivienda analizada, proporcionando un desglose detallado del uso de electricidad en diferentes momentos del día. Los datos son cruciales para identificar patrones de consumo y para la planificación de un sistema de energía solar eficiente.

Figura 4.

Consumo diario vivienda caso de estudio.



**Nota:** Este gráfico representa el consumo diario de energía eléctrica de la vivienda analizada, destacando las variaciones en el uso de electricidad a lo largo de cada día. Los datos visualizados son esenciales para comprender el comportamiento del consumo energético y son útiles para la planificación de la integración de un sistema de energía solar. Tomado de: Elaboración propia.

Así mismo, se presenta una discriminación de los aparatos electrónicos presentes en la vivienda, los cuales constituyen puntos críticos de consumo energético. Esto con el fin de identificar la procedencia de la demanda eléctrica de la vivienda caso de estudio, haciendo así, una distinción de los electrodomésticos y aparatos objeto de consumo.

Tabla 4.

Desagregación del consumo.

EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO	TIEMPO DE USO DIARIO	TIEMPO DE USO MENSUAL	TOTAL CONSUMO
<b>BOMBILLAS</b>	7	0,012 kW/h	5 h	30 días	12,60 kW
<b>LAVADORA</b>	1	0,30 kW/h	0,8 h	30 días	7,20 kW
<b>NEVERA</b>	1	1,18 kW/h	24 h	30 días	35,50 kW
<b>TELEVISORES</b>	2	0,10 kW/h	8 h	30 días	24,00 kW

Tabla 4. (Continuación)

<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CONSUMO</b>	<b>TIEMPO DE USO DIARIO</b>	<b>TIEMPO DE USO MENSUAL</b>	<b>TOTAL CONSUMO</b>
<b>DUCHA ELÉCTRICA</b>	1	2,00 kW/h	1 h	30 días	60,00 kW
<b>TELÉFONO</b>	1	0,002 kW/h	24 h	30 días	1,44 kW
<b>LICUADORA</b>	1	0,60 kW/h	0,5 h	30 días	0,38 kW
<b>DECODIFICADOR</b>	1	0,01 kW/h	24 h	30 días	7,20 kW
<b>MODEM</b>	1	0,01 kW/h	24 h	30 días	7,20 kW
<b>REPETIDOR</b>	1	0,02 kW/h	24 h	30 días	8,64 kW
<b>CELULAR</b>	3	0,02 kW/h	2,5 h	30 días	0,49 kW
<b>COMPUTADOR</b>	2	0,20 kW/h	2 h	15 días	1,20 kW
<b>TOTAL</b>					165,85 kW

**Nota:** Esta tabla detalla la desagregación del consumo de energía eléctrica de la vivienda caso de estudio, mostrando la distribución del uso energético por diferentes electrodomésticos y sistemas. Esta información es fundamental para identificar los principales consumidores de energía y para optimizar la gestión del consumo eléctrico. Tomado de: Elaboración propia.

Como se puede observar en la **Tabla 2** y en la **Tabla 4**, el consumo promedio más alto que se ha presentado en la vivienda es de 181,83 kW por lo que este será el valor del cual partiremos para la proyección de los cálculos.

Con base a lo mencionado anteriormente y teniendo en cuenta los beneficios que representa la integración de este tipo de sistemas, se realizó una cotización con una compañía que se dedica al diseño de sistemas fotovoltaicos, esta es una empresa conocida por su alta calidad en los servicios que ofrecen, es decir, se ajusta a las necesidades y requerimientos solicitados para cada sistema, proponen soluciones o modificaciones razonables para el cliente garantizando de esta manera un servicio seguro y confiable; en este caso la empresa nos brinda un paquete completo en el cual se compromete con el suministro, instalación y puesta en marcha de un sistema fotovoltaico el cual cubra la demanda energética de la vivienda caso de estudio.

Adicionalmente la empresa ofrece los siguientes servicios antes de adquirir el sistema, estudio del proyecto, viabilidad, supervisión en cada una de las etapas del trabajo, montaje y garantía de instalación.

La empresa utiliza accesorios que cumplen con todas las normativas y cuentan con sus respectivos certificados de calidad. Las estructuras están hechas de perfiles de aluminio, conocidos por su alta rigidez, bajo peso y resistencia a la corrosión ambiental. Esta resistencia es beneficiosa ya que protege contra agentes que deterioran los metales mediante oxidación y corrosión, procesos que suelen producir sales y decoloración. Asimismo, garantiza una mayor durabilidad de los materiales gracias a su alta calidad [19].

El tipo de sistema que se va trabajar en este caso en inyección de red, el cual permite un ahorro significativo en el caso de un consumo de energía alto, este tipo de sistemas se implementan en hogares, industrias y comercios, adicionalmente, este tipo de sistemas son autosuficientes, esto quiere decir que no es necesario tener un monitoreo constante del sistema garantizando de esta manera un proceso automatizado y eficiente, el mantenimiento de estos son de bajo costos aumentando así el ahorro al momento de adquirirlo. El voltaje de funcionamiento es de 120 VAC y es monofásico. Al identificar la disposición adecuada de los equipos se establece un espacio requerido de 8 m<sup>2</sup>, para una potencia de 1,58kW, lo que asegura una instalación optimizada y efectiva.

Para una vivienda con un consumo mensual de **181,83 kWh**, se considera un panel fotovoltaico con una potencia de **560 W** (0,56 kW) según la ficha técnica. En Bogotá, la radiación solar promedio se estima en **4,53 kWh/m<sup>2</sup>/día**, lo que influye en la cantidad de energía que puede generar el sistema diariamente. Utilizando un mes de **30 días** para los cálculos, la potencia del panel se convierte a **0,56 kW** dividiendo los 560 W entre 1000, lo que permite evaluar su producción en función de las condiciones solares de la ciudad.

$$\text{Producción diaria} = 0,56 \text{ kW} \times 4,53 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$

$$\text{Producción diaria} = 2,54 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

Para obtener la producción mensual de un panel, multiplicamos la producción diaria de energía (que depende de la potencia del panel y la radiación solar diaria) por la cantidad de días en un mes. Esto nos da una estimación de cuánta energía produce un panel en un mes completo bajo condiciones promedio. Por ejemplo, si un panel genera **2,54 kWh** al día, y consideramos un mes de **30 días**, la producción mensual sería.

$$\text{Producción mensual} = 2,54 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \times 30 \text{ días}$$

$$\text{Producción mensual} = 76,10 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Para cubrir el consumo de **181,83 kWh/mes**, se requiere una cierta cantidad de paneles; esto se calcula dividiendo el consumo mensual por la producción mensual de un panel.

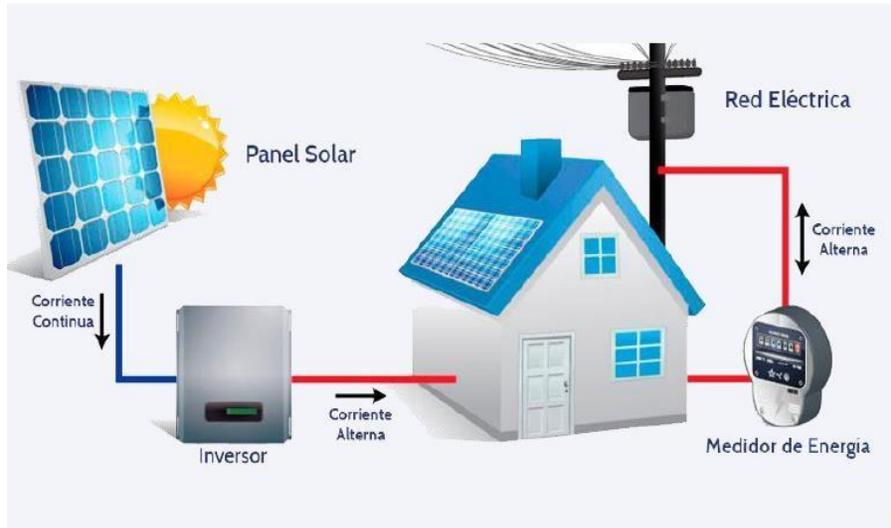
$$\text{Cantidad de paneles} = \frac{181,83 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}}{76,10 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}}$$

$$\text{Cantidad de paneles} = 2,39 \text{ paneles}$$

Se asume una eficiencia del 100% en los cálculos de generación del panel fotovoltaico, ya que la ficha técnica del sistema garantiza una eficiencia del 98% durante el primer año de operación. Esta aproximación simplifica el análisis sin afectar significativamente la estimación de la producción energética esperada, dado que las pérdidas estimadas son mínimas durante los primeros años.

Figura 5.

*Sistema fotovoltaico interconectado a la red.*



**Nota:** Esta figura ilustra el diseño y la configuración de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica. Muestra los componentes principales del sistema, incluidos los paneles solares, el inversor y los dispositivos de conexión a la red, destacando su integración para la generación y suministro de energía eléctrica. Tomado de: [19] GEE-RENOVABLES, “Detalles técnicos de los accesorios y materiales utilizados en la instalación de sistemas fotovoltaicos,” Informe de cotización, 2023.

Dado que la superficie disponible en el techo de la vivienda para la instalación de paneles solares abarca 33,95 m<sup>2</sup>, mientras que el área necesaria para la instalación de los módulos fotovoltaicos es de 8 m<sup>2</sup>, se destaca la idoneidad de la compañía seleccionada, toda vez que proporciona estructuras de montaje diseñadas específicamente para superficies planas. Estas estructuras permiten la instalación óptima de los paneles solares, anclándolos de manera efectiva al techo y siendo este un aspecto importante para tener en cuenta al seleccionar la compañía que se encargará del proceso de instalación del sistema en mención [20].

### 6.1 Área requerida por panel

De acuerdo con la ficha técnica, las dimensiones del panel son 2,278 m de largo y 1,134 m de ancho siendo el área de cada panel

$$\text{Área por panel} = 2,278\text{m} \times 1,134\text{m}$$

$$\text{Área por panel} = 2.58\text{m}^2$$

## 6.2 Área total requerida para 3 paneles

Multipliquemos el área de un panel por la cantidad de paneles necesarios

$$\text{Área total} = 2,58m^2 \times 3$$

$$\text{Área total} = 7.74m^2$$

El producto cuenta con un garantía de aproximadamente 12 años por defectos de fábrica y garantiza una eficiencia del 80.6% durante 30 años, para el sistema en inyección de red, si se establecen mantenimientos preventivos frecuentes, los cuales detecten el desgaste del cableado a tiempo y se realice la limpieza de los componentes y penales en los tiempos requeridos se espera una vida útil mayor a lo estimado, el impacto ambiental que genera este sistema es mínimo, en este caso, favorece al ecosistema debido a que la energía eléctrica implementada no proviene de fuentes tóxicas.

Tabla 5.

*Resumen Sistema Técnico y Financiero.*

<b>RESUMEN DEL SISTEMA TÉCNICO Y FINANCIERO</b>	
CAPACIDAD INSTALADA (kW)	1,60
PRODUCCIÓN ANUAL ESTIMADA (kW)	2.325
AHORRO DE ENERGÍA ANUAL (COP)	\$ 1.543.525
TOTAL, CONTRIBUCIONES ANUALES (50% EN 5 AÑOS)	\$ 1.598.232
INGRESOS ESPERADOS EN 30 AÑOS (Considerando pérdidas) (COP)	\$ 47.220.163
INVERSIÓN (COP)	\$ 9.690.996
RETORNO INVERSIÓN (AÑOS)	5,20

**Nota:** Esta tabla presenta un resumen detallado de las especificaciones técnicas y financieras del sistema fotovoltaico propuesto. Incluye información sobre los componentes del sistema, costos de instalación, y proyecciones de ahorro energético, permitiendo una evaluación integral del proyecto. Tomado de: [19] GEE-RENOVABLES, “Detalles técnicos de los accesorios y materiales utilizados en la instalación de sistemas fotovoltaicos,” Informe de cotización, 2023.

Con la finalidad de corroborar los datos extraídos de la cotización, se hace necesario realizar una proyección teórica del sistema fotovoltaico. Los cálculos permitirán verificar si el sistema

propuesto cumple con las necesidades energéticas del cliente, considerando variables como el consumo mensual, la radiación solar local y las especificaciones técnicas de los paneles. Además, esta proyección asegura que la inversión y el rendimiento estimado del sistema sean realistas y adecuados para las condiciones específicas del sitio.

### 6.3 Número de paneles solares a instalar

Figura 6.

*Vista área de instalación del sistema fotovoltaico.*



**Nota:** Esta figura muestra una representación aérea del área disponible en la vivienda para la instalación del sistema fotovoltaico, destacando la ubicación y el espacio necesario para los paneles solares y su integración en el entorno del hogar. Tomado de: Elaboración propia, modificado de Google Earth Pro.

Dadas las dimensiones del área de instalación, que abarca 3,5 metros de ancho por 9,7 metros de largo, y considerando el área requerida para el sistema, que en este caso en específico es de 8 m<sup>2</sup>, se concluye que el espacio disponible es óptimo para la instalación del sistema fotovoltaico. La superficie total de 33,95 m<sup>2</sup> es más que suficiente para acomodar el área necesaria de 8 m<sup>2</sup>, permitiendo no solo la instalación eficiente de los paneles solares sino también espacio adicional para facilitar el mantenimiento y asegurar la correcta ventilación del sistema. La disposición del área garantiza que los paneles solares reciban una exposición adecuada a la luz solar, maximizando así la producción de energía. Además, el espacio adicional proporciona flexibilidad para futuras expansiones o ajustes, si se requiriesen mejoras en el sistema o adición de componentes adicionales. En conjunto, estas condiciones aseguran una instalación efectiva y un rendimiento

óptimo del sistema fotovoltaico. Esta disposición se visualiza en la **Figura 6**, donde se muestra el área disponible para la instalación de los paneles, maximizando así la captación de energía solar.

#### **6.4 Cálculo de producción de energía solar anual**

*Producción de energía solar anual de un panel solar*

$$= \text{Capacidad instalada} * \# \text{ de días del año} * \# \text{ de horas de radiación solar (entre 400kW y 800kW)}$$

$$\text{Producción de energía solar anual de un panel solar} = 1,6 \text{ kW} * 365 * 4,53$$

$$\text{Producción de energía solar anual de un panel solar} = 2.645,52 \text{ kW}$$

La producción anual de energía solar del sistema se estima en 2645 kW. Sin embargo, al considerar que el área disponible es mayor al área requerida para la instalación se puede considerar una expansión del mismo. Este enfoque nos permite evaluar el potencial de producción energética del sistema solar en su conjunto, lo que es fundamental para comprender su eficacia y su contribución al suministro de energía sostenible.

La producción anual de energía solar del sistema se estima en 2645 kWh, teniendo en cuenta una eficiencia del sistema del 80,6%. Esta eficiencia implica que, aunque la irradiancia solar disponible es una variable crucial, la capacidad del sistema para convertir esa energía solar en electricidad útil se ve limitada a un 80,6% del máximo teórico. Por lo tanto, el valor de 2645 kWh refleja la cantidad de energía que el sistema es capaz de generar en condiciones óptimas, después de ajustar por las pérdidas asociadas a la conversión y otras ineficiencias. Esta estimación es fundamental para evaluar el impacto del sistema en el suministro de energía, su contribución al ahorro en la factura eléctrica, y la efectividad del sistema en términos de sostenibilidad y rendimiento energético.

#### **6.5 Cobertura del sistema**

La cobertura del sistema se evaluará considerando la producción de energía solar anual del sistema fotovoltaico, que se estima en 2645 kW. Esto nos permitirá estimar la capacidad de generación de

energía del sistema en su totalidad, lo que a su vez nos ayudará a comprender su potencial para satisfacer las necesidades energéticas de la vivienda caso de estudio. Al basar nuestros cálculos en la producción anual, podemos obtener una visión general del rendimiento esperado del sistema en términos de suministro de energía sostenible y confiable.

$$\text{Cobertura del sistema} = \frac{\text{Producción de energía solar anual del sistema}}{\text{Demanda energética anual de la vivienda}} * 100\%$$

$$\text{Cobertura del sistema} = \frac{2.645,52 \text{ kW}}{2.181,96 \text{ kW}} * 100\%$$

$$\text{Cobertura del sistema} = 121,25 \%$$

Teniendo en cuenta los datos formulados anteriormente, es evidente que la producción de energía solar supera el consumo requerido por la vivienda por un 21,25%, lo que indica que el sistema fotovoltaico tiene la capacidad de generar una cantidad de energía que excede las necesidades energéticas del hogar. Este excedente energético puede ser aprovechado al venderse a la red eléctrica local ENEL. Desde esta perspectiva, la instalación del sistema y sin aprovechar completamente toda el área útil disponible, es posible cubrir con los requerimientos energéticos de la vivienda caso de estudio. Dado que la energía solar se genera durante el día, es esencial estar conectado a un sistema de red eléctrica ON-Grid para garantizar un suministro continuo de energía, especialmente durante los períodos en los que la producción solar puede ser insuficiente, como en horas nocturnas o en días nublados. Esta conexión permite complementar la energía generada por el panel solar con electricidad proveniente de la red, asegurando así un suministro energético constante y fiable para el hogar.

## 7 ANÁLISIS FINANCIERO

A fecha de 2023, el costo promedio del kilovatio-hora (kWh) para los consumidores en Bogotá suministrados por ENEL es de aproximadamente 588,52 COP para el consumo de subsistencia y 692,37 COP para consumos por encima del CS. Este valor representa el precio promedio que los usuarios residenciales y comerciales deben pagar por cada kWh de electricidad consumido. Este costo puede variar ligeramente en función de factores como el estrato socioeconómico del usuario, el tipo de tarifa contratada y otros ajustes regulatorios aplicables. Conocer el costo actual del kWh es esencial para evaluar el impacto económico de las soluciones energéticas alternativas, como los sistemas fotovoltaicos, y para calcular el potencial de ahorro y la viabilidad económica de la instalación de paneles solares.

Figura 7.

Tarifas de energía eléctrica (\$/kWh) reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

SECTOR RESIDENCIAL NIVEL DE TENSIÓN 1				
ESTRATO (E)	RANGO DE CONSUMO (kWh-mes)	PROPIEDAD DE ENEL COLOMBIA (\$/kWh)	PROPIEDAD DEL CLIENTE (*)(\$/kWh)	PROPIEDAD COMPARTIDA (*)(\$/kWh)
E1	0-CS (+)	297,0930	276,9488	287,6576
	Más de CS	742,7324	692,3719	719,1439
E2	0-CS (+)	371,3662	346,1860	359,5720
	Más de CS	742,7324	692,3719	719,1439
E3	0-CS (+)	631,3225	588,5161	611,2723
	Más de CS	742,7324	692,3719	719,1439
E4	Todo consumo	742,7324	692,3719	719,1439
E5	Todo consumo	891,2789	830,8463	862,9727
E6	Todo consumo	891,2789	830,8463	862,9727

(+) CS: Consumo de Subsistencia

**Nota:** Esta figura presenta un gráfico que muestra las tarifas de energía eléctrica vigentes, destacando las variaciones de precios reguladas por la CREG a lo largo del tiempo, lo que proporciona un contexto sobre el costo de la electricidad en Colombia y su impacto en la viabilidad de sistemas de energía renovable. Tomado de: [21] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), “Tarifas de energía eléctrica (\$/kWh) reguladas,” 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espa%3%B1ol/personas/1-17-1/2023/tarifario-enero-2023.pdf>.

A 2023, el costo promedio del kilovatio-hora (kWh) para los consumidores en Bogotá, proporcionado por ENEL, es de aproximadamente 600 COP. Sin embargo, el Consumo de Subsistencia, establecido por la Resolución 355 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), determina un umbral específico para el consumo básico de electricidad. En alturas

superiores a 1,000 metros sobre el nivel del mar, como es el caso de Bogotá, el Consumo de Subsistencia se establece en 130 kWh por mes. Esto significa que los primeros 130 kWh de consumo mensual están sujetos a una tarifa subsidiada, con el costo adicional del consumo por encima de este umbral siendo el promedio mencionado de 600 COP por kWh. Este esquema tarifario es fundamental para comprender el impacto económico de la electricidad en la región y evaluar cómo los sistemas de energía renovable, como los paneles solares, pueden contribuir a la reducción de costos energéticos y a una mayor eficiencia en el uso de la electricidad.

$$\text{Costo energía producida SF} = \text{Energía producida} * \text{Costo kWh}$$

$$\text{Costo energía producida SF} = 2645,52 \text{ kWh} * 600 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo energía producida SF} = 1.587.000 \text{ COP}$$

$$\text{Costo energía consumida} = \text{Energía consumida} * \text{Costo kWh}$$

$$\text{Costo energía producida SF} = 2181,83 \text{ kWh} * 600 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo energía producida SF} = 1.309.176 \text{ COP}$$

De acuerdo con el costo promedio del kilovatio-hora (kWh) de 600 COP establecido para el año 2023, el sistema solar instalado genera un total de 2.645,52 kWh anualmente, lo que equivale a un ahorro de 1.587.000 COP. Por otro lado, la vivienda objeto de estudio tiene un consumo anual de 2.181,83 kWh, lo que representa un costo de 1.309.176 COP. La diferencia entre el costo generado por el sistema solar y el costo de consumo de la vivienda resulta en un ahorro de 277.824 COP. Este ahorro equivale al 22,25% del costo total de la electricidad consumida por la vivienda. Este porcentaje refleja la reducción en la factura de electricidad gracias a la generación de energía solar, destacando la eficacia económica del sistema fotovoltaico en la reducción de costos energéticos.

Con base en el ahorro anual de 277.824 COP generado por el sistema solar, y considerando que la inversión inicial para la instalación del sistema es de 10.690.996 COP, se puede calcular el tiempo

necesario para recuperar dicha inversión. El tiempo de recuperación se obtiene dividiendo el costo total de la inversión entre el ahorro anual generado.

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorro anual}}$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{10.690.996 \text{ COP}}{1.587.000 \text{ COP}}$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = 6,74$$

Por lo tanto, se estima que se necesitarán aproximadamente 6,74 años para recuperar la inversión realizada en el sistema fotovoltaico, considerando el ahorro anual obtenido en la factura de electricidad. Este cálculo es fundamental para evaluar la viabilidad económica a largo plazo del sistema solar y para tomar decisiones informadas sobre la inversión en energías renovables.

De igual manera, se hace necesaria la verificación de la viabilidad financiera del proyecto mediante un análisis costo-beneficio. Este proceso implica evaluar detalladamente los costos asociados con la instalación y operación del sistema de energía solar, así como los beneficios esperados, que pueden incluir ahorros en la factura de electricidad a lo largo del tiempo, incentivos fiscales, y posibles ingresos por la venta de energía excedente a la red eléctrica. El análisis costo-beneficio permitirá determinar si la inversión en el proyecto de energía solar es económicamente viable y proporcionará una base sólida para la toma de decisiones en relación con su implementación.

$$\text{Indicador costo beneficio } \left(\frac{B}{C}\right) > 1$$

$$\text{Indicador costo beneficio } \left(\frac{B}{C}\right) = \frac{\text{Valor Total de los beneficios del proyecto (llevado a 2024)}}{\text{Valor total de los costos del proyecto (llevado a 2024)}}$$

Teniendo en cuenta la información presentada anteriormente y los datos proporcionados por la empresa encargada de la elaboración de la cotización para la instalación del sistema, se puede desglosar el indicador de costo-beneficio en la **Tabla 6** que se presenta a continuación.

Tabla 6.

Disgregación costo-beneficio del sistema objeto de estudio.

Beneficios		Costos	
Ahorro anual costo energía post-instalación del sistema	\$1.309.176	Instalación del sistema (Inversión) Panel (es) solar Inversor Contador bidimensional Accesorios Planos y memorias de cálculo Trámites ante autoridades y Enel Trámite de certificado de beneficios tributarios.	\$ 9.690.996
Ahorro anual post-consumo	\$ 277.824	Mantenimiento	\$1.000.000

**Nota:** Esta tabla presenta un análisis detallado de los costos y beneficios asociados con la instalación del sistema fotovoltaico en la vivienda caso de estudio, proporcionando información sobre los costos iniciales, gastos operativos y los ahorros estimados a lo largo de la vida útil del sistema, lo que permite evaluar la viabilidad económica de la inversión. Tomado de: Elaboración propia.

### 7.1 Proyección a 1 Año

$$\text{Valor total de los beneficios} = 1.587.000$$

$$\text{Valor total de los costos} = 10.690.996$$

$$\text{Indicador costo beneficio } \left(\frac{B}{C}\right) = \frac{1.587.000}{10.690.996}$$

$$\text{Indicador costo beneficio } \left(\frac{B}{C}\right) = 0,15$$

### 7.2 Proyección a 5 Años

$$\text{Valor total de los beneficios} = 7.935.000$$

$$\text{Valor total de los costos} = 10.690.996$$

$$\text{Indicador costo beneficio } \left(\frac{B}{C}\right) = \frac{7.935.000}{10.690.996}$$

$$\text{Indicador costo beneficio } \left(\frac{B}{C}\right) = 0,74$$

### 7.3 Proyección a 10 Años

$$\text{Valor total de los beneficios} = 15.870.000$$

$$\text{Valor total de los costos} = 10.690.996$$

$$\text{Indicador costo beneficio } \left(\frac{B}{C}\right) = \frac{15.870.000}{10.690.996}$$

$$\text{Indicador costo beneficio } \left(\frac{B}{C}\right) = 1,48$$

Como se puede evidenciar la implementación del sistema fotovoltaico a la vivienda objeto de estudio presenta rentabilidad a mediano plazo. Con una proyección, se estima que la inversión inicial se recuperará en un plazo de 7 años. Esto significa que los ahorros acumulados en la factura de electricidad y los ingresos por la venta de energía excedente compensarán completamente el costo de adquisición e instalación de los paneles solares en un lapso relativamente corto, este período de retorno de inversión indica una rápida amortización de los costos asociados a la implementación del sistema fotovoltaico, lo que resalta la viabilidad financiera del proyecto desde una perspectiva económica.

Sin embargo, contrario a lo propuesto por la empresa que realizó la cotización, la cual estimó una recuperación de la inversión en un período de 5,20 años, el análisis realizado indica que el retorno de la inversión será de aproximadamente 7 años. Esta diferencia sugiere que, aunque el proyecto sigue siendo viable y rentable, el período de recuperación estimado es más largo de lo anticipado por la empresa, quien confirma que el espacio disponible para la instalación cumple con todos los requisitos necesarios, lo que refuerza la factibilidad operativa del sistema. En conjunto, estos resultados respaldan la efectividad del proyecto tanto en términos de rentabilidad financiera como de adecuación espacial para la instalación del sistema.

## 8 CONCLUSIONES

- Tras el análisis de las condiciones climáticas y meteorológicas, así como de los parámetros técnicos, se constató la viabilidad del proyecto, toda vez que los resultados muestran que las condiciones son favorables para la implementación del sistema, ya que el área disponible para la instalación permite la colocación del sistema solar fotovoltaico, y una posible expansión de este. Además, las condiciones meteorológicas y climáticas proporcionan el entorno adecuado para cubrir las necesidades de los paneles, lo que respalda la factibilidad y eficacia del proyecto. En conjunto, estos hallazgos subrayan la viabilidad técnica y económica de la adopción de energía solar como una opción sostenible y rentable para reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y promover la sostenibilidad ambiental en la ciudad de Bogotá.
- Se llevó a cabo un estudio exhaustivo de las condiciones climatológicas y meteorológicas de Bogotá mediante la consulta de fuentes confiables como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Durante este proceso, se identificaron parámetros fundamentales, como el brillo solar, que varía entre 3500 y 4500 Wh/m<sup>2</sup>. Este dato resulta crucial para la instalación del sistema de energía solar, ya que indica la cantidad de radiación solar disponible para ser captada por los paneles solares y convertida en energía renovable aprovechable. Esta información respalda la viabilidad y eficiencia del proyecto, al asegurar una adecuada captación de energía solar en la ciudad de Bogotá.
- Se analizaron los consumos energéticos de la vivienda, se procedió a desglosar los consumos de los electrodomésticos y compararlos con los registros de consumo reportados en la factura de electricidad, observando así, que el consumo reportado en la factura de electricidad era el más alto, siendo este el principal punto de referencia para la proyección y determinación de la viabilidad del sistema de energía solar. Este enfoque permitió una evaluación de la capacidad del sistema para cubrir las necesidades energéticas de la vivienda, y proporcionó una base para tomar decisiones informadas respecto a la implementación del sistema de energía solar, siendo estas favorables.

- La implementación del sistema fotovoltaico en la vivienda objeto de estudio muestra una rentabilidad a largo plazo evidente, con la proyección realizada, se estima que la inversión inicial se recuperará en un plazo de aproximadamente 7 años. Este período de recuperación corto indica que los ahorros acumulados en la factura de electricidad y los ingresos por la posible venta de energía excedente compensarán completamente el costo de adquisición e instalación de los paneles solares en un lapso relativamente breve.

## REFERENCIAS

- [1] L. E. Vallejo Zamudio, "El plan nacional de desarrollo 2018-2022: 'Pacto por Colombia, pacto por la equidad,'" *Apuntes Del Cenes*, vol. 38, no. 68, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/01203053.v38.n68.2019.9924>.
- [2] Recycling & End-of-Life Considerations for Photovoltaics, SEIA, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://www.seia.org/initiatives/recycling-end-life-considerations-photovoltaics>. [Accedido: Mar. 23, 2023].
- [3] O. Edenhofer et al., *Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change*, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139151153>. [Accedido: Mar. 23, 2023].
- [4] About Solar Energy | SEIA. [En línea]. Available: <https://www.seia.org/initiatives/about-solar-energy>. [Accedido: Mar. 23, 2023].
- [5] A. Goetzberger and C. Hebling, "Photovoltaic materials, past, present, future," *Solar energy materials and solar cells*, vol. 62, no. 1-2, pp. 1–19, 2000.
- [6] S. M. Arveson and R. R. Weil, *Photovoltaic solar energy: From fundamentals to applications*. John Wiley & Sons, 2011.
- [7] M. Caamaño, "Edificios fotovoltaicos conectados a la Red Eléctrica: Caracterización y Análisis," Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 1998.
- [8] M. Zeman, "Introduction to Photovoltaic Solar Energy," *Solar Cells*, pp. 1.8-1.13, 2018.
- [9] T. M. Razykov et al., "Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects," *Solar Energy*, vol. 85, no. 8, pp. 1580–1608, 2011. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.002>. [Accedido: Mar. 23, 2023].

[10] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Inventario de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) - Serie temporal 2010-2018, 2023. [En línea]. Disponible: [www.ambientebogota.gov.co](http://www.ambientebogota.gov.co). [Accedido: Mar. 23, 2023].

[11] Fuentes no Convencionales de Energía - FNCER - Fenoge, “Fuentes No Convencionales de Energía - FNCER,” n.d. [En línea]. Disponible: <https://fenoge.gov.co/fuentes-no-convencionales-de-energia-fncer/>. [Accedido: Mar. 23, 2023].

[12] Minvivienda, “Ecobertura, el nuevo beneficio para quienes compren vivienda No VIS sostenible en el país,” 2021. [En línea]. Disponible: <https://minvivienda.gov.co/saladeprensa/ecobertura-el-nuevo-beneficio-para-quienes-compren-vivienda-no-vissostenible-en-el-pais>. [Accedido: Mar. 23, 2023].

[13] Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG-, “Resolución No. 30 de mayo de 2018,” Ministerio de Minas y Energía, p. 13. [En línea]. Disponible: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/\\$FILE/Creg030-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/$FILE/Creg030-2018.pdf). [Accedido: Mar. 25, 2023].

[14] C. F. Diaz Sarmiento and R. N. García Ariza, “Ciencia Unisalle Diseño eléctrico e implementación de un sistema de generación solar para usuarios residenciales dentro del marco del concurso Solar Decathlon,” Unisalle, 2020.

[15] Congreso de Colombia, “Ley 1715 de 2014,” Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial, no. 104, Mayo 13 de 2014.

[16] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, “Estudio de la caracterización climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo,” s. f. [En línea]. Disponible: <http://ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>. [Accedido: Mar. 27, 2023].

[17] Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático -IDIGER-, “Precipitación y temperatura,” s. f. [En línea]. Disponible: <https://www.idiger.gov.co/precipitacion-y-temperatura>. [Accedido: Mar. 29, 2023].

[18] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-, “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia,” 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.ideam.gov.co>.

[19] Gee-Renovables, “Detalles técnicos de los accesorios y materiales utilizados en la instalación de sistemas fotovoltaicos,” Informe de cotización, 2023.

[20] Trina Solar, “Datasheet TallmaxM DE18 540-560W,” Trina Solar Co., Ltd., 2023.

[21] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), “Tarifas de energía eléctrica (\$/kWh) reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG),” Enel, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espa%20B1ol/personas/1-17-1/2023/tarifario-enero-2023.pdf>. [Accedido: Mar. 25, 2023].

[22] Administración de Información de Energía - EIA, World Energy Outlook 2012, Paris (France): International Energy Agency, 2012.

[23] J. A. Agudelo and R. A. Salgado, “Eficiencia energética en edificaciones: una revisión,” Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 23, no. 1, pp. 9–18, 2019.

[24] C. G. Castillo, “Propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico para el ahorro energético en zonas comunes de un Conjunto Residencial El Oasis, Barrio Madelena de la Localidad Ciudad Bolívar,” hdl:11349/28008, 2020. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28008>. [Accedido: Mar. 27, 2023].

[25] J. C. Pérez Álvarez, Conectados Y Aplicación De La Resolución Creg 030 De 2018 Para Inyectar Excedentes De Energía A La Red, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2019.

[26] T. González Estrada, J. A. Valencia Marín, and U. de P. M. E. (UPME), Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia, Unidad de Planeación Minero Energética, 2015. [En línea]. Disponible: [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf). [Accedido: Mar. 20, 2023].

[27] M. A. Green, Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond. Springer Science & Business Media, 2003.

[28] Helio Esfera, “Instalacion fotovoltaica aislada,” Blog, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/>. [Accedido: Feb. 28, 2023].

[29] J. A. Hernández Mora, A. F. Cortés Borray, D. A. Balaguera Cañola, and M. A. Urueña Saavedra, “Aplicación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red: estado del arte,” Revista Tecnura, vol. 18, pp. 157, 2014. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.se1.a12>. [Accessed: Feb. 23, 2023].

[30] J. A. Ladrón de Guevara, Diseño y Cálculo de una instalacion fotovoltaica aislada, 90, 2018. [En línea]. Disponible: [http://oa.upm.es/52204/1/PFC\\_JORGE\\_ALVARADO\\_LADRON\\_DE\\_GUEVARA.pdf](http://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf). [Accedido: Ene. 30, 2023].

[31] Ministerio de Ambiente, “Resolución 631 De 2015,” Por el cual se establecen parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas alcantarillado público y se dictan otras disposiciones Diario Oficial, 17 mayo de . 2015.

[32] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Resolución 1541 del 12 de noviembre de 2013,” 2013.

[33] Ministerio de la Protección Social, “Decreto 1500 De 2007,” Por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos Destinados para el Consumo Humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación Control, 04 mayo de 2007.

[34] L. Y. Nieto Alexander Daza, “Manual Práctico De Condiciones Para Instalaciones De Sistemas Solares Fotovoltaicos Para Suplir Cargas Demandadas De Estrato 3 a 6 En Viviendas Unifamiliares De Bogotá,” Unversidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018. [En línea]. Disponible:<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15575/NietoGutierrezLu;jsessionid=1190F8F415443DBF455942D5C6E1F20B?sequence=1>. [Accessed: Abr. 05, 2023].

[35] Norma Técnica Colombiana 2050, “Requisitos mínimos para sistemas de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables no convencionales para su conexión a la red eléctrica en Colombia,” Icontec, 2019.

[36] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. [En línea]. Radiación solar, Disponible: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-yclima/radiacion-solar-ultravioleta>. [Accedido: Mar. 24, 2023].

[37] Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, “Resolución 355 de 2004,” Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 2004. [En línea]. Disponible: [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_upme\\_0355\\_2004.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_upme_0355_2004.htm). [Accedido: Mar. 23, 2023].

[38] H. Rodríguez Murcia, “Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas,” Revista de Ingeniería, vol. 28, pp. 83–89, 2008. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.16924/revinge.28.11>. [Accedido: Abr. 02, 2023].

[39] M. T. Root, “Esprit de corps among catastrophe victims,” in *Occupational medicine*, vol. 1, 1946.

[40] S. Salamanca-Avila, “Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá,” *Revista Científica*, vol. 3, no. 30, pp. 263, 2017. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>. [Accedido: Mar. 23, 2023].

[41] S. Guevara Sánchez and J. F. Gil, “Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a red con soporte de almacenamiento en la universidad tecnológica de Pereira,” *Universidad Tecnológica de Pereira*, pp. 36, 2019.

[42] I. Solar, “Normas técnicas colombianas para instalación de paneles solares,” *InnovaSolar*, 2022. [En línea]. Disponible: <https://innovasolar.co/normas-tecnicas-colombianas-para-instalacion-de-paneles-solares/>. [Accedido: Mar. 23, 2023].