



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, _____ 20-12-2023 _____

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

_____ Julián Ernesto Orrego Méndez _____, con C.C. No. _1.075.291.109 _____,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado _____ Julian Ernesto Orrego Méndez _____

titulado _____ Alternativas financieras y modelo de optimización para la instalación de sistemas fotovoltaicos en una vivienda de la ciudad de Neiva _____

presentado y aprobado en el año _2023_ como requisito para optar al título de

_____ Especialización en Gestión Financiera _____;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores" , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Julián Ernesto Orrego Méndez

Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Alternativas Financieras Y Modelo De Optimización Para La Instalación De Sistemas Fotovoltaicos En Una Vivienda De La Ciudad De Neiva

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Orrego Méndez	Julián Ernesto

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Manrique Medina	Alfonso

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Especialista en Gestión Financiera

FACULTAD: Economía y Administración

PROGRAMA O POSGRADO: Especialización en Gestión Financiera

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 52

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas_X___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros_X_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

PHP Simplex

MATERIAL ANEXO:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Sistemas Fotovoltaicos	Photovoltaic Systems	6. Desarrollo Sostenible	Sustainable Development
2. Cambio Climático	Climate Change	7. Modelo de Financiación	Financing Model
3. Programación Lineal	Linear Programming	8. _____	_____
4. Método Simplex	Simplex Method	9. _____	_____
5. Brillo Solar	Solar Brightness	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En esta propuesta de proyecto se logró desarrollar una alternativa de financiación para la instalación de un sistema fotovoltaico en una vivienda de la ciudad de Neiva, a partir de la generación de un modelo de optimización de la inversión en función de las condiciones de demanda y costo de los implementos; solucionado como problema de programación lineal utilizando el método simplex en el programa web PHP Simplex. Inicialmente se presenta un análisis que permite conocer los beneficios económicos, ambientales y sociales, que genera el abastecimiento y suministro de energía renovable a través de sistemas fotovoltaicos. Asimismo, se identifican las regulaciones y la normatividad aplicable a los proyectos de sistemas de producción y manejo de energía solar fotovoltaica, mostrando la viabilidad legal de este tipo de proyectos y los beneficios que ofrece el gobierno. Seguido de esto, se realiza el cálculo del dimensionamiento del sistema fotovoltaico para conocer la energía eléctrica generada que puede suplir el consumo energético, de acuerdo a las características de demanda de la vivienda. Con estos datos y los obtenidos a través de las diferentes cotizaciones, se formuló el modelo de optimización (por medio de la generación del problema de programación lineal) que permite minimizar la inversión inicial, de acuerdo a las variables aplicables al entorno de estudio establecido.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In this project proposal it was possible to develop a financing alternative for the installation of a photovoltaic system in a house in the city of Neiva, from the generation of an investment optimization model based on the conditions of demand and cost of the implements; solved as a linear programming problem using the simplex method in the PHP Simplex web program. Initially, an analysis of the economic, environmental and social benefits generated by the supply and provision of renewable energy through photovoltaic systems is presented. Likewise, the regulations and norms applicable to the projects of photovoltaic solar energy production and management systems are identified, showing the legal feasibility of this type of projects and the benefits offered by the government. After this, the calculation of the sizing of the photovoltaic system is made to know the generated electric energy that can supply the energy consumption, according to the demand characteristics of the house. With these data and those obtained through the different quotations, the optimization model was formulated (through the generation of the linear programming problem) that allows minimizing the initial investment, according to the variables applicable to the established study environment.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: FERNEY FORERO SÁNCHEZ

Firma:

Nombre Jurado: CARLOS SALAMANCA

Firma:

**ALTERNATIVAS FINANCIERAS Y MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA
INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN UNA VIVIENDA DE LA
CIUDAD DE NEIVA**



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN FINANCIERA
NEIVA – HUILA
2023**

**ALTERNATIVAS FINANCIERAS Y MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA
INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN UNA VIVIENDA DE LA CIUDAD
DE NEIVA**

JULIAN ERNESTO ORREGO MÉNDEZ

**Director del Proyecto:
ALFONSO MANRIQUE MEDINA**

**Presentado a:
COORDINACIÓN DE LA ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN FINANCEIRA
FACULTAD DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN FINANCIERA
NEIVA – HUILA
2023**

TABLA DE CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
RESUMEN EJECUTIVO.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
ANTECEDENTES	10
1. JUSTIFICACIÓN	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	22
4. OBJETIVOS	23
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
5. MARCO TEÓRICO.....	24
5.1 El sol, la energía solar y el desarrollo sostenible	24
5.2 Radiación solar.....	25
5.3 Eficiencia energética y brillo solar	25
5.4 Energía solar fotovoltaica y la célula fotovoltaica	26
5.5 Sistemas aislados	27
5.6 Sistemas de conexión a red.....	27
5.7 Tipos de paneles solares	27
5.7.1 Paneles solares monocristalinos.....	27
5.7.2 Paneles solares policristalinos.....	28
5.7.3 Paneles solares de capa fina	29
5.7.4 Paneles solares bifaciales.....	29
5.8 Tipos de conexiones.....	30
5.8.1 Conexiones en serie	30
5.8.2 Conexiones en paralelo.....	30
5.9 Mecanismos de financiación para soluciones solares fotovoltaicas.....	30
5.9.1 Arrendamiento financiero Leasing	30
5.9.2 Arrendamiento operativo Renting.....	31
5.9.3 Compra directa.....	31

5.9.4 PPA (Power Purchase Agreement).....	32
5.10 Análisis económico	33
5.11 Optimización	33
5.12 Programación lineal	34
6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	35
7. PRESUPUESTO	36
8. METODOLOGÍA	37
9. ANÁLISIS DE DATOS	39
10. RESULTADOS	44
11. CONCLUSIONES.....	46
12. RECOMENDACIONES.....	48
13. BIBLIOGRAFÍA.....	49

LISTA DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
<i>Figura 1. Fases del proyecto</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2. Adiciones anuales de capacidad de energía renovable, por tecnología y total, 2016-2021, y escenario de ceroemisiones netas para 2030 y 2050</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3. Mapa de brillo solar en Colombia</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4. Mapa de brillo solar en el Huila</i>	<i>20</i>
<i>Figura 5. Célula fotovoltaica</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6. Paneles solares monocristalinos</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7. Paneles solares policristalinos.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8. Cálculo de los componentes del sistema de energía solar fotovoltaico.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9. Planteamiento inicial del problema de PL.....</i>	<i>42</i>

LISTA DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
<i>Tabla 1. Costo de las refacciones sustituidas</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2. Cronograma</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3. Presupuesto.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 4. Energía requerida por la vivienda</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5. Cotización de elementos del sistema de energía solar fotovoltaico</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6. Iteración 1 (Tabla 1 en PHP Simplex)</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7. Iteración 2 (Tabla 2 en PHP Simplex)</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 8. Iteración 3 (Tabla 3 en PHP Simplex)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9. Iteración 4 (Tabla 4 en PHP Simplex)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 10. Iteración 5 (Tabla 1 de la fase II en PHP Simplex).....</i>	<i>43</i>

RESUMEN EJECUTIVO

En esta propuesta de proyecto se logró desarrollar una alternativa de financiación para la instalación de un sistema fotovoltaico en una vivienda de la ciudad de Neiva, a partir de la generación de un modelo de optimización de la inversión en función de las condiciones de demanda y costo de los implementos; solucionado como problema de programación lineal utilizando el método simplex en el programa web PHP Simplex. Inicialmente se presenta un análisis que permite conocer los beneficios económicos, ambientales y sociales, que genera el abastecimiento y suministro de energía renovable a través de sistemas fotovoltaicos. Asimismo, se identifican las regulaciones y la normatividad aplicable a los proyectos de sistemas de producción y manejo de energía solar fotovoltaica, mostrando la viabilidad legal de este tipo de proyectos y los beneficios que ofrece el gobierno. Seguido de esto, se realiza el cálculo del dimensionamiento del sistema fotovoltaico para conocer la energía eléctrica generada que puede suplir el consumo energético, de acuerdo a las características de demanda de la vivienda. Con estos datos y los obtenidos a través de las diferentes cotizaciones, se formuló el modelo de optimización (por medio de la generación del problema de programación lineal) que permite minimizar la inversión inicial, de acuerdo a las variables aplicables al entorno de estudio establecido.

Palabras clave: Modelo de Financiación; Objetivos de Desarrollo Sostenible; Proyectos de Energía Solar; Sistema Fotovoltaico; Uso de Energías Renovables.

INTRODUCCIÓN

El uso de proyectos de energía eléctrica doméstica con un sistema solar fotovoltaico se remonta a la década de 1970, cuando la crisis del petróleo y el aumento del interés por las energías renovables impulsaron el desarrollo de estos sistemas. En los primeros años, los sistemas fotovoltaicos eran muy caros y solo estaban disponibles para los consumidores con altos ingresos. Sin embargo, a medida que los costos de los sistemas han disminuido, se han vuelto más accesibles para una gama más amplia de consumidores.

En la actualidad, existen una serie de modelos de financiación disponibles para proyectos de energía eléctrica doméstica con un sistema solar fotovoltaico. Estos modelos se pueden clasificar en dos categorías principales: modelos de financiación directa y modelos de financiación indirecta.

En el modelo de financiación directa, el consumidor es el propietario del sistema fotovoltaico y asume la responsabilidad de su financiación. Estos son los más comunes para proyectos de energía eléctrica doméstica con un sistema solar fotovoltaico.

Algunos de estos modelos son:

- Pago inicial: El consumidor hace un pago inicial por el sistema fotovoltaico y luego amortiza el préstamo a lo largo de un período de tiempo determinado.
- Leasing: El consumidor alquila el sistema fotovoltaico a un tercero durante un período de tiempo determinado.
- Compra a plazos: El consumidor adquiere el sistema fotovoltaico a plazos.

En el modelo de financiación indirecta, el consumidor no es el propietario del sistema fotovoltaico, sino que lo alquila o lo adquiere a través de un tercero. Estos se han vuelto más populares en los últimos años, ya que ofrecen una serie de ventajas para los

consumidores, como la comodidad y la flexibilidad. Algunos de estos modelos son:

- PPA (Power Purchase Agreement): El consumidor firma un contrato con un tercero para comprar energía del sistema fotovoltaico.
- PPA con opción de compra: El consumidor firma un contrato con un tercero para comprar energía del sistema fotovoltaico, con una opción de compra al final del contrato.
- Esquemas de incentivos gubernamentales: Los gobiernos ofrecen una serie de incentivos para la instalación de sistemas fotovoltaicos, como subvenciones, créditos fiscales y tarifas de electricidad reducidas.

En este proyecto se elaborará un estudio de evaluación de alternativas financieras y un modelo de optimización para la instalación de sistemas fotovoltaicos, alineados con el objetivo de desarrollo sostenible número 7, sobre el uso y aprovechamiento de la energía asequible y no contaminante, para una vivienda de la ciudad de Neiva.

ANTECEDENTES

En un estudio publicado en la revista universitaria Ciencia e Ingeniería Neogranadina de la Universidad Militar Nueva Granada, realizado por Echeverría et al. (2022), sobre la Implementación de medidas de eficiencia energética para la construcción factible de un refrigerador comercial con suministro de energía solar fotovoltaica, construyeron un refrigerador comercial de mayor eficiencia energética, abastecido con energía solar fotovoltaica. El desarrollo inicia con un balance energético de un refrigerador convencional, para identificar posibles mejoras energéticas. Posteriormente, se implementan cuatro medidas que permiten la construcción de un refrigerador con mayor desempeño energético y una instalación solar fotovoltaica, que provee electricidad confiable. Estas son:

1. Optimización del espesor del aislamiento térmico en cerramientos
2. Disminución de la transmitancia térmica de la puerta de cristal
3. Control de la iluminación
4. Selección de motoventilador eficiente para el evaporador

Para evaluar la factibilidad económica se comparó el costo del refrigerador convencional y el propuesto. Se valoran seis características diferenciadoras en aspectos constructivos, como resultado de las medidas de eficiencia energética tomadas. Por confidencialidad con la estructura de costos de la empresa se indica como incógnita a X, que representa el costo total de las seis refacciones en el refrigerador convencional. Los costos de cada refacción se presentan como un porcentaje de X, lo que facilita el análisis en términos de un monto común. Los costos de cada refrigerador se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Costo de las refacciones sustituidas

Característica del refrigerador	Costo de una nevera convencional [COP]	Costo de la nevera propuesta [COP]
Aislamiento	6.56 % de X	8.00 % de X
Puerta de cristal	29.40 % de X	38.92 % de X
Motoventilador evaporador	12.60 % de X	6.71 % de X
Compresor	28.22 % de X	26.20 % de X
Unidad condensadora	21.36 % de X	12.12 % de X
Carga refrigerante (R134a)	1.85 % de X	1.39 % de X
Total	Costo = 100 % de X	Costo = 93.34 % de X
Diferencia	Reducción del 6.66 %	

Nota: Tomado de Implementación de Medidas de eficiencia energética para la construcción factible de un refrigerador comercial con suministro de energía solar fotovoltaica, 2022

El análisis económico señala que el costo de fabricación del refrigerador propuesto es menor que el costo del refrigerador convencional, con lo que se garantiza la aprobación de la empresa para fabricar el prototipo con las características nuevas que lo harán más eficiente. El coeficiente de energía señala que el refrigerador convencional consume 1 Wh de energía eléctrica para producir 1 Wh de energía térmica frigorífica, mientras que el refrigerador propuesto produce casi el doble de energía frigorífica por cada Wh de electricidad consumida. El consumo específico muestra que el refrigerador propuesto usa alrededor de la mitad de la electricidad consumida por el refrigerador convencional por cada litro de volumen neto en la cabina. El consumo específico del producto establece que la nevera propuesta ahorra un 58 % de la energía consumida por la nevera convencional para la refrigeración de los productos. El índice de eficiencia energética del refrigerador convencional es tan alto que no se puede clasificar, mientras que el refrigerador propuesto se clasificó en D. Se destaca que el costo de fabricar el nuevo refrigerador fue casi un 7 % menor que el costo de fabricación del equipo convencional, lo que permite señalar que es factible mejorar la eficiencia de un equipo a un costo favorable. Allí concluyen que, mediante una oportuna gestión energética, es factible técnica y económicamente la construcción de refrigeradores eficientes que operen con energía limpia y renovable.

Otro estudio relacionado se hizo en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con características similares a este proyecto, fue realizado por Benítez y Reyes (2018), cuyo objetivo fue determinar la factibilidad de instalación, retribución económica y ambiental de un sistema de paneles fotovoltaicos en la finca Villa Catalina, ubicada en la vereda La Cuesta, Subachoque, que facilitara el suministro de energía de forma favorable con el medio ambiente para beneficio de todos los habitantes del lugar, sin que se incurriera en altos costos, por el contrario, que favoreciera la generación de energía de forma adecuada y efectiva. El fundamento conceptual se realizó a partir del término de energía eléctrica, que según Ramón Morante (2014), la energía total que entra a un sistema debe ser la misma después de que se transforma a menos de que haya pérdidas por fricción o calor. Además, puede convertirse o transformarse en energía luminosa, mecánica y térmica; a este concepto le siguen formas de generación de energía, energía solar fotovoltaica, los cuales soportan la teoría basada en ambientes sostenibles, estableciéndose formas de medición de la radiación solar y la utilización a partir de un panel fotovoltaico, encargado de la transformación y captación de la radiación solar a energía eléctrica o térmicas, las fases del proyecto propuesto se pueden observar en la Figura 1.

Allí encontraron que, dentro del análisis de factibilidad del proyecto de la implementación del sistema fotovoltaico, este es factible, teniendo en cuenta que los paneles pueden suplir la necesidad de la demanda que se presenta dentro de la finca. Además, cabe resaltar la viabilidad del proyecto debido a los beneficios tributarios que el Gobierno otorga. Las instalaciones físicas están disponibles y solamente requiere obras de adecuación para mejor comodidad de la Quinta Villa Catalina. La simulación del sistema fotovoltaico elaborada en el sistema IHOGA, presentó variaciones con los cálculos teóricos elaborados, ya que el sistema asumía que todas las cargas del sistema eran

fuelle de consumo permanente, es decir, los bancos de baterías representaban una carga permanente para el sistema, por lo cual la simulación requirió 5 paneles solares más que los cálculos teóricos, para suministrar el voltaje requerido por la finca. La función del inversor es desconectar estas baterías cuando el consumo de energía lo requiera eliminándolas como una carga permanente y disminuyendo el número de paneles requeridos. Para realizar un sistema fotovoltaico es necesario cumplir con las condiciones de localización y del tamaño debido a que no siempre se cumple con los parámetros y se encuentran errores de viabilidad, ya que se encontrarían retornos de inversión muy grandes.



Figura 1. Fases del proyecto

Fuente: Tomado de Estudio de Factibilidad de la Implementación de un Sistema Solar Fotovoltaico en la Finca Villa Catalina, 2018

Por otra parte, en un estudio de la Universidad de Ingeniería y Tecnología de Perú UTEC, Salazar (2020) presentó una propuesta que incluía el uso de paneles fotovoltaicos, dado el crecimiento significativo de esta tecnología, bien sea por el interés

de los países en invertir en energías renovables, y/o por su aumento de rendimiento económico por la caída de sus costos de manufactura. Allí se menciona que los paneles solares requieren poco mantenimiento y no consumen combustible, sin embargo, tienen ciertas desventajas. Requieren grandes espacios puesto que tienen relativamente bajas eficiencias ($<20\%$) y por lo tanto no pueden generar más de 200 W/m^2 en el caso óptimo, lo cual solo ocurre con irradiación solar directa, que no ocurre en ángulos y con cielos nublados. Por otro lado, como no puede operar durante la noche, la energía necesaria para la noche tiene que ser almacenada en baterías, las cuales representan la mayoría de los costos para energías fotovoltaicas, o ser generada de otra manera.

Una gran ventaja de esta idea es que los paneles fotovoltaicos generan energía en una forma que ya se encuentra en uso, a diferencia de las otras energías solares. Esto viene con la ventaja de que si se quiere intentar la implementación de paneles fotovoltaicos no es necesario implementar un cambio inmediato. El cambio a paneles fotovoltaicos puede ser gradual y parcial, nunca reemplazando por completo la energía generada por los grupos electrógenos a gas, si no reduciendo la demanda de esta en hora pico. Esto permite ahorros de gas, paneles solares que siempre pueden operar sin tener tiempo donde la energía generada se desperdicia, y reduce la capacidad máxima de generación a gas requerida.

Así mismo, un estudio realizado por (Galvis et al., 2021) reveló que, para la ciudad de Bogotá, donde los estratos 2 y 3 tienen la mayor demanda energética, la implementación de tecnología fotovoltaica es factible considerando el análisis técnico, económico y ambiental. El estudio definió dos escenarios de financiamiento: uno incluyendo los incentivos económicos de la Ley 1715 de 2014 y el otro sin considerarlos. Estos escenarios abarcaron cuatro subescenarios. Se diseñaron dos subescenarios para cubrir el consumo de energía de 1 consumidor de categoría (estrato) dos y un

consumidor de categoría 3, y los otros dos subescenarios representaron la cobertura de la demanda de todos los suscriptores de cada categoría. Encontraron que las diferencias entre los resultados del análisis de los subescenarios 1 y 2 no fueron perceptibles, mientras que para los subescenarios 3 y 4 las variaciones fueron más notorias, esto debido a la diferencia en la demanda de energía y el número de consumidores.

Los costos de instalación en cada subescenario fueron menores con los incentivos definidos en la Ley 1715-2014. Sin embargo, los sistemas fotovoltaicos serían más baratos si se instalaran en toda la categoría en lugar de individualmente, ya que el precio de compra al por mayor del panel y el inversor es menor y se puede considerar cuando se compran en grandes cantidades como en los subescenarios 3 y 4. De manera similar, considerando el ahorro anual de energía, el retorno de la inversión se puede lograr antes con los incentivos. Por lo tanto, si se consideraran los precios de compra mayoristas del generador y del inversor, el retorno de la inversión por consumidor se produciría en breve. Según la simulación, los parámetros del sistema fotovoltaico son alcanzables y rentables, considerando la ubicación del estudio. En los cuatro subescenarios y las simulaciones, el análisis ambiental fue el más destacable; se evitarían toneladas de emisiones de CO₂ durante la vida del proyecto, lo que permitiría que el sector energético tuviera un menor impacto. Estos resultados, junto con el ahorro anual de energía, podrían promover el desarrollo tecnológico.

Por último, en un estudio realizado por Escobar (2019), se analizó la favorabilidad económica de sistemas fotovoltaicos aislados, a partir de la optimización de la inversión en función de las condiciones de demanda y la irradiación solar con base en el modelo económico de D. Yogi Goswami. Empleó el modelo económico de D. Yogi Goswami, el cual contribuye no solo en comprender la relación entre variables inmersas en el

estudio, sino que también permite realizar algunas predicciones acerca del comportamiento de estas y así encontrar la opción más conveniente en proyectos a corto, mediano y largo plazo de sistemas solares fotovoltaicos, de acuerdo con la ubicación geográfica. Se emplearon lugares de Colombia (Bogotá y la Guajira) como referentes, para revisar la favorabilidad económica de sistemas fotovoltaicos, debido a sus índices de radiación solar y su estructura económica. Para la optimización se empleó Programación lineal y no entera mixta debido a que los valores empleados eran enteros, sin valores complejos, ni binarios. Allí se encontró que al momento de invertir en un sistema fotovoltaico las condiciones de localización son imperativas, se demostró que existe una eficiencia superior de los sistemas implementados en la Guajira a los de Bogotá, contando con tamaños de paneles menores para producir la misma cantidad de energía lo que reduce costos. Por ejemplo, para un estrato socio económico como el 4 en Bogotá se hace necesario un tamaño del sistema fotovoltaico de 1.241,2 Wp para un consumo de 126 KWh/mes, mientras que para el mismo estrato socio económico en la Guajira es necesario un sistema fotovoltaico de 1.217,3 Wp para un consumo de 173 kWh/mes. Además, que es más fácil garantizar la cobertura de la demanda en la zona tropical que en una zona andina. Otro factor importante es la relación óptima entre el consumo y el precio de la electricidad, el cual es crucial en la evaluación de rentabilidad, debido a que representa el ahorro económico del usuario con respecto a la dimensión del sistema, es por lo que, en los estratos más altos al tener un consumo mayor y precios eléctricos altos, el reflejo favorable es más amplio. Sin embargo, no es la única condición para tener en cuenta para la implementación de estos sistemas.

1. JUSTIFICACIÓN

La producción de energía a partir de fuentes renovables ha tomado una mayor importancia a nivel mundial debido a la preocupante situación del cambio climático producido por la utilización de combustibles fósiles, por lo tanto, es necesario crear una mayor conciencia en las personas para disminuir el impacto ambiental y proteger los ecosistemas. Al analizar todas las alternativas renovables se ha encontrado que muchos países desarrollados están apostando por la energía solar fotovoltaica, pues esta es una fuente abundante, no contamina y está disponible en mayor o menor medida en cualquier parte del mundo, por lo cual es posible recolectarla para transformarla en energía eléctrica.

Asimismo, en la actualidad se necesitan altas demandas de energía, debido a los desarrollos que se han dado en las áreas de la ciencia, la tecnología y la economía, por ende, se prevé que el gasto energético cada vez sea mayor debido al crecimiento de la población y al aumento de la esperanza de vida, lo que conlleva a un problema global, por lo tanto, es necesario buscar soluciones dentro de las energías renovables.

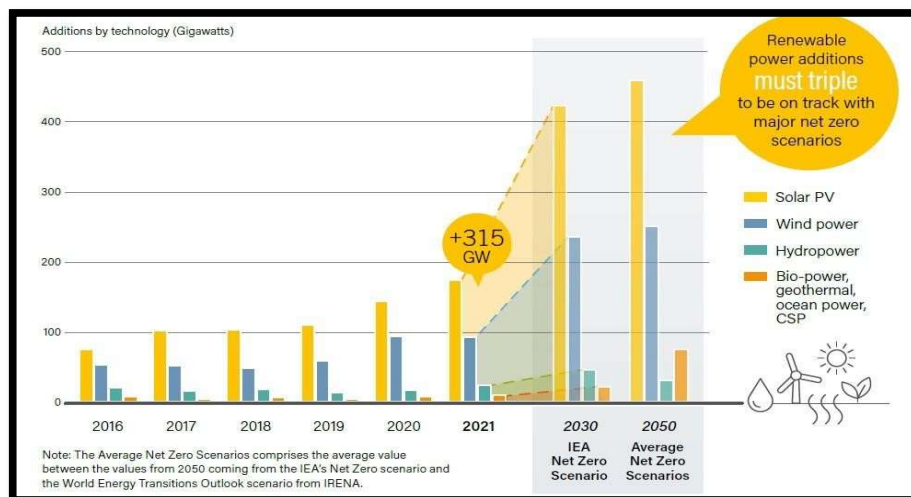


Figura 2. Adiciones anuales de capacidad de energía renovable, por tecnología y total, 2016-2021, y escenario de cero emisiones netas para 2030 y 2050

Fuente: Tomado de Informe Ren-21, 2022

Es por esto que en la actualidad la energía solar fotovoltaica está desempeñando un papel muy importante en muchos países del mundo frente a las demás alternativas renovables, pues en las adiciones anuales de capacidad de energía renovable por tecnología reportadas por el Ren-21 de 2022 (Ver Figura 2), se observa que la implementación de energía solar fotovoltaica ha tenido un crecimiento grande a nivel mundial desde 2016 hasta 2021, año en el que fueron añadidos 175 GW representando más de la mitad de los 315 GW de energías renovables adicionadas ese año y se espera que para 2050 la adiciones de energías renovables se tripliquen para lograr un escenario de cero emisiones netas (Winter, 2022).

Por otra parte, cabe mencionar que las energías renovables, como la energía solar fotovoltaica, son una forma de generar electricidad sin emitir GEI. Por lo tanto, el uso de energías renovables es una forma de cumplir con los objetivos de reducción de emisiones del Protocolo de Kyoto. Este protocolo incluye varios mecanismos que facilitan el uso de energías renovables para reducir las emisiones de GEI:

- Comercio de derechos de emisión: Los países industrializados pueden comprar y vender derechos de emisión entre sí. Esto permite a los países que tienen excedentes de derechos de emisión venderlos a países que necesitan reducir sus emisiones.
- Método de desarrollo limpio (MDL): El MDL permite a los países industrializados obtener créditos de reducción de emisiones por proyectos de mitigación de GEI en países en desarrollo. Estos proyectos pueden incluir la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica.
- Fondo para el medio ambiente: El fondo para el medio ambiente proporciona financiación para proyectos de mitigación de GEI en países en desarrollo. Estos proyectos pueden incluir la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica.

El Protocolo de Kyoto ha contribuido a un aumento en el uso de energías renovables, como la energía solar fotovoltaica. Según la Agencia Internacional de la Energía, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en la fuente de energía renovable de más rápido crecimiento en el mundo. En particular, el MDL ha sido un mecanismo importante para promover el uso de la energía solar fotovoltaica en los países en desarrollo. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el MDL ha financiado más de 100 proyectos de energía solar fotovoltaica en países en desarrollo.

En el ámbito nacional, Colombia es un país que tiene un potencial bastante alto para el desarrollo de energía solar fotovoltaica en sus diferentes regiones, esto es posible gracias a las condiciones climáticas del país, así como por su ubicación en el trópico y las montañas de la cordillera de los Andes. En la Figura 3 se presenta en un mapa de Colombia el promedio anual de horas de sol al día (hsd) en los departamentos, siendo las zonas rojas y naranjas las de mayor brillo solar, pues las zonas rojas cuentan con un promedio entre 6 y 7 hsd y las zonas naranjas con un promedio entre 5 y 6 hsd (Benavides et al., 2017).

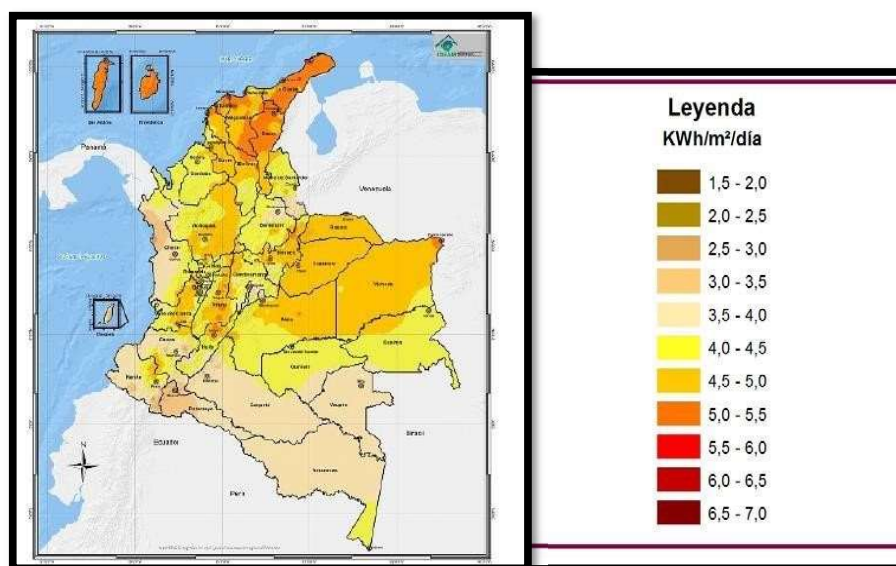


Figura 3. Mapa del brillo solar en Colombia
Fuente: Atlas de Radiación Solar Ultravioleta y Ozono de Colombia, 2017

Por su parte, el departamento del Huila al estar ubicado en la región andina, es característico del macizo colombiano, la cordillera central, la cordillera Oriental y el Valle del río Magdalena. Cuenta con una muy buena distribución del brillo solar medio diario anual. La zona del Huila más expuesta al brillo solar es en el Valle del río Magdalena, además se puede observar que donde más se concentra el brillo solar es en el municipio de Aipe (color rojo), seguido de la capital Neiva, en brillo solar (color naranja) (Ver Figura 4).

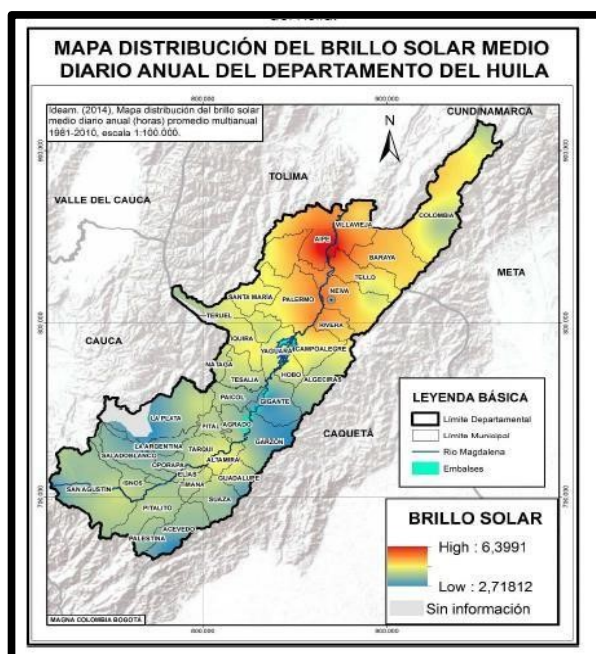


Figura 4. Mapa del brillo solar en el Huila

Nota: Tomado de Unidades de Tierras Departamento del Huila, 2019

Por todo esto, y con el ánimo de desarrollar una propuesta de evaluación de alternativas financieras y un modelo de optimización para la instalación de sistemas fotovoltaicos, alineados con el objetivo de desarrollo sostenible número 7, sobre el uso y aprovechamiento de la energía asequible y no contaminante, para una vivienda de la ciudad de Neiva, que se desarrolla el presente trabajo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para este estudio, se propone hacer el cálculo y análisis del consumo completo de energía eléctrica en un mes para una vivienda de la ciudad de Neiva. Se evalúan los consumos estándares de cada equipo y se determina el requerimiento de energía mensual promedio. Con el recibo de la energía eléctrica se calcula el valor a cancelar en un mes promedio y se compara con el valor que se paga regularmente en esa vivienda (valor que aparece directamente en el recibo). La problemática inicial es el alto valor que se paga hoy por hoy en energía eléctrica, por lo que se propone este estudio de elaboración de un modelo de financiación de acceso a servicios modernos de electricidad a través de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica.

Por otra parte, otra problemática es la ambiental, ya que el uso de todo tipo de electrodomésticos requiere una gran demanda energética, lo que afecta también al medio ambiente y el aprovechamiento de los recursos naturales, ya que se contribuye al aumento del consumo de la energía eléctrica. Como ya se mencionó, la propuesta de proyecto es para aplicar en el municipio de Neiva, ubicado en el centro del departamento del Huila, el cual forma parte de la región Andina, que se encuentra sobre la cuenca del valle superior del Magdalena VSM. Tiene una extensión territorial de 1553 Km², y una población aproximada de 490.000 personas según el DANE (2023) Está ubicado a una altitud de 442 metros sobre el nivel de mar, con temperatura promedio anual de 28 °C aproximadamente. El casco urbano del municipio está situado en una planicie sobre la margen derecha del río Magdalena – frente a una extensa isla fluvial, entre los ríos Las Ceibas y Oro, enmarcada por las vertientes de la Cordillera Oriental y Central. Por todo esto, es un municipio en una zona favorable para el aprovechamiento y generación de energía eléctrica a través de paneles de energía solar.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con lo descrito anteriormente surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la mejor alternativa de financiación para el acceso a servicios modernos de electricidad a través de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico en una vivienda de la población de la comuna 6 de la ciudad de Neiva?

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer una alternativa de financiación para la instalación de un sistema fotovoltaico en una vivienda de la ciudad de Neiva, a partir de un modelo de optimización de la inversión en función de las condiciones de demanda y costo de los implementos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un análisis que permita conocer los beneficios económicos, ambientales y sociales que genera el abastecimiento y suministro de energía renovable a través de sistemas fotovoltaicos.
- Identificar las regulaciones y/o normatividad aplicable a los proyectos de sistemas de producción y manejo de energía solar fotovoltaica.
- Dimensionar un sistema fotovoltaico para conocer la energía eléctrica generada que pueda suplir el consumo energético de acuerdo a las características de demanda de la vivienda.
- Aplicar un modelo de optimización (por medio de programación lineal) que permita minimizar la inversión inicial, de acuerdo a las variables aplicables al entorno de estudio establecido.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 El sol, la energía solar y el desarrollo sostenible

El sol es la principal fuente primaria de luz y calor en la tierra, contiene 71% de hidrógeno, 27% de helio y 2% de otros elementos más pesados, es la estrella más cercana al planeta Tierra, con una edad aproximada de 4600 millones de años. El sol cuenta con un núcleo relativamente pequeño que es el mayor responsable de la luminosidad solar y allí su temperatura alcanza los 15 millones de grados Kelvin, la energía que se genera en el centro del sol es el resultado de la fusión de núcleos de hidrógeno para formar núcleos de helio, razón por la cual esta estrella se comporta como un reactor nuclear de fusión, pues las reacciones que ocurren en su interior producen una pérdida de masa que se transforma en energía, la cual se distribuye como radiación electromagnética de $5.4 \times 10^{24} \text{ J}$, a dicha radiación se le denomina radiación solar (Benavides et al., 2017). El sol es la central infinita de tres energías renovables (solar fotovoltaica, solar termoeléctrica y solar térmica) que mitigan los efectos del cambio climático.

La energía solar fotovoltaica es el tipo de energía que permite la obtención directa de electricidad a partir de la radiación solar. Se trata de un tipo de energía renovable no contaminante, que puede producirse en instalaciones con paneles solares fotovoltaicos. Una de las grandes ventajas de esta tecnología es que es modular: los paneles pueden usarse para el autoconsumo (brindar electricidad en hogares o edificios) o también para abastecer a la red eléctrica a través de grandes centrales (Benavides et al., 2017).

Como ya se mencionó, la energía eléctrica generada mediante paneles solares fotovoltaicos es renovable y no contamina, por lo que contribuye al desarrollo sostenible, además de favorecer el desarrollo del empleo local, por lo que se convierte por la

energía por excelencia del objetivo 7 de desarrollo sostenible, en energía asequible y no contaminante.

5.2 Radiación solar

Es el flujo de energía que recibimos en forma de ondas electromagnéticas en diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta), aproximadamente la mitad de energía que recibimos está dentro de la luz visible, de la otra mitad la mayoría se encuentra dentro de la infrarroja y solo una pequeña parte dentro de la ultravioleta. Cuando la radiación solar llega a la atmósfera de la Tierra, esta llegada debilitada debido a la distancia entre el sol y la tierra, posteriormente la radiación sufre una atenuación debido a la capa atmosférica, por lo tanto, la radiación aproximada de la superficie terrestre es de 1000 W/m^2 (Aparicio, 2020).

5.3 Eficiencia energética y brillo solar

La eficiencia energética es la relación entre la energía de entrada y de salida de un sistema y se mide con un porcentaje.

$$\text{Eficiencia \%} = \left(\frac{\text{energía de salida}}{\text{energía de entrada}} \right) \times 100$$

En la medición del brillo solar normalmente se utiliza el heliógrafo de Campbell-Stokes, este instrumento proporciona las horas del sol efectivo en el día (brillo solar) asociadas a las pérdidas de tiempo de radiación solar directa que superan un valor mínimo. La magnitud física de la duración del brillo solar es el tiempo. la unidad que se emplea es la hora. Con fines climatológicos se usa la expresión "horas de sol al día" (Benavides et al., 2017). Por otra parte a través de la pagina Power Larc Nasa, nos proporciona datos solares y meteorológicos, recursos energéticos mundiales.

5.4 Energía solar fotovoltaica y la célula fotovoltaica

Es el proceso mediante el cual se obtiene energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Los módulos o colectores fotovoltaicos están conformados por dispositivos semiconductores de tipo diodo y cuando estos reciben radiación solar ocurre un proceso químico en el cual se excitan y provocan saltos electrónicos, a esto se le llama efecto fotoeléctrico o fotovoltaico. En otras palabras, es la conversión de luz en electricidad. Este sistema lo componen un conjunto de dispositivos eléctricos y electrónicos capaces de transformar la radiación en energía eléctrica, su principal componente es el módulo fotovoltaico que está formado por células fotovoltaicas asociadas eléctricamente, estas son las encargadas de transformar radiación solar en energía eléctrica en forma de corriente continua (Oliver, 2012).

La célula fotovoltaica es un elemento semiconductor cuyo contenido es de dióxido de silicio (SiO_2) la cual se utiliza para transformar la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico (absorbe fotones de luz y emite electrones libres los cuales son capturados para generar corriente eléctrica). La unión de varias células da lugar a paneles solares los cuales son las bases de los sistemas fotovoltaicos (Ver Figura 5).

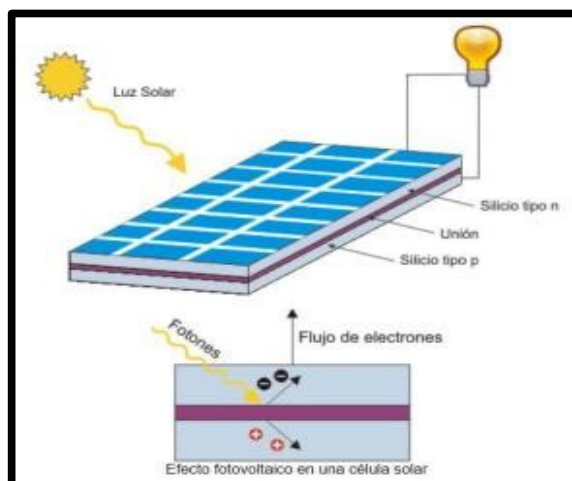


Figura 5. Célula fotovoltaica
Nota: Tomado de Celdas solares, 2020

5.5 Sistemas aislados

Los sistemas aislados se caracterizan por la generación de corriente sin conexión a la red que proporciona energía eléctrica proveniente del sol. Para este sistema se requiere de almacenamiento para la energía fotovoltaica generada en acumuladores solares (baterías) permitiéndola usar durante las 24 horas del día (Solmic, 2023).

5.6 Sistemas de conexión a red

Los sistemas de conexión a red deben convertir la energía mediante un inversor para adaptarla a los parámetros de la red. Tanto un tipo como el otro, disponen de elementos de control para trabajar, en todo momento, en su punto de máxima potencia (PMP) para conseguir que el rendimiento del generador sea lo más alto posible, para ello, el propio inversor AC/DC lleva un seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) integrado para ajustar los valores de tensión, e intensidad, a los valores normalizados manteniendo la máxima potencia (variando la intensidad).

5.7 Tipos de paneles solares

Existen varios tipos de paneles solares y sus características son distintivas, cada una con sus pros y sus contras, pero al final su objetivo es ofrecer eficiencia mediante la energía renovable. A continuación, se describen las principales opciones que actualmente hay disponibles en el mercado:

5.7.1 Paneles solares monocristalinos

Estos paneles se caracterizan por su alta eficiencia energética y su buen desempeño en condiciones de poca luz o espacio limitado. Están fabricados con células de un solo cristal de silicio, lo que les permite convertir más del 20% de la radiación solar en

electricidad (Ver Figura 6).

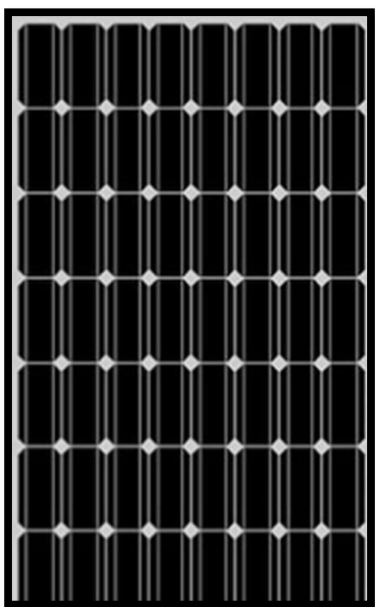


Figura 6. Paneles solares monocristalinos
Nota: Tomado de Plataforma Solar, 2023

Sin embargo, también tiene algunos inconvenientes, como su mayor coste de producción y su sensibilidad a las altas temperaturas. Por lo tanto, es importante evaluar las necesidades y el presupuesto antes de elegir esta tecnología.

5.7.2 Paneles solares policristalinos

Estos paneles se fabrican con silicio policristalino, un material que tiene una pureza menor que el silicio monocristalino. Se produce al fundir silicio y verterlo en un molde donde se solidifica formando varios cristales (Ver Figura 7).

El panel resultante tiene una superficie con aspecto de mosaico debido a los diferentes cristales. Tienen una eficiencia menor a los monocristalinos, pero también son más económicos, por lo que son una opción más popular para instalaciones residenciales debido a su buen rendimiento con un coste más asequible. Su eficiencia suele estar entre el 15% y el 18%, lo que los convierte en una alternativa fiable y barata para aprovechar la energía solar.

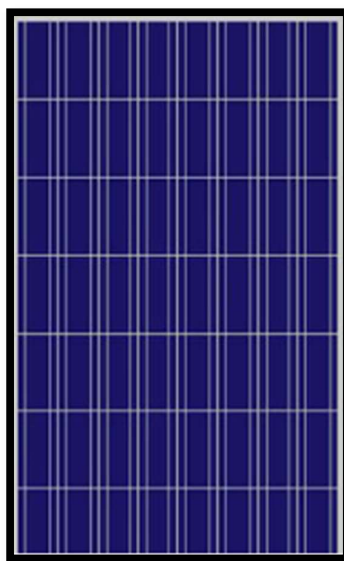


Figura 7. Paneles solares policristalinos
Nota: Tomado de Plataforma Solar, 2023

5.7.3 Paneles solares de capa fina

También llamados Thin-Film, los paneles de capa fina son delgados y flexibles que ofrecen una solución innovadora para aprovechar la energía solar en superficies irregulares o con limitaciones de espacio. Esto se debe a que están fabricados con capas muy finas de materiales semiconductores, como el telurio de cadmio o el silicio amorfo, que les permiten adaptarse a diferentes formas y tamaños.

Si bien estos paneles tienen una eficiencia menor, alrededor del 10% al 12%, que los paneles convencionales, su flexibilidad y menor coste los convierten en una opción atractiva para diferentes usos y aplicaciones.

5.7.4 Paneles solares bifaciales

Un aspecto innovador de estos paneles es que tienen la capacidad de aprovechar la energía solar que incide sobre ambas caras. Esto les confiere una ventaja en situaciones donde hay una alta reflexión de la luz solar, como por ejemplo en superficies que actúan como espejos o en zonas con presencia de nieve. Así, se optimiza el

rendimiento de los paneles y al mismo tiempo se reduce el impacto ambiental.

5.8 Tipos de conexiones

Arenas Sanches & Zapata Castaño (2011) mencionan que los colectores fotovoltaicos se encuentran conformados por dispositivos semiconductores de tipo “diodo”, los cuales captan la radiación del sol y producen corriente eléctrica continua; la cuál puede ser aprovechada transformándola en energía alterna. Las conexiones más comunes en el mundo de la ingeniería son principalmente, en serie y en paralelo, empleados en resistencias, baterías, etc., las cuales permiten que circule el flujo de electrones captado de la superficie colectora de una región a otra.

5.8.1 Conexión en serie

Se realiza la conexión de una polaridad positiva (+) de un panel a una polaridad negativa (-) de otro panel solar, principalmente a través de un cable conductor. Arenas Sanches & Zapata Castaño (2011) enfatizan que las conexiones en serie permiten la sumatoria de los voltajes individuales de los dispositivos. Esto quiere decir que los voltajes (V) se suman y la corriente (A) se mantiene, empleando menor cableado y obteniendo más ahorro y potencia máxima.

5.8.2 Conexión en paralelo

Se realiza la conexión de las polaridades iguales, tanto positivo (+, +) y negativo (-, -) de cada uno de los paneles solares. Como resultado se suman las corrientes (A) y el voltaje (V) se mantiene constante. Para este tipo de conexiones es necesario emplear más cableado, pero nos permite obtener la corriente máxima de la conexión del sistema.

5.9 Mecanismos de financiación para soluciones solares fotovoltaicas

5.9.1 Arrendamiento financiero Leasing

En este modelo de negocio una entidad financiera adquiere el sistema solar fotovoltaico

y la empresa/consumidor paga una cuota mensual por un periodo de tiempo, no hay una inversión inicial y el riesgo es bajo en la instalación y en el proceso de montaje. Los beneficios para la empresa/consumidor, comercio o industria son:

- Ley 2099 de 2021 (Descuento de hasta el 50% del valor de la inversión sobre la renta líquida y que no se supere el 50% de la misma, depreciación acelerada hasta en 3 años del valor total de la inversión y exenciones de IVA)
- Promoción de actividades de responsabilidad empresarial por parte de la empresa/consumidor, al usar fuentes de energía limpias
- Ahorro en la factura de energía y disminución de la huella de carbono
- Retornos muy atractivos para los clientes medidos en excelentes Tasas Internas de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN) positivo de las inversiones

5.9.2 Arrendamiento operativo Renting

En este modelo de negocio un inversionista o una entidad financiera adquiere el sistema solar fotovoltaico y la empresa/consumidor paga una cuota mensual por un periodo de tiempo, la inversión inicial es cero y el riesgo es bajo en la instalación y en el proceso de montaje. Los beneficios para la empresa, comercio o industria son:

- Ahorros en la factura de energía y disminución de la huella de carbono
- Promoción de actividades de responsabilidad empresarial por parte de la empresa/consumidor, al usar fuentes de energía limpias
- Valor Presente Neto (VPN) positivo de la decisión

5.9.3 Compra directa

En este modelo de negocio la empresa/consumidor adquiere directamente y con su propio capital el sistema solar fotovoltaico en modalidad “llave en mano” a una empresa

de ingeniería encargada del diseño, ingeniería de detalle, suministro, compras, construcción, trámites de permisos, trámites de beneficios tributarios y legalización de la solución solar. Hay una inversión inicial y el riesgo es bajo en la instalación y en el proceso de montaje. Los beneficios para la empresa, comercio o industria son:

- Ley 1715, actualmente Ley 2099 de 2021 (Descuento de hasta el 50% del valor de la inversión sobre la renta líquida y que no se supere el 50% de la misma, depreciación acelerada hasta en 3 años del valor total de la inversión y exenciones de IVA)
- Promoción de actividades de responsabilidad empresarial por parte de la empresa/consumidor, al usar fuentes de energía limpias
- Ahorro en la factura de energía y disminución de la huella de carbono
- Retornos muy atractivos para los clientes medidos en excelentes Tasas Internas de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN) positivo de las inversiones

5.9.4 PPA (Power Purchase Agreement)

En este modelo de negocio un inversionista adquiere el sistema solar fotovoltaico y la empresa/consumidor paga por la energía que genera el sistema a lo largo de un periodo de tiempo. A inversión inicial es cero y el riesgo es muy bajo. Los beneficios para la empresa, comercio o industria son:

- Promoción de actividades de responsabilidad empresarial por parte de la empresa/consumidor, al usar fuentes de energía limpias
- Ahorro en la factura de energía
- Disminución de la huella de carbono
- Valor Presente Neto (VPN) positivo de la decisión (ERCO, 2023)

5.10 Análisis económico

El análisis económico de un proyecto se realiza con base a su rentabilidad, las cantidades comúnmente calculadas son la amortización simple, el costo de la energía y el flujo de efectivo, se pueden realizar análisis más complejos teniendo en cuenta el valor temporal del dinero, las tasas de descuento etc. (Foster, Ghassemi Majid, & Costa, 2010). Estos análisis complejos pueden reunir conceptos como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) que dan una estimación de la rentabilidad de un proyecto. La aplicación de estas técnicas depende del método análisis utilizado, como por ejemplo el de D. Yogi Goswami.

5.11 Optimización

Desde que se comenzaron a desarrollar modelos matemáticos para representar el comportamiento de la naturaleza se han buscado formas de hacer más eficientes estos modelos. Para alcanzar el objetivo deseado se implementan métodos o políticas de optimización que se representan por conjuntos de valores que pueden ser modificables para alcanzar una respuesta deseada. Dentro de la investigación operativa, las técnicas de optimización se enfocan en determinar la política a seguir para maximizar o minimizar la respuesta del sistema. Dicha respuesta, en general, es un indicador del tipo “Costo”, “Producción”, “Ganancia”, etc., la cual es una función de la política seleccionada. Dicha respuesta se denomina objetivo, y la función asociada se llama función objetivo (Baquela & Redchuk, 2013, pág. XIII). Existen diferentes políticas de optimización como por ejemplo en base al calculo que se refiere a la búsqueda de puntos máximos y mínimos mediante derivadas y procesos matemáticos que conllevan consigo un gran costo computacional pero una gran exactitud. También existen métodos que buscas

convergencia por medio de restricciones a la función de optimización y que más que generar una salida estática, tiene una gama de posibles soluciones que satisfacen el problema de optimización ya sea encontrando máximos o mínimos. Dentro de las técnicas por restricción se encuentra la programación lineal un método muy eficaz para encontrar solución a problemas reales y complejos donde se necesita una respuesta de selección a un abanico de posibilidades.

5.12 Programación Lineal

Como muchos desarrollos de la humanidad la Programación Lineal (PL) surgió con una aplicación militar después de la Segunda Guerra Mundial y desde su surgimiento se ha venido utilizando para resolver problemas de optimización en diversas áreas. La PL tiene como objetivos resolver problemas reales como la clasificación de elementos, asignación de recursos, mezclas de productos, maximización de beneficios, minimización de costos, entre otros. Este método debe contar con cinco características para ser implementado correctamente (Puente Riofrío & Gavilánez Álvarez, 2018):

- Linealidad: Hace referencia a una relación lineal entre las variables del proceso.
- Homogeneidad: Enfatiza en la igualdad de condiciones de las variables, es decir que cuentan con la misma rigurosidad.
- Divisibilidad: Existe cuando todas las variables del sistema son divisibles en fracciones.
- Limitación de recursos: Las cantidades que intervienen en la optimización deben ser acotadas como, por ejemplo, horas de trabajo, número de trabajadores, suministros, materiales, etc.
- Objetivo explícito: Es importante saber el objetivo de la optimización ya sea maximizar o minimizar.

6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 2. Cronograma

Actividades	Meses															
	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Formulación de idea y título del proyecto, introducción y antecedentes																
Justificación y planteamiento del problema																
Pregunta de investigación, objetivo general y objetivos específicos																
Marco teórico y cronograma de actividades																
Presupuesto, metodología y análisis de datos																
Resultados, conclusiones, recomendaciones y bibliografía																
Elaboración de informe final																

Nota: Elaboración propia

7. PRESUPUESTO

Tabla 3. Presupuesto

Personal					
Personal	Cargo	Función	Tiempo	Hora	Total
Julián Orrego	Estudiante	Diseño, extracción de datos, análisis de datos e informe final	10 h x Semana x 4 meses	\$4.200	\$672.000
Subtotal				\$672.000	

Equipos			
Insumo	Cantidad	Valor unidad	Valor total
Computador	1	\$1.200.000	\$1.200.000
Internet	4	\$55.000	\$220.000
Subtotal			\$1.440.000

Transporte			
Viajes	Cantidad	Valor unidad	Valor total
Viaje a la universidad estudiante 1	1 día a la semana x 4 meses	\$10.000	\$160.000
Subtotal			\$160.000

Insumo	Total
Personal	\$ 672.000
Equipo	\$ 1.440.000
Transporte	\$ 160.000
Total	\$ 2.272.000

Nota: Elaboración propia

8. METODOLOGÍA

El presente estudio es de tipo cuantitativo, toda vez que se manejan datos numéricos y variables que pueden ser de tipo discreto y continua. A la vez, involucra conceptos y contenidos con enfoque y alcance descriptivo, en el momento en que se describe y analiza los componentes eléctricos de la vivienda de estudio y se halla el consumo de energía eléctrica promedio mensual.

Este estudio cuantitativo tiene un enfoque descriptivo, donde se busca especificar propiedades y características importantes del problema en cuestión, lo que es la propuesta del modelo de financiación de acceso a servicios modernos de electricidad a través de sistemas fotovoltaicos, alineados con el objetivo de desarrollo sostenible número 7, sobre el uso y aprovechamiento de la energía asequible y no contaminante, y la posible implementación de este sistema solar fotovoltaico en una vivienda ubicada en la ciudad de Neiva.

El nivel de investigación se centra en un estudio descriptivo que busca especificar las propiedades importantes del fenómeno o sistema en cuestión (Dankhe, 1986). Miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir. Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga. Es necesario hacer notar que los estudios descriptivos miden de manera más bien independiente los conceptos o variables con los que tienen que ver. Aunque, desde luego, pueden integrar las mediciones de cada una de dichas variables para decir cómo es y se manifiesta el fenómeno de interés, su objetivo no es indicar cómo se relacionan las variables medidas

(Sampieri et al., 2018). La población definida para este proyecto, que es el conjunto total de los elementos que componen el estudio, son aquellos que cuentan con ciertas características similares y sobre las cuales se desea hacer inferencia, objeto de análisis. Para este caso la población la componen el número aproximado de viviendas ocupadas en la ciudad de Neiva. Sin embargo, se aplicará el estudio a una sola vivienda, que puede ser elegida al azar, siguiendo criterios de ubicación, como, por ejemplo, un barrio en una zona alta.

Para el procedimiento de la recolección de los datos, se hará uso de herramientas ofimáticas y hojas de cálculo como Excel, estos datos serán tabulados, analizados y graficados en el caso que se requiera para comparar rápidamente variables de estudio y mediciones. Así mismo, para un análisis completo y descriptivo, se utilizará el programa web PHP Simplex para solucionar el problema de optimización planteado en el estudio.

9. ANÁLISIS DE DATOS

Inicialmente, se realizó el cálculo de la energía requerida en la vivienda en la que se aplicar el sistema solar fotovoltaico (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Energía requerida por la vivienda

APARATO	CANTIDAD	POTENCIA (V*C)	POTENCIA TOTAL	HORAS DE USO	ENERGÍA REQUERIDA
BOMBILLOS	5	10,32	51,6	6	309,6
TV	1	186	186	2	372
VENTILADOR	1	60	60	9	540
CARGADORES	2	125	250	3	750
NEVERA	1	126,5	126,5	24	3036
LAVADORA	1	1270	1270	3	3810
T		1944,1	47	8817,6	

Nota: Elaboración propia

Seguidamente, se determinan los componentes del sistema (Ver Figura 8).

1. Calculo de la demanda		
D=	10581,12	
2. Calculo de C. Paneles solares		
Watts Pico=	2477,53 W	
N° Paneles Solares=	8,3 Aprox.	9
3. Calculo de Baterías		
Amperio / hora	Ah= 881,76	N° Baterías = 4,4 Aprox. 5
4. Calculo de Controlador		
Amp=	72,18	Ahorro por día Elegir un Regulador de 100 Amp
5. Calculo del Inversor		
Watts=	2332,92	Inversor de 3000 W

Watts Paneles = 300

V. Del sistema Panel= 24

Ah Batería= 200

ISC= 8,02

L 4

Figura 8. Cálculo de los componentes del sistema de energía solar fotovoltaico

Nota: Elaboración propia

Por otra parte, los datos que generan el problema de optimización, provienen de las

diferentes cotizaciones de los equipos e implementos que conformarán el sistema de energía solar fotovoltaico para una vivienda de la ciudad de Neiva (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Cotización de elementos del sistema de energía solar fotovoltaico

Cotización # TD-00966

Fecha de presupuesto:
07-11-2023

Vencimiento:
15-11-2023

Vendedor:
Diana Macias

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPUESTOS	IMPORTE
[P000637] Panel 350w 24v policristalino ECOGREEN	9	700.000	IVA Exento	\$ 6.300.000,00
[P000023] Batería 200 Amp 12V GEL TIENDA SOLAR	5	1.750.000	IVA Ventas 5% (Incluido)	\$ 8.333.333,33
[P000657] Inversor onda pura 3000watt belltt 24v salida 110vac	1	1.750.000	IVA Exento	\$ 1.750.000,00
[P000746] Controlador digital PWM 80Amp 12/24v Tienda Solar	1	450.000	IVA Exento	\$ 450.000,00

Subtotal	\$ 16.833.333,33
Impuestos	\$ 416.666,67
Total	\$ 17.250.000,00

Fuente: Tienda Solar S.A.S.

Con estos datos se genera el problema de programación lineal que comprende el modelo de optimización a realizar en esta propuesta de proyecto.

Dentro de las variables del modelo tenemos:

P: el número de paneles solares

B: el número de baterías

C: el costo de un panel solar

D: el costo de una batería

G: la generación de energía por panel solar

H: la capacidad de almacenamiento de una batería

De: la demanda de energía de la vivienda

Como ya se mencionó, el problema consiste en minimizar los costos de instalación del sistema solar fotovoltaico diseñado para una vivienda.

Función objetivo

$$Z = PC + DB$$

Sujeto a las restricciones:

$$PG + BH \geq De$$

$$P \geq 9$$

$$B \geq 5$$

Explicación:

La variable Z representa el costo de inversión total en el proyecto (función objetivo). La primera restricción garantiza que la generación de energía sea suficiente para cubrir la demanda. La segunda y tercera restricción aseguran que el número de paneles solares y baterías sean los requeridos por el sistema.

Planteamiento del MPL

X_1 : Número de paneles solares

X_2 : Número de baterías

Z: Función costo de inversión inicial

Función objetivo

Minimizar

$$Z = 700000X_1 + 1750000X_2$$

Sujeto a:

$$350X_1 + 200X_2 \geq 8818$$

$$X_1 \geq 9$$

$$X_2 \geq 5$$

Solución del problema

Utilizando el programa web PHP Simplex, ingresamos el problema y obtenemos:

Pasamos el problema a la forma estándar, añadiendo variables de exceso, holgura, y artificiales según corresponda (mostrar/ocultar detalles)

- Como la restricción 1 es del tipo $\geq$ se agrega la variable de exceso X_3 y la variable artificial X_6 .
- Como la restricción 2 es del tipo $\geq$ se agrega la variable de exceso X_4 y la variable artificial X_7 .
- Como la restricción 3 es del tipo $\geq$ se agrega la variable de exceso X_5 y la variable artificial X_8 .

$$\text{MINIMIZAR: } Z = 700000 X_1 + 1750000 X_2$$

sujeto a

$$350 X_1 + 200 X_2 \geq 8818$$

$$1 X_1 + 0 X_2 \geq 9$$

$$0 X_1 + 1 X_2 \geq 5$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$



$$\text{MAXIMIZAR: } Z = -700000 X_1 - 1750000 X_2 + 0 X_3 + 0 X_4 + 0 X_5 + 0 X_6 + 0 X_7 + 0 X_8$$

sujeto a

$$350 X_1 + 200 X_2 - 1 X_3 + 1 X_6 = 8818$$

$$1 X_1 - 1 X_4 + 1 X_7 = 9$$

$$0 X_1 + 1 X_2 - 1 X_5 + 1 X_8 = 5$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8 \geq 0$$

Pasamos a construir la primera tabla de la Fase I del método de las Dos Fases.

Figura 9. Planteamiento inicial del problema de PL

Fuente: PHP Simplex, (2023)

El programa realiza la primera iteración, donde la variable que sale de la base es P7 y la que entra es P1:

Tabla 6. Iteración 1 (Tabla 1 en PHP Simplex)

Tabla 1			0	0	0	0	0	-1	-1	-1
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈
P ₆	-1	8818	350	200	-1	0	0	1	0	0
P ₇	-1	9	1	0	0	-1	0	0	1	0
P ₈	-1	5	0	1	0	0	-1	0	0	1
Z		-8832	-351	-201	1	1	1	0	0	0

Fuente: PHP Simplex, (2023)

En la segunda iteración la variable que sale de la base es P6 y la que entra es P4:

Tabla 7. Iteración 2 (Tabla 2 en PHP Simplex)

Tabla 2			0	0	0	0	0	-1	-1	-1
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈
P ₆	-1	5668	0	200	-1	350	0	1	-350	0
P ₁	0	9	1	0	0	-1	0	0	1	0
P ₈	-1	5	0	1	0	0	-1	0	0	1
Z		-5673	0	-201	1	-350	1	0	351	0

Fuente: PHP Simplex, (2023)

En la tercera iteración, la variable que sale de la base es P8 y la que entra es P2:

Tabla 8. Iteración 3 (Tabla 3 en PHP Simplex)

Tabla 3			0	0	0	0	0	-1	-1	-1
Base	C_b	P₀	P₁	P₂	P₃	P₄	P₅	P₆	P₇	P₈
P ₄	0	16.194285714286	0	0.57142857142857	-0.0028571428571429	1	0	0.0028571428571429	-1	0
P ₁	0	25.194285714286	1	0.57142857142857	-0.0028571428571429	0	0	0.0028571428571429	0	0
P ₅	-1	5	0	1	0	0	-1	0	0	1
Z		-4.9999999999991	0	-1	0	0	1	1	1	0

Fuente: PHP Simplex, (2023)

En la cuarta iteración, el programa determina que, si existe alguna solución posible para el problema, por lo que pasa a la Fase II para calcularla:

Tabla 9. Iteración 4 (Tabla 4 en PHP Simplex)

Tabla 4			0	0	0	0	0	-1	-1	-1
Base	C_b	P₀	P₁	P₂	P₃	P₄	P₅	P₆	P₇	P₈
P ₄	0	13.337142857143	0	0	-0.0028571428571429	1	0.57142857142857	0.0028571428571429	-1	-0.57142857142857
P ₁	0	22.337142857143	1	0	-0.0028571428571429	0	0.57142857142857	0.0028571428571429	0	-0.57142857142857
P ₂	0	5	0	1	0	0	-1	0	0	1
Z		9.1E-13	0	0	0	0	0	1	1	1

Fuente: PHP Simplex, (2023)

En la quinta iteración, el programa encuentra la solución óptima del problema:

Tabla 10. Iteración 5 (Tabla 1 de la fase II en PHP Simplex)

Tabla 1			-700000	-1750000	0	0	0
Base	C_b	P₀	P₁	P₂	P₃	P₄	P₅
P ₄	0	13.337142857143	0	0	-0.0028571428571429	1	0.57142857142857
P ₁	-700000	22.337142857143	1	0	-0.0028571428571429	0	0.57142857142857
P ₂	-1750000	5	0	1	0	0	-1
Z		-24386000	0	0	2000	0	1350000

Fuente: PHP Simplex, (2023)

Así, la solución óptima del problema es:

$$X_1 = 22.3 \rightarrow 23$$

$$X_2 = 5$$

$$Z = \$24850000$$

Solución a través del método gráfico



Figura 10. Región factible del problema de PL
Fuente: PHP Simplex, (2023)

En la Figura 10 se puede observar la solución del problema de PL a través del método gráfico; en este, la función objetivo y las restricciones del problema se representan como una línea en el plano cartesiano. La región en color verde se conoce como la región factible, que es el conjunto de puntos que satisfacen todas las restricciones del problema. Se puede determinar la región factible observando las intersecciones de las líneas que representan las restricciones. Asimismo, en esta región se encuentran los puntos que satisfacen todas las restricciones y que son posibles soluciones al problema de PL, donde el vértice con el valor mínimo, es la solución óptima del problema (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Coordenadas de los puntos de solución del problema de PL a través del método gráfico

Punto	Coordenada X (X ₁)	Coordenada Y (X ₂)	Valor de la función objetivo (Z)
O	0	0	0
A	0	44.09	77157500
B	25.194285714286	0	17636000
C	9	28.34	55895000
D	22.337142857143	5	24386000
E	9	0	6300000
F	9	5	15050000
G	0	5	8750000

Fuente: PHP Simplex, (2023)

10. RESULTADOS

Se encontró que el modelo a implementar para la optimización de la inversión inicial del proyecto (minimización de costos) es:

Función objetivo:

$$Z = PC + DB$$

Sujeto a las restricciones:

$$PG + BH \geq De$$

$$P \geq 0$$

$$B \geq 0$$

Donde:

P: es el número de paneles solares

B: es el número de baterías

C: es el costo de un panel solar

D: es el costo de una batería

G: es la generación de energía por panel solar

H: es la capacidad de almacenamiento de una batería

De: la demanda de energía de la vivienda

De esta manera, se presenta una alternativa de financiación para la instalación de un sistema fotovoltaico en una vivienda de la ciudad de Neiva, luego de desarrollar un modelo de optimización de la inversión en función de las condiciones de demanda y los implementos requeridos por el sistema.

Los resultados del problema de optimización son importantes en la medida en que proporcionan información vital para la toma de decisiones sobre la viabilidad del proyecto. Esta información es esencial para evaluar la rentabilidad del proyecto y

determinar si es una inversión viable para el propietario de la vivienda. El modelo es dinámico, permite la actualización de las variables y cambio de las variables según las condiciones del mercado, por lo que se podría:

- Comparar diferentes opciones de sistemas solares y seleccionar la que mejor se ajuste a sus necesidades y presupuesto
- Evaluar el impacto económico del proyecto en su factura de electricidad
- Tomar decisiones informadas sobre el financiamiento del proyecto

Asimismo, si los resultados del problema indican que el costo total del proyecto es superior a los beneficios económicos esperados, el propietario de la vivienda puede decidir no realizar el proyecto o buscar otras opciones para reducir los costos a corto plazo; ya que este es un proyecto con rentabilidad a largo plazo.

11. CONCLUSIONES

Se determinó que la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico en una vivienda tiene una serie de ventajas, tanto económicas como ambientales, dentro de las que se destaca el ahorro en la factura de la luz (el sistema fotovoltaico puede generar la electricidad que consume la vivienda, lo que puede suponer un ahorro significativo en la factura de la luz), mayor valor de la vivienda (el sistema fotovoltaico puede aumentar el valor de la vivienda en el mercado inmobiliario) y la reducción de la dependencia de las fuentes de energía tradicionales (el sistema fotovoltaico reduce la dependencia de las fuentes de energía tradicionales, como el carbón, el petróleo o el gas natural); esto último puede contribuir a reducir el precio de la electricidad y más importante aún, a mejorar la seguridad energética.

Desde el aspecto ambiental, el desarrollo de este tipo de proyectos aporta a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (esto debido a que la generación de electricidad a partir de energía solar fotovoltaica no produce emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la lucha contra el cambio climático); asimismo, se aporta a la conservación de los recursos naturales, ya que la energía solar es una fuente de energía renovable.

De este modo, la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico en una vivienda es una inversión que puede tener un retorno económico y ambiental positivo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la instalación de un sistema fotovoltaico requiere una inversión inicial, que puede resultar un tanto costosa y que puede variar en función del tamaño del sistema y de las características de la vivienda. Sin embargo, la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica está incentivada por el Gobierno Nacional a través del Programa de Generación Distribuida (PGD). Este

programa ofrece beneficios fiscales y financieros a las personas y empresas que implementan sistemas de energía solar fotovoltaica.

Por último, en cuanto a la formulación del problema de programación lineal, se sabe que esta es una técnica matemática que permite maximizar o minimizar una función lineal sujeta a varias restricciones. Es una herramienta muy versátil que se puede aplicar a una amplia gama de problemas en diversas áreas, como la economía, la ingeniería, la logística, la producción, etc. La importancia de la aplicabilidad de un problema de programación lineal radica en que permite tomar decisiones de manera objetiva y eficiente. Esto se debe a que los modelos de programación lineal representan de manera clara la situación a resolver y permiten encontrar la mejor solución posible, teniendo en cuenta las restricciones existentes.

La importancia de la aplicabilidad del problema solucionado por el método simplex en el programa web PHP Simplex y el modelo formulado a través de programación lineal, radica en que la solución a este problema es factible y óptima. Es decir, la solución cumple con todas las restricciones del problema y es la mejor solución posible, según el criterio de optimización definido. Esta solución cumple con los criterios de factibilidad (la solución es importante porque garantiza que la solución sea realizable) y optimalidad (se garantiza que la solución sea la mejor posible, en este caso, la minimización del costo de inversión inicial del proyecto).

12. RECOMENDACIONES

Esta propuesta puede ser complementada y mejorada en la medida que se busque dar solución a estos tres aspectos:

- El costo total del proyecto, incluyendo el costo de los componentes, la instalación y el mantenimiento
- La cantidad de energía solar que se generará con el proyecto
- El tiempo de recuperación de la inversión

Lo que permitiría manejar mas variables en la función objetivo e integrar nuevos aspectos que podría afectar el cálculo del costo mínimo de inversión.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Municipal de Aipe. (2018). *Análisis de la situación en salud con el modelo de los determinantes sociales de salud del municipio de Aipe – Huila*. Secretaria de protección social. Disponible en: <https://www.huila.gov.co/salud/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=des>
- Algarin, C. R., & Álvarez, O. R. (2018). *Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia*. Espacios, 39(10).
- Aparicio, M. P. (2020). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. España, Barcelona: Marcombo.
- Arenas Sanches D. A., & Zapata Castaño, H. S. (2011). *Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones*. Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/29243269-1d0b-4c34-8c23-b3229dbdc19a/content>
- Ballesteros Ballesteros, V. (2016). *Panorama mundial de las energías renovables e importancia de la energía solar fotovoltaica*. Colombia, Bogotá: Revista Científica, 26, 194– 203. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Baquela, E., & Redchuk, A. (2013). *Optimización Matemática con R*. Madrid: Burbok Publishing S.L.
- Benavides Ballesteros, H. O., Simbaqueva Fonseca, O., & Zapata Lesmes, H. J. (2017). *Atlas de Radiación Solar Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Colombia: IDEAM, UPME.
- Benítez Soler, A. C., Tello Reyes, I. D. (2018). *Estudio de factibilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la finca Villa Catalina*. Diplomado en Energías Renovables. Universidad Libre, Bogotá, Colombia.
- Foster, R., Ghassemi Majid, & Costa, A. (2010). *Solar Energy Renewable Energy and the Environment*. New México: CRC Press.
- N.A. Galvis Barrera, D.C. Piza González, F. Mesa, A.J. Aristizábal. (2021). *Procedimiento para la integración práctica y económica de la energía solar fotovoltaica en la ciudad de Bogotá*. ISSN 2352-4847. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.08.091>
- Programa Web PHP Simplex (2023). Disponible en: <https://www.phpsimplex.com/simplex/simplex.htm?l=es>
- Puente Riofrío, M., & Gavilánez Álvarez, Ó. (2018). *Programación Lineal para la Toma de Decisiones*. Ecuador: ESPOCH.
- Salazar Massaro, M. I. (2020). *Estudio de viabilidad de un sistema solar de refrigeración para*

- la implementación en campamentos de extracción en la selva peruana*. [Trabajo de Investigación de Bachiller, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. Repositorio Institucional UTEC. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12815/127>
- Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación. McGraw Hill Education. /Interamericana Editores, S.A. DE C.V 6ª edición, México D.F. ISBN: 978-1-4562-2396-0
- Winter, N. (2022). *Renewables 2022 Global Status Report United States of America Factsheet*. USA: Ren-21.