

Plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB

Diego Armando Barajas Díaz y Gloria Isabel Román Pinilla

Trabajo de grado para optar el título de Magíster en Dirección y Gestión de Proyectos

Director

Claudia Yaneth Roncancio Becerra
Doctora en Tecnología Educativa

Universidad Santo Tomas, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Maestría en Dirección y Gestión de Proyectos

2023

Dedicatoria

Este logro está dedicado a nuestras familias, a las personas más cercanas que han permitido con su apoyo, la culminación de una etapa profesional significativa. Agradecemos profundamente a todos ustedes, dado que este hito alcanzado, es en gran medida por su confianza y acompañamiento incondicional en esta experiencia de vida académica.

Agradecimientos

A la Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga, por permitirnos participar de tan importante logro académico, a nuestra directora por su guía y diligencia con nuestro proyecto, al director general de la CDMB, Juan Carlos Reyes Nova, por la acogida y la oportunidad de aprendizaje brindada, a todos y cada uno de nuestros docentes por la dedicación y compromiso durante este proceso de formación profesional.

Contenido

Introducción.....	14
1. Plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB.	16
1.1 Planteamiento del problema/caso de negocio	16
2. Objetivos.....	21
2.1 Objetivo general.....	22
2.2 Objetivos específicos	22
3. Descripción institucional	22
4. Marco referencial	25
4.1 Marco conceptual.....	25
4.2 Estado del arte.....	27
4.2.1 Internacional.....	28
4.2.2 Nacional	30
4.2.3 Local.....	32
4.3 Marco normativo.....	33
4.4 Marco teórico	34
4.4.1 Fuentes alternativas de energía	36
4.4.2 Recursos de radiación solar en Colombia.	37
4.4.3 Desarrollo sustentable	40
5. Análisis de interesados-involucrados	41
5.1 Población afectada y objetivo	41
6. Análisis del problema	46

6.1 Modelo Árbol de problemas	47
7. Análisis de objetivos.....	48
7.1 Objetivo general e indicador.....	48
7.1.1 Relaciones entre las causas y los objetivos.....	49
8. Análisis de Alternativas	50
8.1 Identificación de alternativas	50
8.1.1 Definición de alternativas de solución	51
8.2 Evaluación de alternativas	52
9. Construcción del Modelo Analítico del Proyecto.....	56
9.3.1 Fin.....	60
9.3.2 Propósito	60
9.3.3 Componentes o productos	60
9.4.1 Indicadores de propósito	62
9.4.2 Indicadores de componentes	62
9.4.3 Indicadores de Actividades	62
9.5 Medios de verificación.....	63
9.6 Supuestos	63
10. Recursos humanos, materiales y económicos.....	65
11. Cronograma	66
12. Difusión y comunicación.....	67
13. Método mediante el cual se realizará la evaluación de los resultados de la implementación.....	67
14. Resultados.....	68
14.2.1 Costos de suministro paneles. Cotizaciones.....	83

14.3 Establecer la viabilidad del uso de paneles solares para la reducción de costo energético en el edificio principal de la CDMB en la ciudad de Bucaramanga	84
15. Discusión	92
16. Conclusiones.....	94
Referencias	98

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Mapa de involucrados</i>	42
Tabla 2. <i>Matriz de poder de Intervención de los diferentes actores (partiendo de los resultados de la Tabla 1)</i>	43
Tabla 3. <i>Matriz de interesados</i>	44
Tabla 4. <i>Indicadores para medir el objetivo general</i>	49
Tabla 5. <i>Relación causa y objetivos específicos</i>	49
Tabla 6. <i>Criterios de selección de alternativas de solución</i>	52
Tabla 7. <i>Evaluación de las alternativas</i>	53
Tabla 8. <i>Selección de alternativas</i>	53
Tabla 9. <i>Matriz de Marco lógico</i>	58
Tabla 10. <i>Recursos humanos, materiales y económicos</i>	65
Tabla 11 <i>Difusión del plan de proyecto</i>	67
Tabla 12 <i>Relación de resultados obtenidos</i>	68
Tabla 13 <i>Promedios mensual – radiación solar año 2022</i>	73
Tabla 14. <i>Ficha técnica propuesta</i>	81
Tabla 15. <i>Consumo energético año 2022</i>	84
Tabla 16. <i>Proyección viabilidad energética</i>	88
Tabla 17. <i>Amortización de inversión</i>	89
Tabla 18. <i>Saldos actualizados con base en la producción calculada anual</i>	91
Tabla 19. <i>Valor presente neto de la inversión</i>	92

Lista de figuras

Figura 1. <i>Consumo energético promedio</i>	21
Figura 2 <i>Estructura organizacional – CDMB</i>	24
Figura 3. <i>Ubicación geográfica de Colombia</i>	39
Figura 4. <i>Matriz de los interesados – poder de intervención.</i>	43
Figura 5. <i>Árbol de objetivos</i>	48
Figura 6. <i>Potenciales alternativas de solución</i>	50
Figura 7. <i>Matriz generación de energía eléctrica en Colombia</i>	55
Figura 8. <i>Capacidad instalada actual y futura</i>	56
Figura 9. <i>Estructura analítica del proyecto</i>	57
Figura 10. <i>Cronograma</i>	66
Figura 11. <i>Área disponible en terrazas</i>	70
Figura 12 <i>Terraza edificio principal CDMB</i>	71
Figura 13. <i>Terraza edificio principal CDMB (parte 2)</i>	71
Figura 14 <i>Plano del área de aprovechamiento solar – terraza CDMB – edificio principal</i>	72
Figura 15. <i>Plano del área de aprovechamiento solar – terraza CDMB – edificio principal</i> (Parte 2)	72
Figura 16 <i>Gráfica promedios radiación solar</i>	73
Figura 17. <i>Simulación I Terraza 1 CDMB</i>	74
Figura 18. <i>Simulación I Terraza 1 CDMB (parte 2)</i>	75
Figura 19. <i>Simulación II terraza 2 CDMB</i>	76
Figura 20. <i>Simulación II terraza 2 CDMB (parte 2)</i>	77
Figura 21. <i>Simulación II terraza 2 CDMB (parte 3)</i>	78

Figura 22 <i>Aporte al consumo de energía eléctrica</i>	79
Figura 23. <i>Dinámica del panel solar</i>	80
Figura 24. <i>Cotización costos.</i>	83
Figura 25 <i>Análisis consumo energético 2022</i>	86
Figura 26. <i>Radiación solar Bucaramanga</i>	87

Resumen

El presente proyecto propone mediante la metodología de marco lógico un plan para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, logrando minimizar los costos de energía eléctrica y un impacto ambiental favorable. En este contexto, se diagnostica la capacidad de generación de energía solar fotovoltaica, utilizando el área disponible en las terrazas del edificio, de acuerdo con la geometría y el porcentaje de energía a suplir. La selección de la tecnología a utilizar, los costos asociados al proyecto, el potencial de energía solar disponible y la viabilidad del uso de paneles en el lugar de estudio son elementos esenciales que han sido abordados en el documento. Este trabajo de extensión contiene igualmente el análisis de involucrados, el análisis de problemas, objetivos y de alternativas, así como la estructura analítica del proyecto que se resume en la construcción de la matriz de marco lógico. Entre los resultados se encuentra la identificación de un área de 424,684 m² que puede ser destinada al montaje de 84 paneles solares. La inversión estimada para la implementación de este proyecto es de 288 millones de pesos, con un período de recuperación de la inversión de 6 años. Contar con un sistema solar fotovoltaico permite a la entidad producir anualmente 78143 kWh, lo que representa el 10% de ahorro en los costos de consumo del servicio de energía eléctrica. Además de este ahorro, se prevé la reducción de emisiones de CO₂ en 12.84 toneladas. Esta iniciativa, en caso de implementarse, fortalece la imagen corporativa de la entidad, como líder en innovación y sostenibilidad ambiental al contribuir a la reducción de la dependencia de fuentes de energía convencional y aportar en la disminución de la huella de carbono del país.

Palabras Clave: corporación ambiental, marco lógico, plan de proyecto, sistema fotovoltaico, paneles solares.

Abstract

The present project proposes, through the logical framework methodology, a plan for the implementation of a photovoltaic solar system in the main building of the Regional Autonomous Corporation for the Defense of the Bucaramanga Plateau - CDMB, achieving the minimization of energy costs and generating a favorable environmental impact. In this context, the generation capacity of photovoltaic solar energy is diagnosed using the available area on the terraces of the building, considering the geometry and the percentage of energy to be supplied. The selection of the technology to be used, the costs associated with the project, the solar energy potential available, and the feasibility of using panels in the study area are essential elements that have been addressed. This extension work contains the analysis of those involved, the analysis of problems, objectives, and alternatives, as well as the analytical structure of the project that is summarized in the construction of the logical framework matrix. Among the results is the identification of an area of 424,684 m² that can be used for the assembly of 84 solar panels. The estimated investment for the implementation of this project is two hundred and eighty-eight million pesos, with a payback period of 6 years. Having a photovoltaic solar system will allow the entity to produce 78,143 kWh annually, which represents 10% savings in the consumption costs of the electrical energy service. In addition to this saving, it is expected to reduce CO₂ emissions by 12.84 tons. This initiative, if implemented, strengthens the corporate image of the entity as a leader in innovation and environmental sustainability by contributing to the reduction of dependence on conventional energy sources and contributing to the reduction of the country's carbon footprint.

Keywords: environmental corporation, logical framework, project plan, photovoltaic system, solar panels.

Glosario

Lista alfabética de términos y sus definiciones necesarias para la comprensión del documento.

Cambio climático: de conformidad con lo expuesto por Naciones Unidas – ONU, cambio climático es todo el impacto negativo sobre los ecosistemas y el medio ambiente que se ha generado por décadas a través del uso irracional de recursos naturales, la generación de gases efecto invernadero y la contaminación sin control de residuos sólidos y líquidos a los diferentes entornos naturales por parte del ser humano, caracterizándose por las transformaciones en las temperaturas ambientales y los patrones del clima que afectan a todos los seres vivos del planeta (ONU, 2022).

Dióxido de carbono (Co2): gas que se produce de forma natural en la tierra, como subproducto de procesos industriales que utilizan combustibles fósiles y por cambios en el uso de las tierras, siendo el principal gas de efecto invernadero (Min ambiente, 2021)

Fuentes alternativas: fuentes de energía distintas a las que convencionalmente se usan a nivel mundial, estas fuentes suelen ser renovables como la energía solar, eólica, biomasa, entre otros, toda vez que son inagotables y limpias.

Gases de efecto invernadero: son compuestos químicos en estado gaseoso que se acumulan en la atmósfera, los cuales absorben la radiación infrarroja del sol, provocando el aumento y la retención de calor en la atmósfera (IDEAM, 2021)

Energías renovables: son todas aquella que se producen por la utilización de fuentes naturales, como el sol, el viento, el agua, que se caracterizan por no consumir recursos fósiles y generar contaminación. Es allí que la biomasa, los recursos geotérmicos, con la tecnología y el seguimiento adecuado, pueden convertirse en energía limpia y utilizable (ONU, 2018); (Edenhoffer, 2011).

Paneles solares: son estructuras compuestas por celdas que permiten distribuir la energía solar para ser convertida en fotovoltaica y generar energía eléctrica basándose en energía renovable.

Radiación Solar: es la energía emitida por el sol, la cual puede ser directa cuando no sufre ningún desvío, o difusa cuando sufre cambios en su dirección, principalmente debido a la reflexión y difusión de la atmósfera, siendo el principal recurso para el funcionamiento de los paneles solares.

Sistema interconectado nacional: sistema conformado por líneas de transmisión de energía y subestaciones, a través del cual se transporta energía eléctrica desde las centrales de generación, hasta los puntos de consumo (Celsia, 2021)

Transición energética: la transición energética, o transición ecológica, es aquella que tiene por objeto convertir los sistemas de producción, distribución y consumo de energía, a un modelo energético sostenible, con el propósito de someter su impacto ambiental.

Viabilización ambiental: el estudio de factibilidad ambiental es parte de un proceso de integración de los aspectos ambientales desde el diseño de un proyecto. Permite identificar todas las limitaciones, así como los desafíos del lugar de implantación del proyecto, para determinar en qué condiciones este puede desarrollarse o no.

Zonas no interconectadas (Zni): áreas del territorio nacional que, por diferentes características geográficas, sociales o económicas, no se encuentran conectadas al sistema interconectado nacional.

Introducción

Las energías renovables han aumentado rápidamente en todo el mundo en los últimos tiempos, es por ello que la energía solar se considera la opción energética más exitosa debido a su universalidad y a que evita el agotamiento de los recursos naturales para mantener un equilibrio ecológico. El crecimiento sustancial de los requisitos de energía, el creciente declive de los combustibles fósiles y los problemas ambientales en todo el mundo, han llevado a la necesidad de producir energía solar fotovoltaica a gran escala.

Para disminuir el cambio climático y sus efectos negativos, es necesario restringir las emisiones globales de gases de efecto invernadero. La transición de los combustibles fósiles (p. ej., carbón, petróleo y gas) a fuentes de energía renovable (p. ej., energía solar y eólica) puede ayudar de manera significativa a la disminución de este tipo de contaminación.

El éxito de tal transición depende en gran medida de la implementación exitosa de proyectos de energía renovable que, a su vez, depende de la aceptabilidad pública de esos proyectos. De allí que esta aceptabilidad de proyectos de energías renovables, en la medida en que las personas evalúan esos proyectos favorable o desfavorablemente, pueden retrasar o incluso cancelar el proyecto, de existir una fuerte resistencia pública.

Ahora bien, la integración temprana de las consideraciones de energía solar en la planificación y diseño urbano, es necesaria para garantizar que las ciudades futuras no solo consuman, sino que también produzcan energía localmente a través de la energía solar. Sin embargo, las estrategias para esta integración siguen siendo un desafío clave para los planificadores urbanos y los administradores de la ciudad.

Se pretende en este documento proponer un plan de proyecto para la generación de energía eléctrica a partir de paneles solares en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB de la ciudad de

Bucaramanga, minimizando los costos de energía y el impacto ambiental negativo de la entidad, a través de la revisión teórica de las tecnologías existentes para su costo, beneficio de instalación y uso, logrando diagnosticar la capacidad de generación de energía solar a partir del área disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB, optimizando la instalación de paneles solares de acuerdo a la geometría y porcentaje de energía a suplir.

En la primera parte del presente documento se encuentra el aspecto contextual de la investigación, seguido del planteamiento del problema, los objetivos y la descripción institucional. En una segunda parte se presenta la revisión técnica, el marco referencial, conceptual y estado del arte, para presentar el análisis de los interesados, con el análisis del problema. En una tercera parte se presenta el análisis de los objetivos y el análisis de las alternativas, terminando con los resultados y las conclusiones de la investigación.

1. Plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB.

A medida que aumenta la demanda de energía, muchas entidades del sector público buscan formas de satisfacer esta demanda con energía limpia, segura y rentable de fuentes renovables. Afortunadamente, el precio de la tecnología solar sigue bajando, lo que permite a los gobiernos centrales y locales descubrir nuevas formas de mejorar la eficiencia operativa y gestionar el consumo de energía. La transición energética está encaminada a cumplir con la legislación y la regulación, las cuales son dos herramientas principales que se utilizan para lograr objetivos de interés público. Un régimen legal proporciona las bases para que se lleven a cabo las transacciones comerciales (ONU, 2019).

La legislación puede ayudar a eliminar las barreras de carácter normativo, económicas y sociales, para las inversiones en nuevas tecnologías y las inversiones en sectores de mercados específicos. Puede proporcionar un marco para la propiedad y el financiamiento de mejoras de infraestructura y puede proporcionar incentivos para fomentar una mayor inversión y uso de bienes con beneficios de interés público. Las pautas legales y regulatorias claras contribuyen a un mercado estable y predecible dentro del cual la comunidad financiera, tanto nacional como internacional, se siente cómoda para invertir (DPN, 2022).

1.1 Planteamiento del problema/caso de negocio

Es imperativo comprender que las transformaciones geopolíticas generadas por el auge de las energías renovables y el declive de los combustibles fósiles no han dado espera, esto se debe a que existe un propósito para minimizar la contaminación y los efectos invernadero, lo cual conducirá a cambios estructurales fundamentales en las economías y la

sociedad. Es importante también destacar que el mundo de la transición hacia las energías renovables será muy diferente al basado en los combustibles fósiles, puesto que la transformación energética global puede generar un dividendo de paz, toda vez que el mundo se está alejando de los combustibles fósiles, que a menudo son un factor agravante en los conflictos armados dentro de los estados.

Por otra parte, estos cambios están inmersos en una nueva perspectiva global, la demanda mundial de energía, estimulada en gran medida por Asia; precisa de políticas climáticas “de arriba hacia abajo” que contribuyan a la descarbonización de la economía global; de la mano de tecnología ascendente y digitalización impulsada por el mercado que favorezca nuevos enfoques energéticos y también un sistema energético más descentralizado; junto con la innovación tecnológica que impulsa la industria energética tanto en el campo de las energías renovables y los vehículos bajos en carbono, como también en la producción no convencional de petróleo y gas.

Resulta fundamental recordar que, en el año 2015 se realizó un acuerdo climático mundial para reducir en dos grados Celsius en el presente siglo, el nivel de la temperatura mundial; por tanto, las energías renovables combinadas con la eficiencia energética son la respuesta para una solución climática viable. Entre tanto, con base en dicho acuerdo ambiental, se han creado estrategias que están desarrollando actualmente los diferentes países y bloques principales del mundo que argumentan por ejemplo que, Europa, al ser un significativo importador de energía, tiene un incentivo mucho mayor para impulsar políticas de descarbonización que brinden el beneficio colateral de una mayor seguridad energética en comparación con los Estados Unidos, que actualmente está experimentando un auge económico gracias a su revolución de petróleo y gas no convencional que, le permite no solo tener acceso a energía barata, sino incluso convertirse en un importante exportador de gas y

posiblemente en un exportador neto de petróleo. Al mismo tiempo, China con sus políticas impulsadas por el Estado, pero también Europa y Japón, están invirtiendo fuertemente en el desarrollo de nuevas tecnologías bajas en carbono que deberían proporcionarle una ventaja tecnológica y económica frente al desafío de la descarbonización, sin embargo, Rusia y los países exportadores de hidrocarburos del Medio Oriente, enfrentan retos en la transformación energética de sus economías, debido a la inercia de múltiples sistemas.

Por consiguiente, la transición energética de varios países, de energías de combustibles fósiles a energías limpias, es imperativa e ineludible, motivo por el cual necesariamente requiere que investiguen y experimenten fuentes no convencionales para la obtención de energía, como lo es sin lugar a dudas la solar. Es así, que la generación de energía basada en la fuente inagotable del sol es una forma importante de utilizar el recurso disponible diariamente, como componente principal del sistema de generación de energía conectado a la red. De esta manera, los inversores solares conectados a la red, completan el problema de seguimiento del punto de máxima potencia en la matriz fotovoltaica y transmiten energía eléctrica a la red a través de un conjunto de algoritmos de control. La energía eléctrica se transmite a la red a través del inversor, en consonancia con la energía solar (XiuFeng et al., 2022).

A la vez, las fuentes de energía renovable no convencionales (FNCR) son aquellos recursos energéticos disponibles a nivel mundial como biomasa, geotermia, hidroeléctrica, eólica, solar y energía marina. La energía del sol tiene varias ventajas, como su uso libre de contaminación, renovable e inagotable (Gonzales, 2015). Sin embargo, esta energía presenta algunas desventajas que incluyen la variabilidad, la baja potencia y los requisitos de alta tecnología. Estas desventajas conducen a la necesidad de utilizar equipos de gran superficie. Ahora bien, sabido es que la energía solar se puede transformar en electricidad, calor o se

puede utilizar para el secado y la destilación Pereira, et al (2020), sin embargo, la brecha entre la oferta y la demanda de energía es cada vez mayor, por lo que los precios de la energía también aumentan, lo que afecta gravemente el rápido desarrollo de la economía mundial. En tal sentido, resulta importante acotar que el desarrollo sostenible es el único camino para la supervivencia y el desarrollo humano. En este siglo, las nuevas energías y sobre todo las renovables, están jugando cada vez más roles y están siendo exponencialmente más importantes. Debido a esto, los recursos de ahorro de energía respetuosos con el medio ambiente, basados en el desarrollo de nuevas energías y energías renovables, han sido valorados por más y más países del mundo.

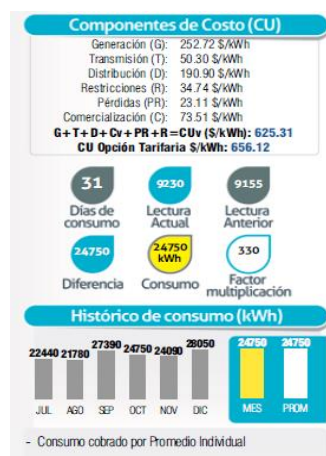
Es ese orden de ideas, el desarrollo de energías limpias es imprescindible para combatir el cambio climático y sus efectos. Hoy el llamado es a enfrentar el insostenible consumo energético de origen fósil y a concientizar sobre la necesidad de trabajar en conjunto para la creación, implementación y promoción de proyectos tendientes a la conservación del medioambiente y los recursos naturales.

Se entiende que la energía es fundamental para el crecimiento económico, la equidad social y la sostenibilidad ambiental, sin embargo, su uso irracional ha conllevado al aumento de las temperaturas del planeta, subidas del nivel del mar, pérdida de la biodiversidad, empeoramiento de la calidad del aire, cambios en los ecosistemas por la extracción de hidrocarburos, la emisión de CO₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera, ocasionando la contaminación de suelos y cuerpos de agua que afectan la propia existencia de la vida misma como la conocemos en este planeta.

Ante esto, la nueva ley de transición energética de Colombia, promulgada en julio de 2021, establece el compromiso del gobierno para lograr sus objetivos frente al cambio climático y lograr una matriz energética nacional neta cero. Los datos y el diálogo entre

múltiples partes interesadas serán clave para informar las vías de transición sostenible y monitorear los compromisos climáticos. Es así que el país, ha apostado por la protección del medio ambiente y la conservación de sus reservas naturales, con la reciente ley 2169 de diciembre 22 de 2021, la cual tiene por propósito determinar las metas y medidas mínimas para alcanzar la neutralidad de carbono, la resiliencia climática y el desarrollo bajo en carbono en el país en el corto, mediano y largo plazo, en el marco de los compromisos internacionales asumidos sobre la materia. Una de esas apuestas está contemplada en contribuir a la descarbonización que proviene de la electrificación de los consumos, reemplazando la electricidad producida a partir de fuentes fósiles, por la generada por fuentes renovables que, hace más limpios otros sectores como el transporte, la digitalización de las redes, entre otros, que mejora la eficiencia energética (CEPAL, 2021).

En este contexto, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, como autoridad ambiental creada por la (Ley 99, 1993), encargada de la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos en materia de ambiente, recursos naturales renovables y cambio climático, aplicando las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, debe ser consecuente con su naturaleza jurídica, puesto como se evidencia en el contenido de la figura 1, el consumo de energía eléctrica en promedio mensual, viene estableciéndose en aproximadamente veinticuatro mil setecientos cincuenta (24.750) vatios al mes, lo que indica que el costo de la energía eléctrica que pagó la entidad, se estimó en diecisiete millones ochocientos sesenta y dos mil pesos moneda corriente colombiana \$17.862.000, generando un promedio de dieciocho millones doscientos cincuenta mil pesos \$18.250.000 de consumo a nivel mensual, lo que evidencia el silogismo de la matriz, que señala que si el consumo de energía es mayor, si y solo si, el impacto ambiental negativo también lo es.

Figura 1. Consumo energético promedio

Funcionarios y visitantes que usan la red eléctrica: 495 personas en promedio por día hábil.

Horarios: lunes a viernes de 7:30 a.m. a 12 m. y 2:00 a 6:00 p.m.

Tiempo de uso de computadores de las oficinas: 6 horas diarias laborales.

En ese orden de ideas, la CDMB al carecer de generación propia de energía renovable no convencional, podría socavar sus propios objetivos ambientales, su influencia y su coherencia en la promoción de prácticas sostenibles, además de limitar sus oportunidades de ahorro en contravía de las necesidades de la lucha contra el cambio climático. Por tal razón, este trabajo de grado resulta de gran interés, por cuanto plantea un plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal en las terrazas del edificio central de la corporación, y de esta manera ser referente nacional en el uso de este tipo de energía.

2. Objetivos

En el presente apartado se describen los objetivos que orientan la investigación y los propósitos de los mismos, referente a lo esperado en su cumplimiento, los cuales se conforman por el objetivo general y específicos respectivamente.

2.1 Objetivo general

Proponer un plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, minimizando los costos de energía y generando un impacto ambiental favorable, basado en la metodología de marco lógico.

2.2 Objetivos específicos

Diagnosticar la capacidad de generación de energía solar fotovoltaica, a partir del área disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB, optimizando la instalación de paneles solares de acuerdo con la geometría y porcentaje de energía a suplir.

Determinar mediante la aplicación de la metodología de marco lógico la tecnología y costos asociados al proyecto, a partir del diagnóstico de la producción potencial de energía solar disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB.

Establecer la viabilidad del uso de paneles solares para la reducción de costo energético en el edificio principal de la CDMB en la ciudad de Bucaramanga, siguiendo la metodología de marco lógico.

3. Descripción institucional

En el presente apartado se presenta la descripción de la Corporación objeto de estudio, la cual es una entidad pública territorial que posee facultades de control ambiental, su importancia en el territorio y la región se deriva de la capacidad de seguimiento, control y vigilancia de todos los permisos y licencias ambientales otorgados, la protección de especies y hábitats, así como la sanción y multas por infracciones y/o afectaciones ambientales suscitadas en el área de jurisdicción.

De acuerdo a la resolución 1890 de 2006, (CDMB, 2006): La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB, es la entidad ambiental comisionada para la realización de políticas, planes, programas y proyectos sobre el medio ambiente y la preservación de los recursos naturales en su jurisdicción, según lo dispuesto en la Ley 99 de 1993: “Por la cual se crea el ministerio del medio ambiente y desarrollo sostenible, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones (p 1).

Tiene por objeto:

La Corporación autónoma regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, tiene por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (CDMB, 2021, p. 3).

El área de influencia de la CDMB está integrada por los siguientes trece (13) municipios del nororiente de Santander: Bucaramanga (sede principal), Floridablanca, Girón, Piedecuesta, Vetas, California, Suratá, Matanza, Charta, Tona, El Playón, Rionegro y Lebrija.

Tiene como misión y visión (CDMB, 2021)

Misión

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB, es un ente corporativo de carácter público, creada por ley, encargada de la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos en materia de ambiente,

recursos naturales renovables y cambio climático, aplicando las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento (p 1).

Visión

En el año 2031, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, será una entidad de referencia por su gestión ambiental eficiente y eficaz en su jurisdicción, contribuyendo a la protección de la vida de hoy y garantizando la del mañana (p 1).

Su estructura organizacional es vertical como esta publicada en su página oficial:

Figura 2 Estructura organizacional – CDMB



El sector por impactar corresponde al de ambiente y desarrollo sostenible, toda vez que la CDMB necesita el desarrollo de proyectos orientados a mitigar el cambio climático generado por el alto consumo de formas de energía provenientes de combustibles fósiles que, incrementan los gases de efecto invernadero, factor determinante en el calentamiento global el cual conlleva la afectación de flora y fauna del territorio. El desarrollo de un sistema propio de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables le permitirá a la Corporación

hacer parte de las entidades que van acorde a la reciente ley 2169 del 22 de diciembre de 2021 de acción climática, cuyo objeto es establecer metas y medidas mínimas para alcanzar la carbono neutralidad, la resiliencia climática y el desarrollo bajo en carbono en el país en el corto, mediano y largo plazo, en el marco de los compromisos internacionales asumidos por Colombia sobre la materia.

4. Marco referencial

Las principales fuentes de generación de energía en el mundo son los combustibles fósiles como son el gas, petróleo, carbón y las centrales nucleares. Debido al uso de este tipo de combustibles, se producen los gases de efecto invernadero, pero principalmente los que van emitidos a la atmósfera, que son específicamente los que se producen en la planta de energía nuclear, el carbono se libera en una pequeña cantidad 0,01 gramos equivalentes de dióxido de carbono por kilovatio hora. Los desechos radiactivos permanecen activos durante mil años, lo que es una fuente potencial de contaminación ambiental (Chamorro y Lozano, 2021).

Por lo anterior, en los apartados siguientes, se presentan los marcos que pertenecen a la revisión documental y conceptual que conforman los constructos teóricos de la energía eléctrica a partir de paneles solares, teniendo en cuenta la transición energética que rige los objetivos mundiales.

4.1 Marco conceptual

En este apartado, se presenta un recopilación de conceptos importantes para la investigación, teniendo en cuenta que su propósito es propiciar una contextualización acerca de las energías renovables no convencionales que provienen de recursos naturales que son

inagotables o con capacidad de renovación, tales como la energía geotérmica, eólica, hidroeléctrica, biomasa, mareomotriz, osmótica, energía de los mares y a partir de residuos, así como en el caso que nos ocupa, la energía solar fotovoltaica. Es importante indicar que, esta última, se genera a partir de la luz del sol mediante un semiconductor denominado célula fotovoltaica, tipo de energía que se considera no contaminante, debido a que no produce emisiones de gases de efecto invernadero, ni produce ningún daño al medio ambiente. Se estima que la energía solar fotovoltaica reducirá las emisiones de gases de efecto invernadero en un 30% para el año 2050.

Por otro lado, es preciso mencionar que el efecto fotovoltaico fue descubierto por el parisino Alexandre Edmond Becquerel en 1838, quien, con su hallazgo, marcó el comienzo de la historia de la energía solar fotovoltaica. Los científicos Gerald Pearson, Daryl Chapin y Calvin Fuller desarrollaron la primera célula solar de silicio capaz de producir electricidad en 1954, lo que permitió ser utilizada a una escala comercial. Desde entonces, las células solares se han vuelto más eficientes y se han desarrollado nuevas tecnologías para aprovechar la energía solar, convirtiéndose en una fuente de energía cada vez más importante para la humanidad, debido a que no ocasiona efectos negativos sobre el entorno y que de causarlos, son sustancialmente menores a los producidos por las energías no renovables.

En este orden de ideas y una vez revisada la naturaleza jurídica de la entidad donde se propone desarrollar la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica, es necesario señalar que, por ser un órgano autónomo e independiente de carácter público creado por la Ley 99 de 1993, le corresponde ineludiblemente acogerse a los lineamientos y directrices que para tales efectos ha establecido la entidad rectora para el desarrollo de este tipo de proyectos, como lo es el Departamento Nacional de Planeación – DNP- que mediante la resolución No. 1450 de 2013, adopta la metodología para la formulación y evaluación

previa de proyectos de inversión susceptibles de ser financiados con recursos del presupuesto general de nación y de los presupuestos territoriales, basados en los conceptos y herramientas provenientes de la metodología de marco lógico como única para todos los bancos de programas y proyectos de inversión pública, poniendo a disposición las siguientes plataformas: Metodología General Ajustada - MGA, para realizar la formulación y evaluación –ex ante de proyectos de inversión; Sistema Unificado de Inversiones y Finanzas Públicas – SUIFP, donde se registran y actualizan los componentes de la cadena de valor de los proyectos de inversión pública; y Sistema de Seguimiento a Proyectos de Inversión – SPI, en el que se registra el avance físico, financiero y de gestión de los proyectos de inversión pública.

Los criterios de inclusión estuvieron enfocados en presentar investigaciones sobre las nuevas tecnologías solares relacionadas con los paneles fotovoltaicos y otros sistemas de generación de electricidad, como solución a los problemas ambientales de la transición energética.

Los criterios de exclusión estuvieron sujetos a todas las publicaciones que no estuvieron relacionadas con las nuevas energías renovables o alternativas diferentes al tema de la investigación propuesto.

4.2 Estado del arte

En la construcción de este apartado se presenta el análisis de los diferentes documentos académicos consultados, sobre la implementación de energía fotovoltaica a través de paneles solares como alternativa de solución para abastecer de electricidad a edificios de entidades públicas. En la mayoría de los escritos se establece que en el territorio nacional se cuenta con un alto recurso solar, lo cual hace que estos proyectos sean viables,

propiciando beneficios sociales y ambientales, como se ve expresado en las siguientes investigaciones:

4.2.1 Internacional

Arencibia (2016) en su investigación acerca de la energía solar, buscaba describir la importancia de este tipo de energía, mostrando los aspectos técnicos del ahorro energético y la austeridad en el consumo de combustible para la generación de electricidad, mostrando las alternativas para optimizar los sistemas de alumbrados a través de paneles solares. En los apartes internos del documento se muestra la descripción de las celdas fotovoltaicas y su funcionamiento, de igual manera describe como en Cuba, por ejemplo, desde 1994 se fundó la sociedad cubana para la promoción de las fuentes renovables de energía, motivando que desde la investigación puede acelerarse la aplicación de estos temas.

Un documento presentado por (Celadyn y Pawel, 2020), describe una investigación sobre el uso efectivo de módulos fotovoltaicos en arquitectura, el objetivo del documento fue presentar una revisión ante la ausencia de publicaciones específicas, describiendo la problemática urbana a gran escala, hasta llegar a la escala de las formas y los componentes de los edificios. Se consideran diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos (FV), en función de su eficiencia, relaciones con los tejidos de los edificios, potencial para la protección térmica de los edificios y su impacto en los valores estéticos. La atención se centró principalmente en los módulos fotovoltaicos más populares, teniendo en cuenta los lineamiento en política pública de Polonia. La aplicación de estos sistemas requiere análisis profundos que deben ser llevados a cabo por los diseñadores en la etapa inicial y durante las siguientes etapas del diseño. Un método para analizar las regulaciones del plan de zonificación y la planificación

del sitio en vista de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos es novedoso. La aplicación de sistemas fotovoltaicos se está convirtiendo en una característica dominante en los edificios contemporáneos.

Fuglestad (2021) en su investigación sobre energía fotovoltaica en edificios de Noruega, su objetivo estuvo enmarcado en describir las condiciones energéticas del país, en el marco del análisis de los desafíos y estándares relacionados con energía fotovoltaica integrada en edificios o sus siglas en inglés - BIPV en Noruega. La BIPV es una tecnología en evolución y la tesis mostró cómo puede volverse más convencional.

Otra investigación, realizada por Middelhaue et al., 2021, referente al potencial de paneles fotovoltaicos en envolventes de edificios para sistemas de energía distritales descentralizados, tuvo como propósito combinar un modelado relativamente detallado del potencial de generación fotovoltaica en la envolvente del edificio, manteniendo el enfoque de optimización del sistema de energía. El enfoque propuesto se aplicó a un distrito residencial típico en Suiza, cuyos resultados de la aplicación del método propuesto mostraron que el distrito puede lograr la neutralidad en carbono basándose únicamente en la energía fotovoltaica. De igual forma, los autores propusieron que para lograr la autosuficiencia a escala de distrito es un desafío: se puede lograr cubriendo aproximadamente del 42 al 100 % de la superficie disponible cuando la eficiencia de ida y vuelta disminuye del 100 al 50 %. Los resultados subrayaron la importancia del almacenamiento para lograr la autosuficiencia, incluso con una eficiencia de ida y vuelta del 100% para el almacenamiento, se requieren capacidades muy grandes, sin embargo, la reducción de la demanda de energía a través de la renovación permitiría alcanzar la autosuficiencia con la mitad de la capacidad fotovoltaica y de almacenamiento requerida.

Con base en lo anterior, se puede inferir que el uso y aprovechamiento de nuevas fuentes de energías renovables orientadas a implementar el sistema fotovoltaico, ha estado en desarrollo en los últimos veinte años, esto como consecuencia del impacto antrópico sobre los ecosistemas y el medio ambiente.

España y Alemania han generado iniciativas para el fomento de energía renovable a partir de paneles solares, sus resultados han sido exitosos al sustituir un porcentaje importante de la generación energética (Pacheco, 2018). De acuerdo a la European Photovoltaic Industry Association (2018) los paneles fotovoltaicos a nivel mundial se encuentran en estos países, con un 52%, seguidos por Japón con un 9% y Estados Unidos con un 6,8%.

De acuerdo a las investigaciones relacionadas en este apartado, se destaca que las tecnologías de energía solar y las centrales eléctricas no producen contaminación del aire ni gases de efecto invernadero cuando están en funcionamiento. El uso de la energía solar puede tener un efecto indirecto positivo en el medio ambiente, cuando la energía solar reemplaza o reduce el uso de otras fuentes de energía que tienen efectos mayores en los recursos naturales, sin embargo, existen problemas ambientales relacionados con la producción y el uso de tecnologías de energía solar.

4.2.2 Nacional

En términos regionales, en América Latina hay países que se han ubicado dentro de los pioneros en el desarrollo de macro proyectos para la instalación de plantas fotovoltaicas con potencias especiales, uno de esos casos es Ecuador, con 998 MW, representado a través del parque fotovoltaico en Tacna, de igual forma Perú con 20 MW con su planta en Sonora, otro país México con 650 MW (Castellanos, 2018).

En Colombia, (Gaitán y Vargas, 2019), realizaron una investigación sobre la propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico en proyectos de vivienda de interés social en Cundinamarca, sus resultados establecieron que la radiación solar en la zona es variada y se condiciona sobre factores meteorológicos como la nubosidad, la inclinación, la posición geográfica, la humedad y demás características que pueden influir en los datos.

Entre tanto, (Castro, 2021), realizó una investigación sobre la evaluación para proyectos de implementación de sistemas solares fotovoltaicos en la infraestructura gubernamental de Sabana Centro. La autora identificó y seleccionó los factores legales, técnicos y financieros que deben ser considerados en su implementación para realizar la evaluación financiera, a través de una herramienta que permite conocer el dimensionamiento estimado del sistema, el valor estimado de la inversión y el tiempo de retorno de la inversión.

Las investigaciones presentadas tienen relevancia en el proyecto propuesto en relación con el uso de las tecnologías de energía solar, las cuales requieren el uso de materiales, como metales y vidrio, cuya fabricación requiere mucha energía. Los problemas ambientales relacionados con la producción de estos materiales podrían asociarse con los sistemas de energía solar cuando se realiza el ciclo de vida o el llamado análisis ambiental de la cuna a la tumba. Los estudios realizados por una serie de organizaciones e investigadores han concluido que los sistemas fotovoltaicos pueden producir la cantidad equivalente de energía que se utilizó para fabricar los sistemas dentro de 1 a 4 años. La mayoría de los sistemas fotovoltaicos tienen vidas operativas de hasta 20 años o más.

4.2.3 Local

Muñoz y Acebedo (2019), evaluaron el potencial solar de Santander por medio de una distribución nodal a través de la construcción de una malla, estableciendo los municipios con mayor potencial y calculando los factores que determinan el rendimiento de un sistema solar fotovoltaico.

Espitia (2017) diseñó una guía metodológica para la implementación de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala en Colombia, con el fin de estimar la producción de energía con base en las especificaciones del sitio, incluyendo irradiación solar, ángulo de inclinación y orientación entre otras.

Ríatiga (2016) en su investigación sobre aprovechamiento energético de los residuos sólidos y radiación solar en el colegio Técnico Vicente Azuero de Floridablanca, su objetivo estuvo enmarcado en analizar la viabilidad económica y ambiental de producción de energía mediante un biodigestor para generar biogás y abono orgánico a partir de los desechos orgánicos del restaurante escolar y el uso de la radiación solar.

La relevancia de las investigaciones consultadas coincide en que uno de los principales beneficios incluye la reducción de los costos en las facturas de servicios públicos, disminución de la huella de carbono y reducción de la dependencia de energía convencionales. Adicional a ello, la energía solar ha creado puestos de trabajo para muchas personas en todo el mundo y apoya a familias en comunidad, lo que beneficia las economías locales, evidenciando el aumento de la ocupación laboral desde la investigación hasta la instalación.

4.3 Marco normativo

La construcción de este apartado tiene fundamento normativo en cuanto a las leyes y decretos, convenios y acuerdos que se hayan suscitado y firmado para la protección, manejo y adopción de sistemas de energías alternativas que les permitan a las comunidades minimizar el efecto invernadero de los consumos energéticos convencionales a que haya lugar.

Acuerdo de París de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC), tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante, orientado a que todos los países tengan una causa común para emprender esfuerzos ambiciosos para combatir el cambio climático y sus efectos, con un mayor apoyo a los países en desarrollo.

(Constitucion Politica de Colombia, 1991), establece en el artículo 80:

El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (...)", en el artículo 339 "(...) Las entidades territoriales elaborarán y adoptarán de manera concertada entre ellas y el gobierno nacional, planes de desarrollo, con el objeto de asegurar el uso eficiente de sus recursos y el desempeño adecuado de las funciones que les hayan sido asignadas por la Constitución y la ley" y en el artículo 365 "(...) Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley (...). En todo caso, el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios (...) (p 93).

La (Ley 143, 1994) establece:

El régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, que en lo sucesivo se denominarán actividades del

sector, en concordancia con las funciones constitucionales y legales que le corresponden al Ministerio de Minas y Energía (p 1)

La (Ley 697, 2001) reglamentada por el decreto nacional 3683 de 2003, impulsa el uso racional y eficiente de la energía, se motiva la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

La (Ley 1715 , 2014) normaliza la composición de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, para emprender el desarrollo y manejo de las mismas, con el propósito de dominar las emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar la seguridad en el abastecimiento energético.

La (Ley 2099 , 2021) cuyo objeto es:

Modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales de energía, la reactivación económica del país y, en general, dictar normas para el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible (p 2).

La (Ley 2169 , 2021), establece:

Metas y medidas mínimas para alcanzar el carbono neutralidad, la resiliencia climática y el desarrollo bajo en carbono en el país en el corto, mediano y largo plazo, en el marco de los compromisos internacionales asumidos por Colombia sobre la materia (p 1).

4.4 Marco teórico

La construcción de este aparte es fundamental para toda investigación, máxime que en él se reúne y sintetiza la teoría que permite, ineludiblemente, la relevancia de los temas

propuestos para ser analizados, puesto que de allí se discute la pertinencia de adoptar sistemas alternativos de energía.

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos que enfrenta el planeta y amenaza el futuro de la seguridad económica y socioeconómica. La transición lejos de los combustibles fósiles será una característica importante en cualquier plan de mitigación del cambio climático, así como el consumo de energía residencial muestra un gran potencial para reducir el uso de combustibles fósiles (Damette, et al, 2017). A los investigadores les ha resultado difícil separar el consumo de energía de los edificios, del consumo agregado, pero se estima que hasta el 40 % del uso de energía global puede atribuirse a la iluminación, la calefacción y la refrigeración de los edificios.

Existe un amplio consenso en que una transición energética baja en carbono, es imperativa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático (Hal & Orvis, 2018). El mejor camino a seguir es menos claro, con expertos que proponen todo, incluyendo solar, nuclear, eólica, biomasa, geotérmica y “todas las anteriores” como soluciones finales (IAEA, 2022). Los gobiernos locales y las corporaciones privadas también encuentran que la energía limpia y sostenible es fundamental para sus electores y clientes.

De acuerdo a la (EZOIC, 2019):

La energía solar, es un tipo de energía renovable, que trata de aprovechar todo el sistema de radiación del sol, pues la energía contenida en el sol es tan abundante que se considera inagotable. El Sol lleva 5 mil millones de años emitiendo radiación solar y se calcula que todavía no ha llegado al 50% de su existencia (p 2).

4.4.1 Fuentes alternativas de energía

A medida que la demanda de energía aumenta con el tiempo en muchos lugares, los países de todo el mundo y los gobiernos locales diversifican la inversión en una variedad de fuentes de energía para satisfacer la demanda.

Los combustibles fósiles, como el petróleo y el gas natural, son fuentes de energía confiables, pero no son sostenibles y causan daños significativos e irreversibles al medio ambiente a largo plazo, además de sus daños inmediatos, como las emisiones de polvo fino debido a la quema de petróleo y las emisiones de mercurio causadas por combustión de carbón. Las alternativas de energía renovable, como la solar y la eólica, están ampliamente disponibles y pueden explorarse para satisfacer parte de la demanda. Además, mejorar la eficiencia energética de las aplicaciones existentes, es una forma rentable de ayudar a satisfacer la demanda, sin un aumento significativo en la producción de energía.

El desarrollo de energías alternativas a los combustibles fósiles, enfrenta una serie de desafíos. En primer lugar, existen varias alternativas disponibles como la nuclear, la biomasa, la solar, la eólica y la hidroeléctrica. Un municipio tiene recursos limitados y no puede invertir en todas las alternativas simultáneamente y por igual (Carli et al., 2018). Es difícil predecir qué alternativas energéticas serán más beneficiosas a largo plazo y determinar en qué alternativas se debe invertir el monto de la inversión. En segundo lugar, el desarrollo de alternativas energéticas depende de muchos factores, como las condiciones geográficas, la población, las necesidades sociales y la política. Una alternativa de energía que se adapta bien a una ciudad, puede ser la peor opción para otra ciudad. En tercer lugar, existen muchos criterios, como el costo y la seguridad, que dictan la selección de alternativas energéticas. Es necesario analizar qué criterios deben incluirse en el proceso de decisión para comparar alternativas energéticas y cómo sopesar los diferentes criterios.

La energía hidroeléctrica es la tecnología de energía renovable líder en la mayoría de las regiones. Sin embargo, en los próximos años, las energías solar y eólica serán los tipos de energía alternativa preferidos. En 2018, muchos países invirtieron en proyectos de energía renovable, y China, dispuso la cantidad más importante, habiendo invertido en proyectos de casi 696 gigavatios. A China le siguen países como Estados Unidos, Brasil, Alemania e India. China, domina la industria en tres tecnologías, a saber, energía eólica, hidroeléctrica y solar. Brasil, por su parte, tiene la mayor capacidad instalada de bioenergía, mientras que Estados Unidos es el país líder en tecnología geotérmica (Hanna y McGuigan, 2016).

4.4.2 Recursos de radiación solar en Colombia

La preocupación mundial actualmente se centra en las estrategias para mitigar el cambio climático y sus efectos, las cuales están enmarcadas en la forma en que los países generan, transportan y consumen sus recursos energéticos, habida consideración a que el sector produce una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (ONU, 2022), verbi gracia, la demanda de energía que aumentó aproximadamente un 5% por año, en los países en desarrollo como Colombia.

La ineficacia de las megas centrales hidroeléctricas para satisfacer las necesidades de las ciudades en tiempos de escasez de energía, ha centrado varios estudios sobre la evaluación del recurso eólico como suministro energético, bajo criterios de viabilidad económica para la toma de decisiones en los mercados eléctricos (CODS, 2019). Considerando los principios que inciden en el impacto variable sobre el desarrollo del sector eléctrico, a través de modelos de inversión que garanticen la viabilidad de los proyectos, y los múltiples factores que introducen incertidumbre en el cálculo para estimar la generación de energía a partir de

recursos eólicos y solares, permite afrontar nuevos retos energéticos que consienten controlar las limitaciones de los métodos tradicionales de valoración de inversiones en el sector eléctrico, adaptándose así al cambio ambiental (UPME, 2019), explorando métodos reales en los que se consideran los intangibles y la flexibilidad operativa, como elementos que pueden alterar la decisión de llevar a cabo un proyecto de energía renovable ofreciendo renovabilidad y limpieza, como dos ventajas frente a la energía convencional.

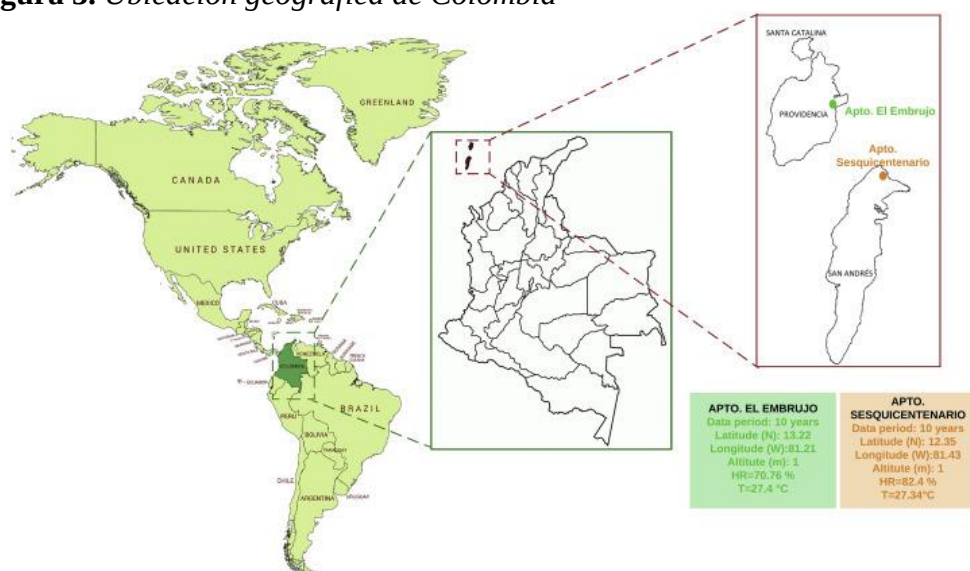
Colombia, país ubicado en América del Sur, cuenta con una excelente ubicación geográfica para el uso, desarrollo y generalización de tecnologías asociadas a las energías renovables. Por ejemplo, la alta tasa de radiación solar en muchas regiones, significa que el país tiene un gran potencial para utilizar la energía solar. Sin embargo, la realidad es bastante diferente, toda vez que presenta un importante déficit en el desarrollo de este sector (Celsia, 2021).

En Colombia, la región Caribe es considerada actualmente una de las mayores fuentes de potencial eólico y solar a nivel nacional, debido al avance que ha tenido esta región en las últimas décadas en cuanto a la implementación de fuentes de energía renovables considerando la creciente importancia que la energía solar y eólica han ido adquiriendo en la matriz energética nacional y mundial. Esto ha despertado el interés de diferentes sectores enfocados en desarrollar proyectos que permitan al país aprovechar al máximo sus recursos energéticos, convirtiendo al Caribe colombiano en un sector atractivo para inversionistas locales y extranjeros (Buendía, 2014).

Colombia cuenta con quinientas cincuenta estaciones satelitales automatizadas y digitales, en diferentes puntos de cálculo de variables atmosféricas situadas a lo largo del país, de las cuales el 13% realizan mediciones directas, 69% mediciones rutinarias de las horas solares promedio y el 18% restante, se dedican a realizar mediciones de humedad

relativa y temperatura. En el caso de la radiación solar, a nivel país, se recolecta información de todas las estaciones meteorológicas y en el caso del brillo solar, se recolectan datos de 479 estaciones. La UPME ha establecido niveles promedios mensuales y anuales de radiación e irradiancia desde 1981; estos valores se expresan en kilovatios-hora por metro cuadrado (kWh/m²) (UPME, 2019).

Figura 3. *Ubicación geográfica de Colombia*



Nota: ubicación geográfica del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Tomado de (Sanandres, 2021).

De acuerdo con (Gómez et al., 2018), las condiciones naturales en Colombia son favorables para la generación de energía eléctrica mediante sistemas solares fotovoltaicos, en razón a los niveles de radiación durante todo el año, los cuales se consideran convenientes. La mayoría de las ZNI del país, tienen un recurso de irradiación solar promedio de 194 W/m² y una radiación solar promedio diaria de 4,5 kWh/m². Estos valores superan el promedio mundial de 3,9 kWh/m² por día. Con base en ello, Colombia, aunque lejos de los países que mejor aprovechan la energía solar, ha avanzado en cuanto a la implementación de proyectos

de energías renovables en los últimos diez años, especialmente sobre el servicio y aprovechamiento de la energía solar, según un estudio presentado por UPME al 30 de septiembre de 2020.

4.4.3 *Desarrollo sustentable*

El desarrollo sostenible puede definirse como un enfoque para el desarrollo económico de un país sin comprometer la calidad del medio ambiente para las generaciones futuras. En nombre del desarrollo económico, el precio del daño ambiental se paga en forma de degradación de la tierra, erosión del suelo, contaminación del aire y del agua, deforestación, etc. Este daño puede superar las ventajas de tener una mayor calidad de productos y servicios.

Otra definición del desarrollo sostenible se observa como la interacción mutuamente beneficiosa entre el interés legal de un negocio y la economía, el gobierno y la política, la sociedad civil y la cultura. Sin embargo, estas interacciones sociales no existen solas, por tanto, en el lado físico y material, la sociedad está obligada por la capacidad de carga de varios ecosistemas, ecología del paisaje y finalmente, la biósfera de la tierra o la naturaleza. En el lado espiritual y psicológico, la diferenciación funcional de la sociedad es inspeccionada por la capacidad de cuidado de un individuo. Por lo tanto, podemos decir que el desarrollo sostenible es un concepto multidimensional, que involucra no menos de cuatro dimensiones (CEPAL, 2021).

5. Análisis de interesados-involucrados

En este apartado se expresa la relación de todas las personas, empresas o instituciones que pueden interferir directa o indirectamente en el desarrollo del proyecto y que sus intereses pueden afectar de manera positiva o negativa el mismo, para esto es necesario investigar sus roles, posición (cooperante, beneficiario, oponente, perjudicado), intereses, entre otros.

En ese orden de ideas, por ser la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, la institución en la que se desarrollarán las actividades para la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica, es preciso indicar que se configura como el principal stakeholder del proyecto, en razón a su naturaleza jurídica como autoridad ambiental en su área de jurisdicción, toda vez que de acuerdo con su misión, es la encargada de la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos en materia de ambiente, recursos naturales renovables y cambio climático, aplicando las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento.

5.1 Población afectada y objetivo

La población objetivo para este proyecto son los funcionarios de planta, contratistas y clientes externos que permanecen en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, ubicado en la capital del departamento de Santander, donde se estima que en promedio existe un tránsito de 495 personas por día hábil, para la atención de usuarios.

Tabla 1 *Mapa de involucrados*

Interesado	Importancia para el proyecto (Alta – Media - Baja)	Importancia para la operación del programa Escala 1 a 3	Fuerza para defender intereses Escala 1 a 3	Posición Escala 1 a 3	Población aliada, adversa o neutra
Director General	Alta	3	3	9	Aliada
Subdirector Administrativo y Financiero	Alta	3	3	9	Aliada
Coordinador de Recursos Físicos	Alta	3	2	6	Aliada
Jefe oficina Asesora de Direccionamiento Estratégico	Media	2	2	4	Neutra
Jefe oficina de Contratación	Media	3	1	3	Neutra
Director Técnico de Cambio Climático MADS	Media	1	3	3	Aliada
Viceministro de Energía	Media	1	3	3	Alidada
Proveedores de celdas fotovoltaicas	Baja	2	1	2	Neutra
Habitantes de la ciudad de Bucaramanga	Baja	1	2	2	Neutra
Funcionarios y contratistas de la CDMB	Baja	2	1	2	Neutra
Empresa de servicios públicos - ESSA	Media	3	1	3	Adversa

Figura 4. Matriz de los interesados – poder de intervención



Adaptado de (PMI, 2020).

Tabla 2. Matriz de poder de Intervención de los diferentes actores (partiendo de los resultados de la Tabla 1)

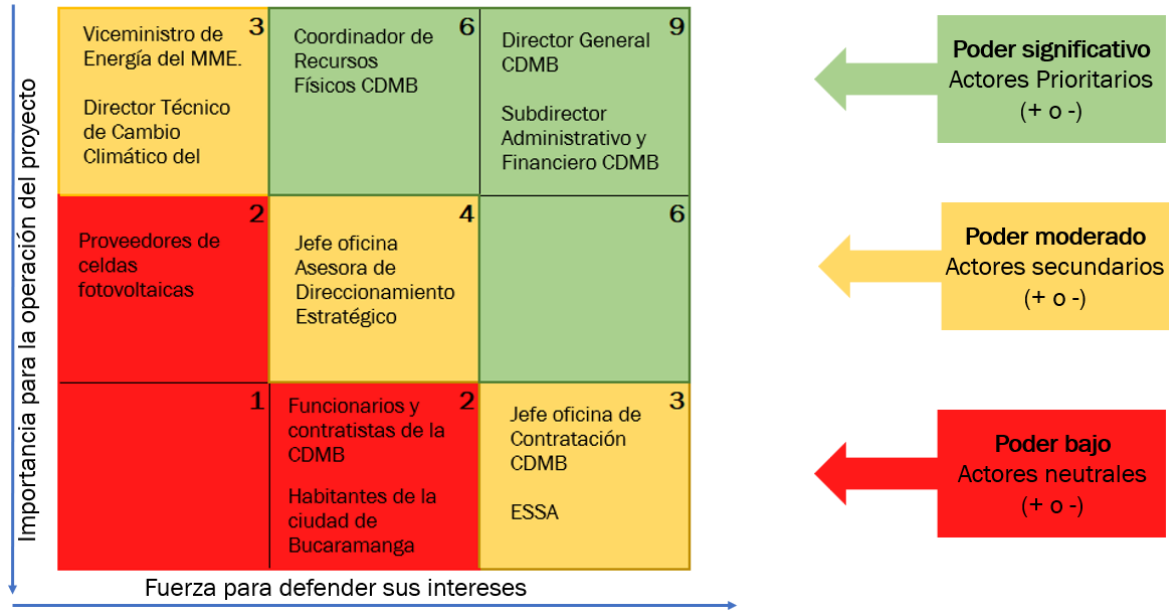


Tabla 3. *Matriz de interesados*

Interesado	Intereses	Método de comunicación	Relaciones
Director General	Desarrollar las políticas nacionales de medio ambiente y cumplir con las leyes, reglamentos y estatutos que le son exigibles.	Fundamental – directa	Responsable de ejecutar el presupuesto para el proyecto.
Subdirector Administrativo y Financiero	Formular políticas y estrategias para el suministro efectivo de los recursos financieros, físicos, servicios básicos y de mantenimiento.	Fundamental directa	Identifica la necesidad, elabora el requerimiento técnico y estudio de mercado.
Coordinador de Recursos Físicos	Asegurar que los recursos físicos sean utilizados de manera eficiente y que se cumplan los estándares de calidad y seguridad.	Directa	Vigilancia y supervisión en la ejecución del proyecto.
Jefe oficina Asesora de Direccionamiento Estratégico	Liderar el direccionamiento estratégico y los procesos de planeación de mediano y largo plazo de la entidad.	Directa	Acompañar el desarrollo del proyecto durante su planeación, ejecución y evaluación.
Jefe oficina de Contratación	Garantizar y responder por la ejecución del proceso contractual en todas sus etapas.	Directa	Definir la modalidad de contratación, seleccionar el proveedor y dirimir las modificaciones o incumplimientos del contrato.
Director Técnico de Cambio Climático del MADS	Liderar las políticas y acciones relacionadas con el cambio climático y la gestión del riesgo en el país.	Directa	Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia, a través de la promoción de energías renovables y la mejora de la eficiencia energética.
Viceministro de Energía	Promover la diversificación de la matriz energética del	Directa	Colaboración en la modernización tecnológica de los

Interesado	Intereses	Método de comunicación	Relaciones
	país, fomentando el uso de fuentes de energía renovable y sostenible, como la energía solar, eólica e hidroeléctrica.		sistemas de producción y consumo de energía, y la promoción de prácticas de uso responsable y eficiente de la energía.
Proveedores de celdas fotovoltaicas	Conocedores de los conceptos y requerimientos	Fundamental directa.	Cotizantes de los costos - beneficios del proyecto.
Habitantes de la ciudad de Bucaramanga	Veedores del proyecto	Indirecta	Beneficiarios de un plan que ahorra y minimiza el consumo energético y la contaminación en la entidad ambiental de la región.
Empresa de servicios públicos - ESSA	Contribuir a la diversificación de la matriz energética y a la transición hacia una energía más limpia y sostenible.	Indirecta	Evalúa los aspectos técnicos, regulatorios y operativos, para asegurar una integración exitosa de la energía solar en la red eléctrica.
Funcionarios y contratistas de la CDMB	Hacer parte integral de un cambio positivo en la adopción de prácticas energéticamente eficientes en el trabajo diario.	Directa	Participar en el cambio de la cultura energética de la CDMB, promoviendo la sostenibilidad y el éxito a largo plazo del sistema solar fotovoltaico.

Es preciso establecer que todas las personas designadas del proyecto, los distintos proveedores, las personas nombradas para recibir el proyecto en sus diferentes fases y los líderes del proyecto que son afectados positivamente o negativamente componen los involucrados en esta propuesta.

6. Análisis del problema

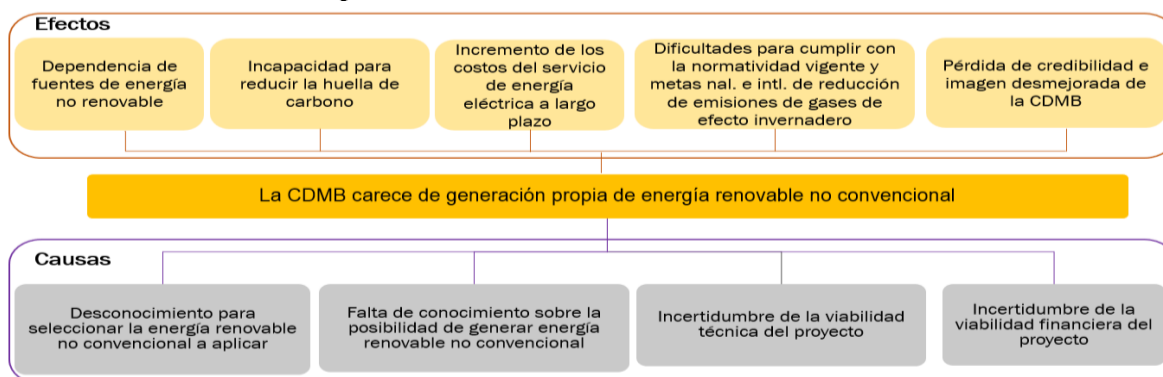
Examinar los problemas de investigación ayuda a identificar los conceptos y términos claves de la misma. Un problema de investigación debe ser lo suficientemente claro, sucinto y delimitado, para guiar el proceso y ayudar a la definición de los fines, objetivos, propósitos, medios, métodos, componentes y/o y resultados del proyecto. Establecer claramente el, o los problemas, es la base de cualquier proyecto de investigación, en donde indefectiblemente se requiere que el problema esté bien enunciado, para que cualquier estudio tenga éxito.

Así las cosas, al ser la Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga -CDMB-, la autoridad ambiental en su área de jurisdicción, integrada por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta, Vetás, California, Suratá, Matanza, Charta, Tona, El Playón, Rionegro y Lebrija, de conformidad con la ley 2099 de transición energética de Colombia, promulgada en julio de 2021, mediante la cual el gobierno adquiere el compromiso de alcanzar sus objetivos de cambio climático y lograr una matriz energética nacional neta cero, junto con la expedición de la ley 2169 de diciembre 22 de 2021 que estableció metas y medidas mínimas para alcanzar la neutralidad de carbono, la resiliencia climática y el desarrollo bajo en carbono en el país en el corto, mediano y largo plazo, dejó en evidencia que esta entidad ha sido inferior a las expectativas y desafíos propuestos, toda vez que viene incumpliendo la materialización de las directrices impartidas en las normas en comento, pues aún mantiene el consumo de energía eléctrica convencional, generando gastos promedio de dieciocho millones de pesos mensuales, siendo inconsecuente con su naturaleza jurídica y misional, habida consideración a que precisamente estos órganos autónomos e independientes en el país, conocidos como las Corporaciones Autónomas Regionales - CAR - son las instituciones a quienes les corresponde la ejecución de las

políticas, planes, programas y proyectos en materia de ambiente, recursos naturales renovables y cambio climático.

De igual forma, la limitación en la entidad de recursos de talento humano, tecnológicos, financieros, de infraestructura, entre otros, aunado a la ausencia de incentivos por parte del gobierno nacional para desarrollar proyectos de eficiencia energética y generación de energías renovables no convencionales, así como los altos costos asociados, han postergado la concretización de este tipo de alternativas sostenibles para la preservación del medio ambiente. Además, existe un débil esquema institucional y escasas iniciativas para el desarrollo y uso de energías limpias, factor que impide una mayor cobertura en el sistema, toda vez que esto disminuye la gestión pública para la provisión de soluciones que, por ende, reduce la productividad de las tareas realizadas por la población objetivo, puesto que la disminución en las horas de trabajo para evitar el consumo no justifica el costo – beneficio para la iniciativa de minimizar el costo energético. Por tanto, se presenta una propuesta para la generación de energía limpia y renovable mediante la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico, con la instalación de paneles solares en las terrazas del edificio principal de la corporación, ubicado en la ciudad de Bucaramanga.

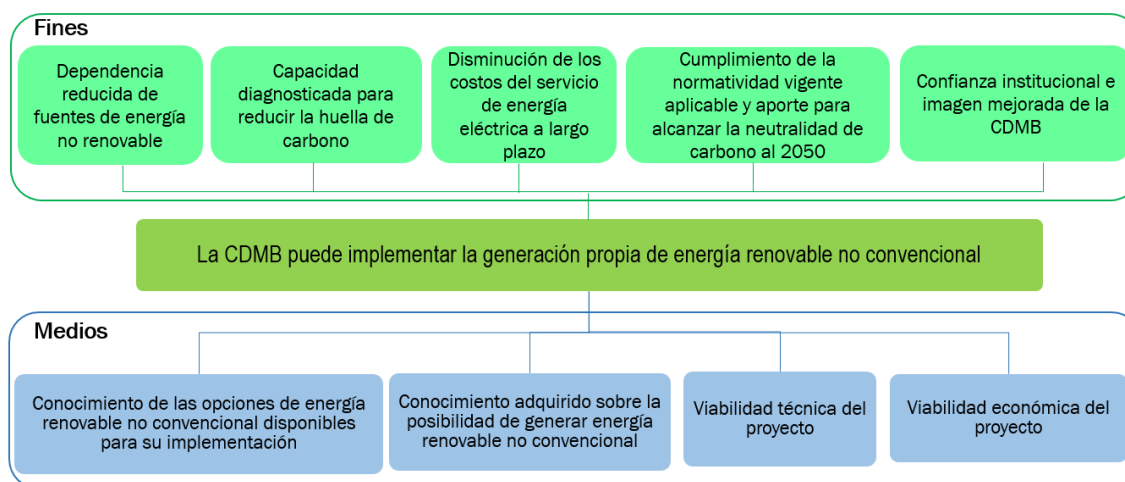
6.1 Modelo Árbol de problemas



7. Análisis de objetivos

A continuación, se realiza el análisis de objetivos, por medio del cual, una vez estructurado y construido el árbol de problemas, en donde se establecieron las realidades y situaciones negativas a superar, se hace necesario describir la situación futura a la que se desea y propone llegar con el proyecto, una vez resuelto el problema, consistiendo en convertir el escenario perjudicial o negativo, en uno positivo, teniendo en cuenta que los efectos del problema se convierten en los fines, las causas en los medios y el problema en el propósito.

Figura 5. Árbol de objetivos



7.1 Objetivo general e indicador

Problema central: La CDMB carece de generación propia de energía renovable no convencional.

Objetivo General: Proponer un plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para

la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, minimizando los costos de energía y generando un impacto ambiental favorable.

Tabla 4. *Indicadores para medir el objetivo general*

Indicador del objetivo	Medido a través de	Meta	Tipo de fuente
Simulación del cobertura del servicio de energía eléctrica en el edificio central de la entidad territorial.	Porcentaje	70%	Sistema único de información de servicios públicos domiciliarios – SUI. – Tecnología de producción energética (Matlab, on grin, entre otras).

7.1.1 Relaciones entre las causas y los objetivos

Tabla 5. *Relación causa y objetivos específicos*

Tipo de causa	Causa relacionada	Objetivos específicos
Causa directa	Desconocimiento para seleccionar la energía renovable no convencional a aplicar. Falta de conocimiento sobre la posibilidad de generar energía renovable no convencional	Diagnosticar la capacidad de generación de energía solar fotovoltaica, a partir del área disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB, optimizando la instalación de paneles solares de acuerdo a la geometría y porcentaje de energía a suplir.
Causa indirecta	Incertidumbre de la viabilidad técnica del proyecto.	Determinar la tecnología y costos asociados al proyecto a partir del diagnóstico de la producción potencial de energía solar disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB.
Causa indirecta	Incertidumbre de la viabilidad financiera del proyecto.	Establecer la viabilidad del uso de paneles solares para la reducción de costo energético en el edificio principal de la CDMB en la ciudad de Bucaramanga.

8. Análisis de Alternativas

La adopción de la energía solar fotovoltaica está influenciada por diferentes partes interesadas y su cooperación. En el mercado de la energía solar fotovoltaica, las principales partes interesadas son los departamentos gubernamentales relacionados con la energía, las instituciones financieras, los proveedores de energía solar fotovoltaica, entre otros, motivo por el cual, en este apartado se desarrolla el análisis de alternativas para resolver el planteamiento problemático de la investigación.

8.1 Identificación de alternativas

Con base en el planteamiento realizado, la identificación del problema y objetivo central, se realiza el análisis para la identificación de posibles alternativas de solución para la ejecución del proyecto, por tanto, se presenta un mapa mental para identificar las alternativas.

Figura 6. *Potenciales alternativas de solución*



8.1.1 Definición de alternativas de solución

- Plan de gestión para el uso eficiente de energía: La planificación estratégica para un plan integral de administración de energía, incluye componentes esenciales para crear o mejorar programas de administración de energía, entre los que se destacan el medir y comparar el consumo de energía actual. Establecer una línea de base contra la cual se medirán las reducciones futuras es un primer paso importante en el seguimiento del progreso. Desarrollar un perfil de uso de energía, demostrará cómo se distribuye su uso entre los sistemas del edificio (p. ej., calefacción, agua, iluminación, equipo de oficina, refrigeración, entre otros) e identificará la fuente de energía para cada sistema (gas natural, fuel oil, calefacción/energía urbana, electricidad); completar un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), puede ser opcional, pues algunas comunidades/estados los requieren. (UPME, 2013).
- Sistema solar fotovoltaico: La energía fotovoltaica es la conversión directa de la luz solar en energía eléctrica, utilizando materiales semiconductores como el silicio. El efecto fotovoltaico es un importante fenómeno estudiado en física y química. La palabra fotovoltaica (PV) se mencionó por primera vez alrededor de 1890 y proviene de las palabras griegas: foto, 'phos', que significa luz, y 'voltio', que se refiere a electricidad (Fuglestad, 2021).
- Sistema de energía eólica: Las turbinas eólicas convierten la energía cinética del viento en energía mecánica y luego en electricidad mediante el uso de un eje y una caja de engranajes que alimentan un generador interno. Los sensores en la turbina eólica le permiten girar y ajustar su ángulo para capturar el viento de manera óptima.

La electricidad del generador de turbina va a una subestación, donde se convierte en un alto voltaje capaz de transportarse a través de las líneas eléctricas.

8.2 Evaluación de alternativas

El uso y consumo diario de energía eléctrica es un servicio vital para el desarrollo y evolución de un país, constituyendo el principal insumo en la gran mayoría de las actividades industriales, motivo por el cual, incorporar una fuente alternativa permite la reducción de costos y minimización de elementos contaminantes, por tanto, para evaluar las alternativas, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

Tabla 6. *Criterios de selección de alternativas de solución*

Criterio	Tiempo de Implementación	Costo	Beneficio
Puntaje			
1	La alternativa Plan de gestión para el uso eficiente de energía se ejecuta de manera permanente o continua en la CDMB.	Se ejecuta actualmente en la entidad	La alternativa resuelve parcialmente la necesidad planteada
5	La alternativa Sistema de energía eólica se ejecuta en un plazo que supera una vigencia actual y el presupuesto planteado para su ejecución en la CDMB.	Requiere financiación y cofinanciación	La alternativa no resuelve de fondo la necesidad planteada, pues el recurso aire tiene limitación por la infraestructura aledaña.
10	La alternativa Sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la CDMB se ejecuta teniendo en cuenta los parámetros del marco lógico y la financiación propuesta para una vigencia fiscal. (Ver capítulo 11)	Se ejecuta sólo con financiación del estado.	La alternativa resuelve de fondo la necesidad planteada y genera valor agregado

Tabla 7. *Evaluación de las alternativas*

Alternativa	Tiempo de implementación	Costo	Beneficio	Puntaje total
Plan de gestión para el uso eficiente de energía	5	5	5	15
Sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la CDMB	10	10	10	30
Sistema de energía eólica	1	1	1	3

8.3 Selección de la alternativa de solución

Teniendo en cuenta lo anterior, la evaluación de la alternativa para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la CDMB en la ciudad de Bucaramanga en términos técnicos es la opción óptima para la propuesta a la autoridad ambiental, teniendo claro de antemano que, la propuesta involucra cambios en la infraestructura del edificio de la corporación.

Se presenta a continuación la evaluación de variables propias del proyecto.

Tabla 8. *Selección de alternativas*

Alternativa	Tamaño	Localización	Técnico	Financiero	Ambiental	Jurídico
Plan de gestión para el uso eficiente de energía	100%	100%	CDMB	Bajo	Bajo	Bajo
Sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la CDMB.	100%	100%	CDMB	Alto	Alto	Bajo
Sistema de energía eólica	0%	100%	No es viable	Medio	Alto	Alto

El análisis de alternativas se estableció a través de la posibilidad de cada opción presentada teniendo en cuenta calificativos (Muy Alto – Alto – Medio - Bajo), determinando el grado de impacto de cada alternativa, seleccionando la más viable como la propuesta de fuentes de energía no convencionales, sistema solar fotovoltaico en áreas como techos de las entidades públicas.

De acuerdo a lo anterior, la alternativa de solución detectada en la evaluación realizada, es aquella que se deriva del resultado que obtuvo el mayor puntaje en los criterios de selección, la cual corresponde a la propuesta de optimización de la infraestructura energética a través de la implementación de sistemas alternativos de energía eléctrica a través de paneles solares, teniendo en cuenta que se plantea la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la CDMB en la ciudad de Bucaramanga, partiendo del supuesto del ahorro en los costos tarifarios de energía eléctrica de la corporación.

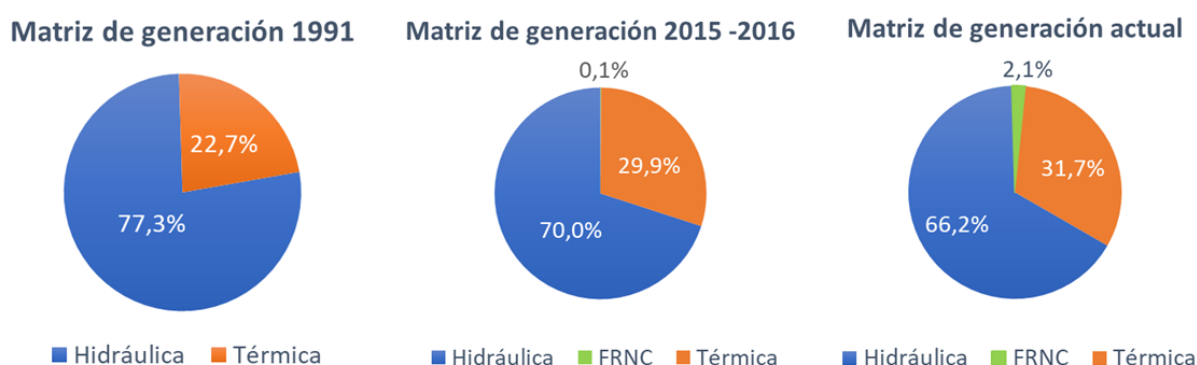
La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía renovable que se logra mediante la transformación directa de la luz solar en energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. La generación de energía se logra mediante el impacto de los fotones de la luz solar sobre los paneles solares produciendo la activación de los electrones, los cuales se liberan produciendo un campo eléctrico donde se genera la corriente. Encuentra su justificación en el ahorro del gasto en el servicio público de energía eléctrica para la CDMB, pues el consumo de energía tiene un fuerte impacto en la factura mensual.

De otra parte, el factor medioambiental juega un papel determinante al momento de optar por esta alternativa, pues el beneficio que se otorga al planeta por el uso de energía limpia es de inmenso valor. El uso de energía solar fotovoltaica permite la reducción de emisiones de CO₂ y contribuye directamente en la disminución de la huella de carbono, toda vez que la entidad es la autoridad ambiental de la región, por tanto, la adopción de propuestas encaminadas a la

implementación de proyectos de este orden, ayuda a mejorar los indicadores ambientales no sólo de las corporaciones ambientales, sino de la región en general.

Adicionalmente, es importante señalar que uno de los objetivos estratégicos del Plan Energético Nacional 2020-2050, en el marco de la transición energética consiste en diversificar la matriz energética de obtención de electricidad integrando energías renovables no convencionales para garantizar una oferta estable y bajos niveles de emisiones de GEI (Rojas, 2021).

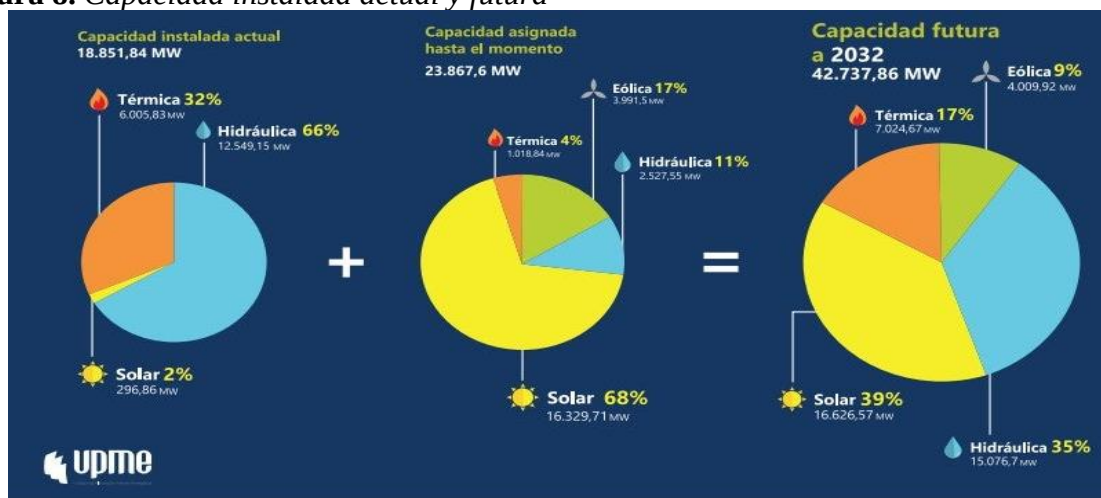
Figura 7. *Matriz generación de energía eléctrica en Colombia*



En la Figura 7 se observa que a través del tiempo la matriz de generación eléctrica colombiana, ha incrementado en la producción de energía térmica, una de las fuentes de energía más contaminantes por cuanto se obtiene a partir de la quema de combustibles fósiles, como carbón, petróleo y gas natural. Este proceso de combustión libera una gran cantidad de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera, que a su vez propician el calentamiento global y al cambio climático que ahora padecemos. Por tal razón, el gobierno nacional busca implementar un proceso de transición energética sostenible

mediante una mayor inversión y generación de energías limpias, como se presenta a continuación:

Figura 8. *Capacidad instalada actual y futura*



La Figura 8 muestra la capacidad instalada actual cuya participación de las fuentes no convencionales de energía, como la solar, son irrelevantes actualmente. De igual manera, se observa la capacidad asignada hasta el momento a proyectos de generación de energía eléctrica, principalmente solar con 68% y eólica con 17%, así como la capacidad futura a 2032 aumentando la energía solar a 39% y disminuyendo la energía térmica a 17%.

El plan de proyecto propuesto está encaminado a generar energía limpia a través de la luz solar impactando en la capacidad asignada hasta el momento, para que un futuro seamos parte de la capacidad instalada en el país.

9. Construcción del Modelo Analítico del Proyecto

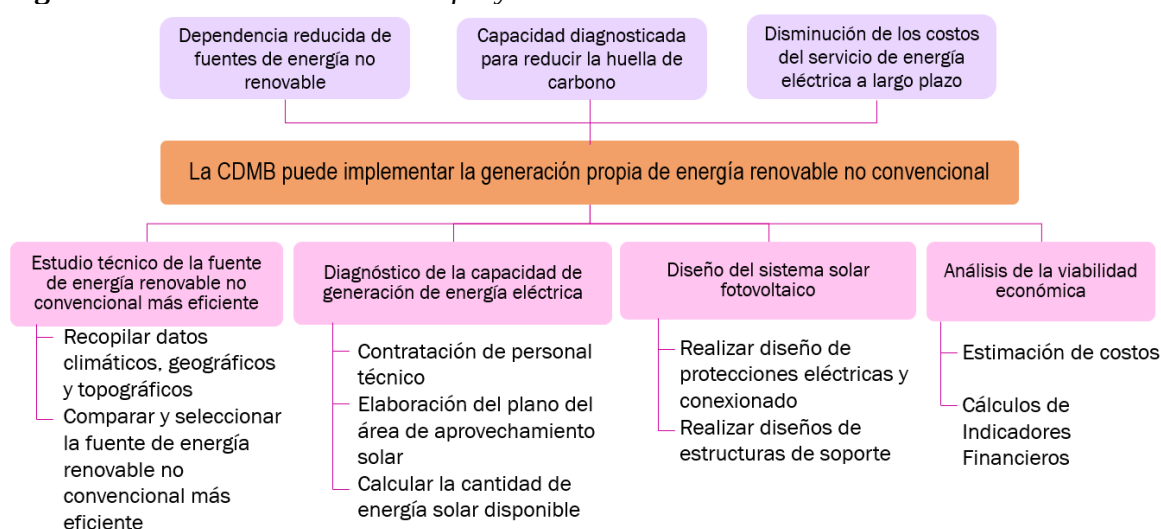
La construcción del modelo analítico del proyecto consiste en la creación de una representación visual y estructurada de los elementos clave del proyecto, incluyendo sus

objetivos, resultados, actividades, recursos, supuestos y vínculos causales. Este modelo proporciona una visión clara y coherente de cómo se espera que el proyecto se desarrolle y alcance sus propósitos, y es un componente crucial para la planificación, implementación y evaluación efectiva del proyecto.

9.1 Estructura Analítica

La estructura analítica del proyecto suele definirse como la esquematización del proyecto. Un esquema de la relación de la alternativa óptima con los objetivos y acciones. Esta relación se presenta en forma de árbol a través de niveles jerárquicos organizados verticalmente como se presenta a continuación.

Figura 9. Estructura analítica del proyecto



9.2 Matriz de marco lógico

La matriz del marco lógico permite estructurar de manera lógica y resumida las actividades que se desarrollarán y los resultados a obtener a través del proyecto de implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la CDMB.

Tabla 9. Matriz de Marco lógico

Resumen narrativo de objetivos	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
FIN			
Contribuir a la reducción de la dependencia de fuentes de energía convencional.	(Energía de fuentes renovables / Consumo total de energía) * 100 Emisiones de CO2 / Energía consumida Tasa anual de disminución de energía no renovable Número de medidas de reducción de huella de carbono implementadas	- Registro de consumo de energía - Informes de proporción de fuentes energéticas - Comparación de costos - Entrevistas y encuestas	- Disponibilidad de Fuentes de Energía Renovable - Viabilidad Tecnológica - Apoyo Regulatorio
Aportar en la disminución de la huella de carbono del país.	Cantidad de energía eléctrica total consumida en el mes * el Factor de Emisión Tasa de mejora de eficiencia de carbono	- Registro de medidas implementadas - Mediciones de emisiones de CO2 - Auditorías Ambientales	- Acceso a datos y mediciones - Colaboración interna y externa - Disponibilidad de recursos financieros, tecnológicos y humanos
Disminuir los costos del servicio de energía eléctrica a largo plazo en la CDMB.	Tasa de reducción de costos del servicio de energía eléctrica Ahorro económico anual por eficiencia energética Beneficios económicos totales/Costos de inversión totales	- Registros de costos de energía eléctrica - Análisis de consumo energético - Análisis de tendencias de costos	- Eficiencia energética sostenible - Estabilidad de precios de energía - Mantenimiento y operación adecuados
PROPÓSITO			
Implementar la generación propia de energía renovable no convencional en la CDMB	(Capacidad de generación implementada / Capacidad de generación total planificada) * 100 (Energía generada internamente / Consumo total de energía) * 100 Tasa anual de aumento de capacidad de generación renovable	Mediciones de consumo y generación energética Visitas técnicas Auditorías	- Disponibilidad de recursos naturales - Viabilidad técnica - Apoyo regulatorio - Viabilidad económica - Capacidades técnicas y de personal - Involucramiento de Partes Interesadas - Condiciones climáticas - Mantenimiento y operación

Resumen narrativo de objetivos	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
COMPONENTES			
Estudio técnico de la fuente de energía renovable no convencional más eficiente, elaborado	Número de alternativas evaluadas	- Registros de las fuentes de datos utilizadas - Comparaciones de rendimiento, costo, eficiencia	- Datos climáticos estables - Programa de mantenimiento continuo - Disponibilidad de recursos
	Relación Costo-Beneficio Energía generada/Energía disponible * 100	- Registro de cumplimiento normativo - Opiniones de expertos - Actas de reuniones - Comunicaciones con proveedores	- Estabilidad en precios de materias primas
	Número de equipos evaluados	- Registros de consumo energético - Informes de mantenimiento	- Disponibilidad de datos históricos de consumo energético
Diagnóstico de la capacidad de generación energética desarrollado	Tiempo de duración del diagnóstico	- Datos de eficiencia energética y rendimiento de equipos - Registro de apagones o interrupciones - Reportes de análisis técnico	- Estabilidad en la demanda energética - Eficiencia energética constante - Estabilidad en los costos y tarifas energéticas
	Cumplimiento de eficiencia energética	- Informe de cumplimiento normativo - Registro de procesos de mantenimiento - Resultados de simulaciones - Entrevistas con el personal técnico	- Cumplimiento normativo - Disponibilidad de recursos energéticos
	Número de paneles solares diseñados	- Planos técnicos - Especificaciones técnicas de los componentes utilizados	- Datos climáticos dentro de rangos predecibles - Eficiencia de paneles solares - Programa regular de mantenimiento
Diseño del sistema solar fotovoltaico elaborado	Tiempo de duración del diseño	- Cálculos de cableado y de carga - Resultados de simulaciones - Diagramas de conexión eléctrica - Informe de las medidas de seguridad implementadas	- Capacidad de la red eléctrica para recibir energía - Disponibilidad de componentes - Cumplimiento normativo - Recursos financieros necesarios - Estabilidad de precios
	Energía generada/Energía potencial * 100	- Estimaciones de generación de energía esperada - Evaluación de impacto ambiental - Evaluación de viabilidad financiera	- Eficiencia de inversores - Disponibilidad de mano de obra - Disponibilidad de espacio - Mantenimiento de áreas contiguas - Sistema de seguridad adecuado
	Número de escenarios evaluados	- Informe de análisis de costos - Cálculos de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)	- Estabilidad de precios - Cumplimiento normativo - Tasas de interés razonables
Análisis de la viabilidad económica elaborado	Tiempo de duración del análisis	- Informe de periodo de recuperación de la inversión	- Demanda del servicio estable - Programa regular de mantenimiento - Inversión inicial y costos asociados incluidos en el presupuesto
	Relación Costo-Beneficio	- Análisis de riesgos financieros potenciales - Opiniones de expertos financieros	- Eficiencia operativa - Disponibilidad de Financiamiento
Resumen narrativo de objetivos	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
ACTIVIDADES			
Recopilar datos climáticos, geográficos y topográficos	- Relación costo-beneficio de la fuente de energía implementada.	- Informes meteorológicos oficiales	- Acceso a información climática, geográfica y topográfica actualizada
Comparar y seleccionar la fuente de energía renovable no convencional más eficiente	- Cantidad promedio de radiación solar medida en kWh/m ² por día	- Mediciones in situ - Planos	- Contratación de personal directa o por licitación
Contratación de personal técnico	- Eficiencia estimada del sistema fotovoltaico implementado	- Software de simulación	- Disponibilidad de recursos
Elaboración del plano del área de aprovechamiento solar	- Tasa de retorno de inversión estimada	- Análisis comparativo de generación y costos	- Capacidad de generación de energía constante
Calcular la cantidad de energía solar disponible		- Especificaciones técnicas	
Realizar diseño de protecciones eléctricas y conexonado		- Obligaciones contractuales	
Realizar diseños de estructuras de soporte		- Cotizaciones de proveedores	
Estimación de costos			
Cálculos de Indicadores Financieros			

9.3 Resumen narrativo

Una parte fundamental del proceso de planificación es el resumen narrativo que consiste en una descripción detallada y secuencial de las acciones y actividades clave que se llevarán a cabo a lo largo del proyecto. Este resumen tiene como objetivo proporcionar una visión general de cómo se implementará el proyecto de manera coherente y lógica, desde el inicio hasta la conclusión.

9.3.1 *Fin*

Contribuir a la reducción de la dependencia de fuentes de energía convencional.

Aportar en la disminución de la huella de carbono del país.

Disminuir los costos del servicio de energía eléctrica a largo plazo en la CDMB.

9.3.2 *Propósito*

Implementar la generación propia de energía renovable no convencional en la CDMB.

9.3.3 *Componentes o productos*

Estudio técnico de la fuente de energía renovable no convencional más eficiente, elaborado.

Diagnóstico de la capacidad de generación energética desarrollado.

Análisis de la viabilidad económica elaborado.

Entregables

Informe de acciones de mejoras o correcciones derivadas del diagnóstico realizado a la corporación, en concordancia con el cronograma a ejecutar sobre el plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico.

Plan de proyecto, check list, indicadores y mejoras que apoyan la formulación de proyectos bajo la metodología de marco lógico para la CDMB.

Presentación de la propuesta del plan de proyecto a la entidad ambiental CDMB.

Actividades

Recopilar datos climáticos, geográficos y topográficos

Comparar y seleccionar la fuente de energía renovable no convencional más eficiente

Contratación de personal técnico

Elaboración del plano del área de aprovechamiento solar

Calcular la cantidad de energía solar disponible

Realizar diseño de protecciones eléctricas y conexión

Realizar diseños de estructuras de soporte

Estimación de costos

Cálculos de Indicadores Financieros

9.4 Indicadores

Son las especificaciones cualitativas o cuantitativas que se utilizan para medir el logro de un objetivo.

9.4.1 Indicadores de propósito

- $(\text{Capacidad de generación implementada} / \text{Capacidad de generación total planificada}) * 100$
- $(\text{Energía generada internamente} / \text{Consumo total de energía}) * 100$
- Tasa anual de aumento de capacidad de generación renovable

9.4.2 Indicadores de componentes

- Número de alternativas evaluadas
- Relación Costo-Beneficio
- $\text{Energía generada} / \text{Energía disponible} * 100$
- Número de equipos evaluados
- Tiempo de duración del diagnóstico
- Cumplimiento de eficiencia energética
- Número de paneles solares diseñados
- Tiempo de duración del diseño
- $\text{Energía generada} / \text{Energía potencial} * 100$
- Número de escenarios evaluados
- Tiempo de duración del análisis

9.4.3 Indicadores de Actividades

- Relación costo-beneficio de la fuente de energía implementada
- Cantidad promedio de radiación solar medida en kWh/m² por día
- Eficiencia estimada del sistema fotovoltaico implementado

- Tasa de retorno de inversión estimada

9.5 Medios de verificación

- Registros de consumo y costos de energía eléctrica, informes de proporción de fuentes energéticas, registro de medidas implementadas, mediciones de emisiones de CO_2 .
- Visitas técnicas, entrevistas, encuestas, auditorías, opiniones de expertos, actas de reuniones, comunicaciones con proveedores.
- Registros de las fuentes de datos utilizadas, comparaciones de rendimiento, costo, eficiencia, registro de cumplimiento normativo, informes de mantenimiento, registro de apagones o interrupciones, reportes de análisis técnico, resultados de simulaciones, planos, especificaciones técnicas, cálculos de cableado y de carga, diagramas de conexión eléctrica, estimaciones de generación de energía esperada, evaluación de impacto ambiental, cálculos de valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR), informe de periodo de recuperación de la inversión, análisis de riesgos financieros potenciales.
- Informes meteorológicos oficiales, mediciones in situ, obligaciones contractuales, cotizaciones.

9.6 Supuestos

- Disponibilidad de fuentes de energía renovable, viabilidad tecnológica, apoyo regulatorio, acceso a datos y mediciones, colaboración interna y externa, disponibilidad de recursos, tecnológicos y humanos, eficiencia energética constante, estabilidad de precios, programa regular de mantenimiento.

- Viabilidad técnica y económica, capacidades técnicas y de personal, involucramiento de partes interesadas, condiciones climáticas.
- Datos climáticos estables, disponibilidad de datos históricos de consumo energético, estabilidad en la demanda energética, estabilidad en los costos y tarifas energéticas, cumplimiento normativo, eficiencia de paneles solares, capacidad de la red eléctrica para recibir energía, disponibilidad de componentes, mano de obra y espacio, eficiencia de inversores, sistema de seguridad adecuado, tasas de interés razonables, inversión inicial y costos asociados incluidos en el presupuesto, eficiencia operativa.
- Acceso a información climática, geográfica y topográfica actualizada, contratación de personal directa o por licitación, capacidad de generación de energía constante.

10. Recursos humanos, materiales y económicos

En este capítulo, se deben identificar, definir y establecer los recursos humanos, materiales y económicos que se requieren para la ejecución del proyecto.

Tabla 10. *Recursos humanos, materiales y económicos*

Componentes	Concepto	Cant	Especificación	Tiempo	Valor unitario (sem)	Valor total
Estudio técnico de la fuente de energía renovable no convencional más eficiente, elaborado.	Personal Administrativo	1	Personal que posea conocimientos en gestión de proyectos	15 semanas	\$ 250.000	\$ 3.750.000
Diagnóstico de la capacidad de generación energética desarrollado	Disponibilidad de equipos de cómputo y mobiliario para el análisis de datos	2	Equipos de cómputo - software simulación y análisis estadístico - Escritorios con pc - tiempo completo.	16 semanas	\$ 350.000	\$ 5.250.000
Diseño del sistema solar fotovoltaico elaborado	Personal de Apoyo	1	Personal de la CDMB que permita el acceso a información relevante para el proyecto	8 semanas	\$ 450.000	\$ 3.600.000
	Análisis técnico del área estructural	4	Visita con personal técnico para valoración	10 semanas	\$ 500.000	\$ 5.000.000
	Presentación de la propuesta.	1	Difusión de los resultados con la entidad	1 semana	\$ 180.000	\$ 180.000
					\$ 1.810.000	\$ 18.100.000

11. Cronograma

Figura 10. Cronograma

		CRONOGRAMA											
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Fases del proyecto													
Fase I: Diagnóstico – formulación	Recopilación de información técnica solar												
	Parámetros técnicos												
	Dimensionamiento eléctrico												
	Costos asociados al proyecto.												
Fase II: Planificación	Análisis de los estudios técnicos del proyecto												
	Plan del proyecto												
	Reunión de ajustes de variables.												
	Registro de interesados												
	Gestión de las comunicaciones												
	Gestión de riesgos												
	Gestión de la calidad												
Fase III: Documentación	Preparación												
	Supervisión												
	Resultados técnicos y pruebas												
Fase IV: Presentación plan de proyecto	Resultados del proyecto												
	Presentación de resultados técnicos												

12. Difusión y comunicación

Con el fin de garantizar una transición coherente a los resultados, se habilitarán los siguientes tiempo y tipos de comunicación para difundir su estado y avances. Así como se pretende divulgar los resultados obtenidos mediante la difusión en revistas del campo de implementación contemplado dentro de la base presupuestal para el mejoramiento y oportunidad de nuevos aliados para nuevos proyectos.

Tabla 11 *Difusión del plan de proyecto*

Tipo de medio	Público receptos	Descripción	Cobertura
Verbal- Email	Funcionarios de la CDMB	Correo electrónico y charlas participativas con la CDMB, de igual forma cuenta con intranet, donde se va comunicando los avances de los estudios técnicos.	Funcionarios de la entidad. Público interno y externo, la página de internet es pública.
Redes sociales de la corporación	Comunicación visible para cualquier tipo de público que tenga vinculado o interés.	La CDMB cuenta con página web de acceso público y redes sociales.	Público interno y externo, la página de internet es pública.

13. Método mediante el cual se realizará la evaluación de los resultados de la implementación

El método de evaluación se basará en la recopilación y análisis de datos a lo largo de la implementación del proyecto, con un enfoque en la medición de indicadores predefinidos y el cumplimiento de los objetivos y resultados establecidos en el Marco Lógico. Esto permitirá una evaluación integral y fundamentada de los resultados del proyecto de

implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la CDMB, sin prueba piloto para verificar la factibilidad del mismo, pues la toma de decisiones será únicamente competencia de la entidad ambiental en la adopción o no del plan de proyecto.

14. Resultados

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en el trabajo de grado a partir del cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados.

Tabla 12 *Relación de resultados obtenidos*

	Objetivo	Medio Utilizado	Resultado Obtenido
General	Proponer un plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB en la ciudad de Bucaramanga, minimizando los costos de energía y generando un impacto ambiental favorable, basado en la metodología de marco lógico.	Metodología de Marco Lógico	Identificación del problema. Análisis del problema (Árbol de problemas). Análisis de objetivos (Árbol de objetivos). Identificación de alternativas de solución. Estructura Analítica del Proyecto Construcción de Matriz de Marco Lógico MML

	Objetivo	Medio Utilizado	Resultado Obtenido
Específicos	Diagnosticar la capacidad de generación de energía solar fotovoltaica, a partir del área disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB, optimizando la instalación de paneles solares de acuerdo a la geometría y porcentaje de energía a suplir.	Visitas técnicas - reporte de indicadores energéticos y solares	Análisis técnicos de radiación solar - visitas técnicas para elaboración de planos y calcular el área (m ²) de las terrazas de la CDMB.
	Determinar mediante la aplicación de la metodología de marco lógico la tecnología y costos asociados al proyecto a partir del diagnóstico de la producción potencial de energía solar disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB.	Matriz de Marco Lógico	Análisis de producción potencial de energía solar Diseño del sistema solar fotovoltaico Estimación de costos asociados Informe técnico y financiero
Específicos	Establecer la viabilidad del uso de paneles solares para la reducción de costo energético en el edificio principal de la CDMB en la ciudad de Bucaramanga, siguiendo la metodología de marco lógico.	Matriz de Marco Lógico	Se realizó la proyección financiera y técnica de la producción energética fotovoltaica y su cogeneración eléctrica para las terrazas del edificio CDMB - de igual forma se establecieron los costos y aportes financieros que da lugar a la inversión y el índice de retorno de la misma

14.1 Diagnóstico la capacidad de generación de energía solar fotovoltaica, a partir del área disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB, optimizando la instalación de paneles solares de acuerdo a la geometría y porcentaje de energía a suplir.

El área disponible de las terrazas del edificio se muestra a continuación teniendo en cuenta que el Área libre total = Área libre terraza 1 + Área libre terraza 2 = $277.16 \text{ m}^2 + 147.524 \text{ m}^2 = 424,684 \text{ m}^2$.

Figura 11. Área disponible en terrazas

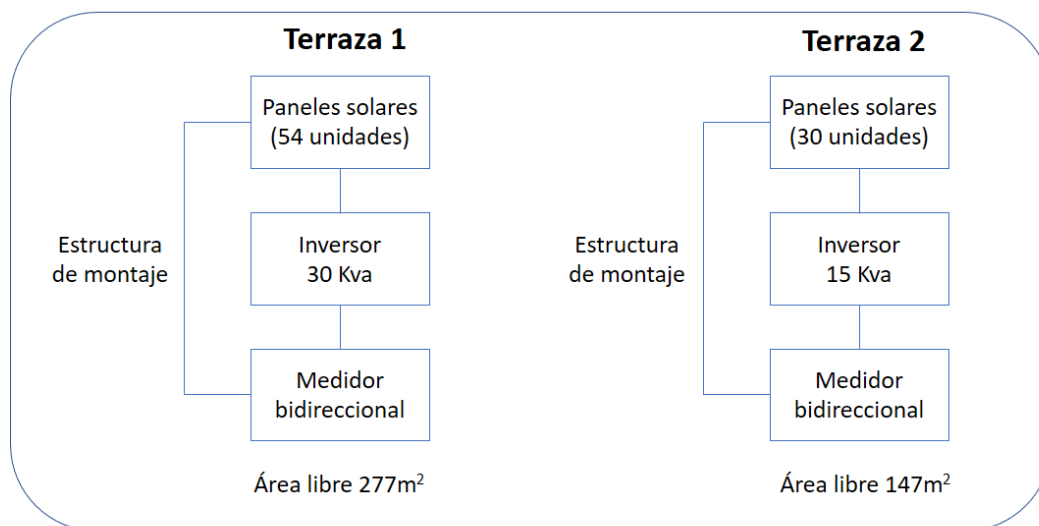


Figura 12 *Terraza edificio principal CDMB*



Figura 13. *Terraza edificio principal CDMB (parte 2)*



Una vez se registra la evidencia fotográfica para el análisis técnico del área de intervención, se procede a solicitar a la entidad el plano del área.

Figura 14 Plano del área de aprovechamiento solar – terraza CDMB – edificio principal

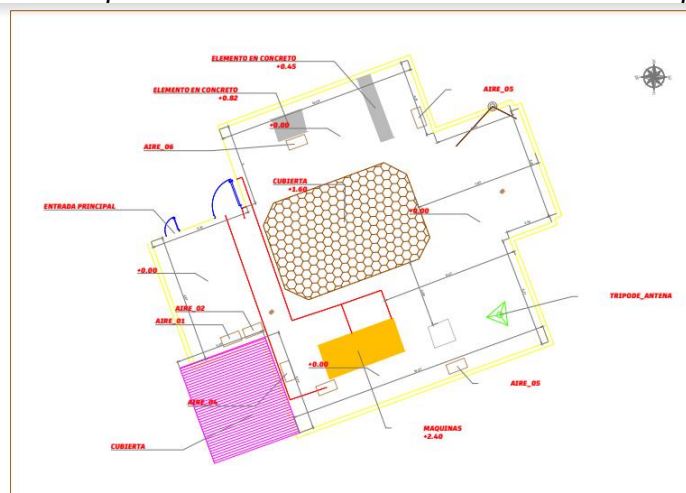
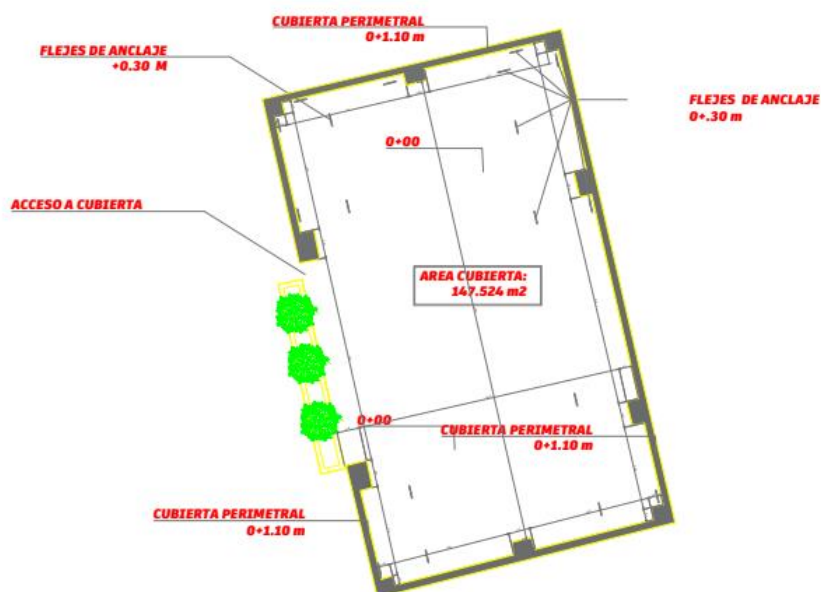


Figura 15. Plano del área de aprovechamiento solar – terraza CDMB – edificio principal (Parte 2)



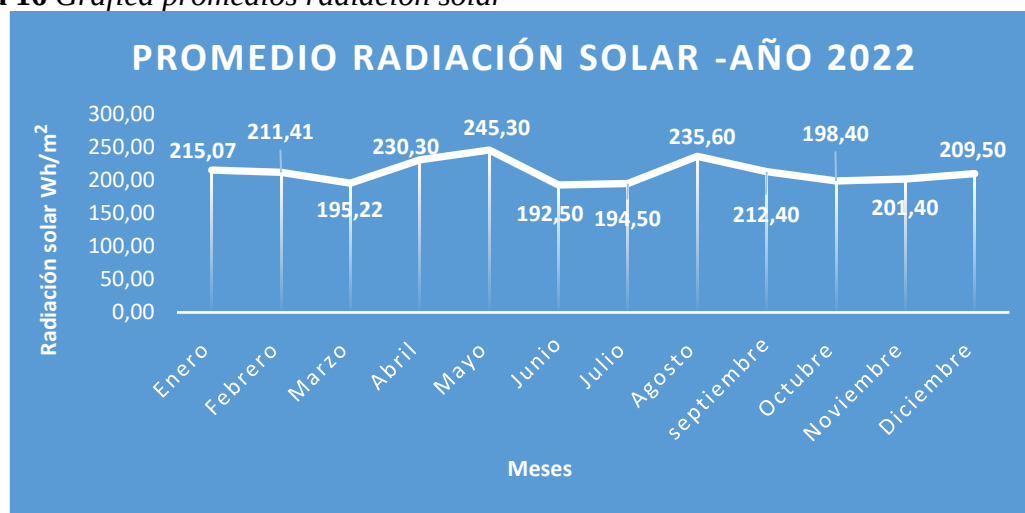
Una vez establecida el área libre para la instalación de potenciales paneles se realiza según mediciones internas registradas por la estación meteorológica ubicada en el edificio

principal de la Corporación, la radiación promedio para el año anterior 2022 con datos mensuales y graficados como se muestra en la tabla 13 y figura 16 siguientes:

Tabla 13 Promedios mensual – radiación solar año 2022

Mes	Radiación solar (Wh/m ²)
Enero	215,07
Febrero	211,41
Marzo	195,22
Abril	230,30
Mayo	245,30
Junio	192,50
Julio	194,50
Agosto	235,60
Septiembre	212,40
Octubre	198,40
Noviembre	201,40
Diciembre	209,50

Figura 16 Gráfica promedios radiación solar



A continuación, se presenta la simulación de cada una de las terrazas con los respectivos informes generados a través del programa PVSYST, utilizado para el diseño de

sistemas solares conectados a la red, tanto de instalaciones para autoconsumo como plantas de generación eléctrica.

Figura 17. Simulación I Terraza 1 CDMB

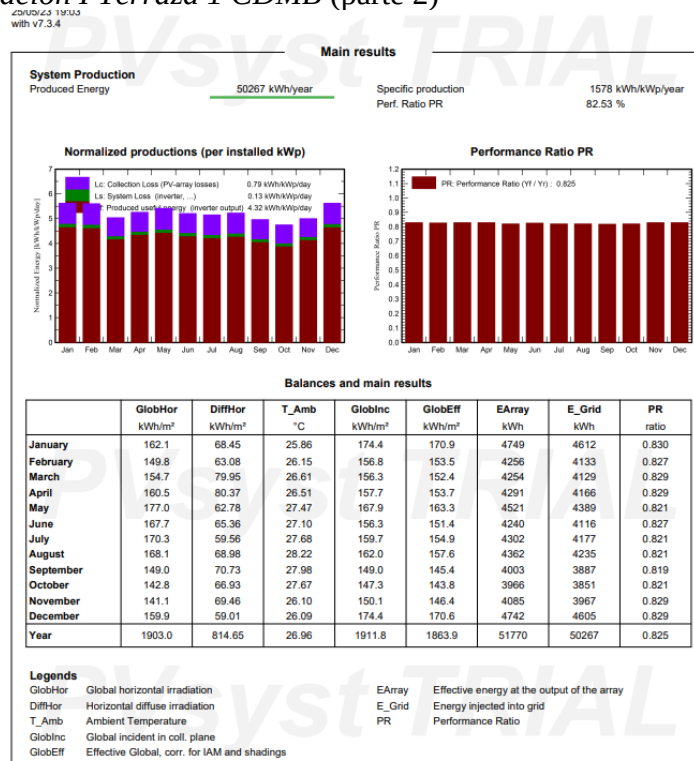
Variant: cdm modulo 1

PVsyst V7.3.4
VCO, Simulation date:
25/05/23 19:03
with v7.3.4

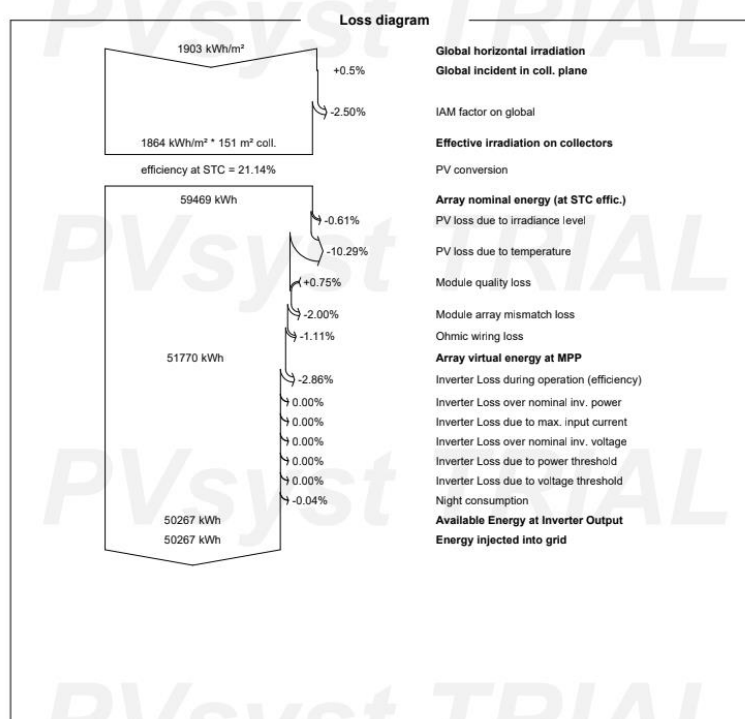
General parameters			
Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation			
Orientation		Sheds configuration	
Fixed plane		No 3D scene defined	
Tilt/Azimuth		10 / -13 °	
Horizon		Near Shadings	
Free Horizon		No Shadings	
Models used		User's needs	
Transposition		Unlimited load (grid)	
Diffuse		Perez, Meteorom	
Circumsolar		separate	

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer		Manufacturer	
Model		Model	
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power		Unit Nom. Power	
590 Wp		30.0 kWac	
Number of PV modules		Number of inverters	
54 units		3 * MPPT 33% 1 unit	
Nominal (STC)		Total power	
31.9 kWp		30.0 kWac	
Modules		Operating voltage	
3 Strings x 18 in series		180-1000 V	
At operating cond. (35°C)		Pnom ratio (DC/AC)	
Pmpp		1.06	
30.8 kWp		No power sharing between MPPTs	
U mpp			
774 V			
I mpp			
40 A			
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)		Total power	
32 kWp		30 kWac	
Total		Number of inverters	
54 modules		1 unit	
Module area		Pnom ratio	
151 m²		1.06	
Cell area			
140 m²			

Array losses			
Thermal Loss factor		DC wiring losses	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	
Uc (const)		304 mΩ	
20.0 W/m²K		Loss Fraction	
Uv (wind)		1.5 % at STC	
0.0 W/m²K/m/s			
Module mismatch losses		Module Quality Loss	
Loss Fraction		Loss Fraction	
2.0 % at MPP		-0.8 %	
IAM loss factor			
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290			
0°	30°	50°	60°
1.000	0.999	0.987	0.962
			0.892
			0.816
			0.681
			0.440
			0.000

Figura 18. Simulación I Terraza 1 CDMB (parte 2)

PVsyst V7.3.4

VCO, Simulation date:
25/05/23 19:03
with v7.3.4

Respecto a la simulación presentada en la terraza 1 CDMB significa lo siguiente:

La terraza 1 en el área libre tiene disponible 277.16 m² se puede instalar 54 paneles solares y cada uno produce 590 vatios pico, en total producirían 50267 kWh/año, este último valor se multiplica por el valor del kilovatio, que corresponde a \$733.95 según factura ESSA No. 209122546 con corte a junio 30 de 2023, dando como resultando cuánto genera o se ahorra en dinero al año, es decir 50267 kWh/año * \$733.95 = \$36.893.465. Por lo tanto, la terraza 1 generaría en total 31.9 kWp.

Figura 19. Simulación II terraza 2 CDMB

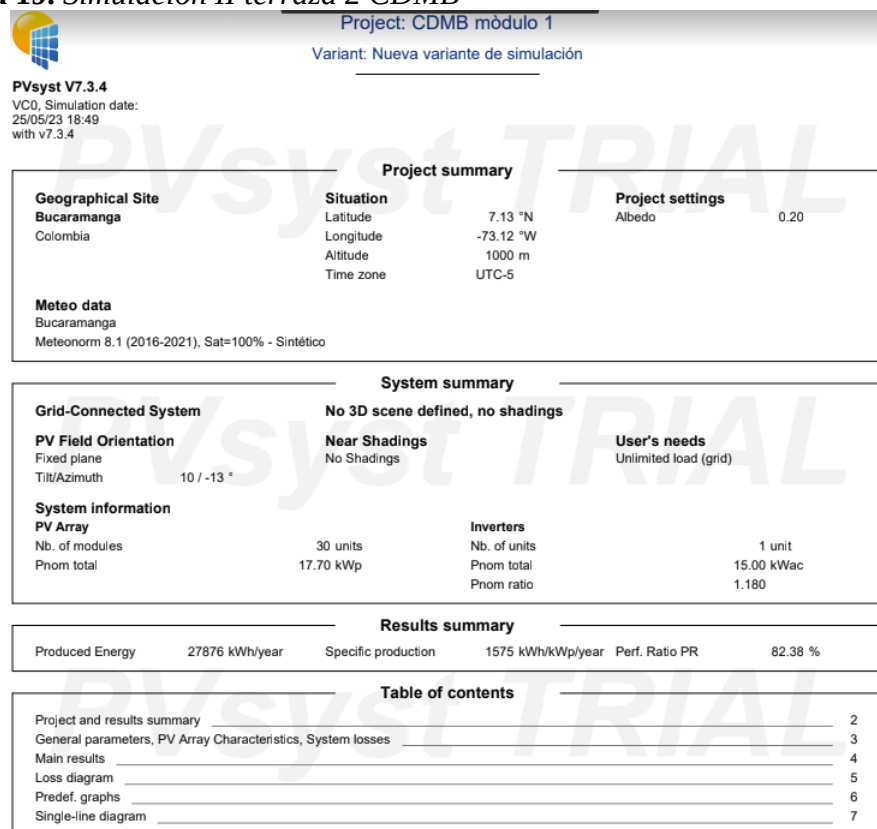


Figura 20. Simulación II terraza 2 CDMB (parte 2)

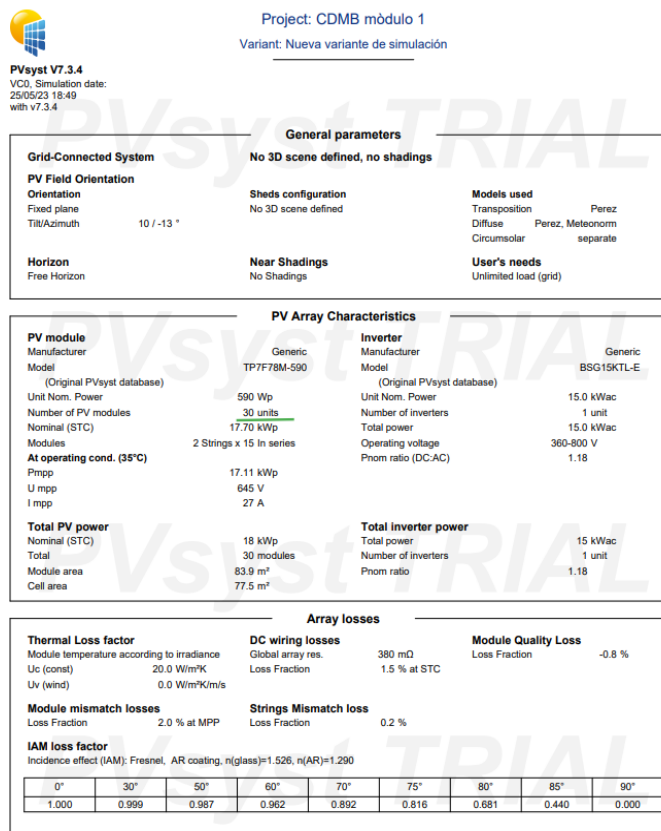
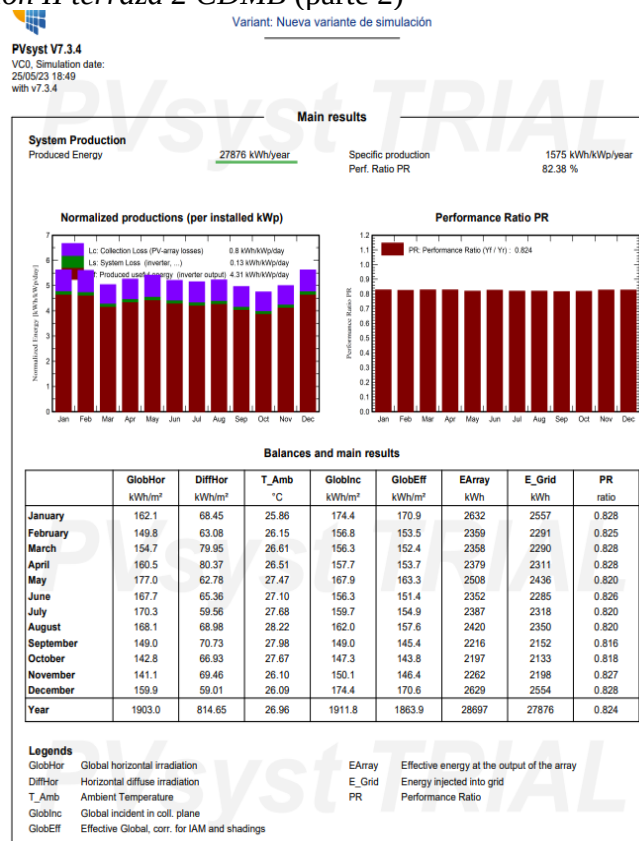
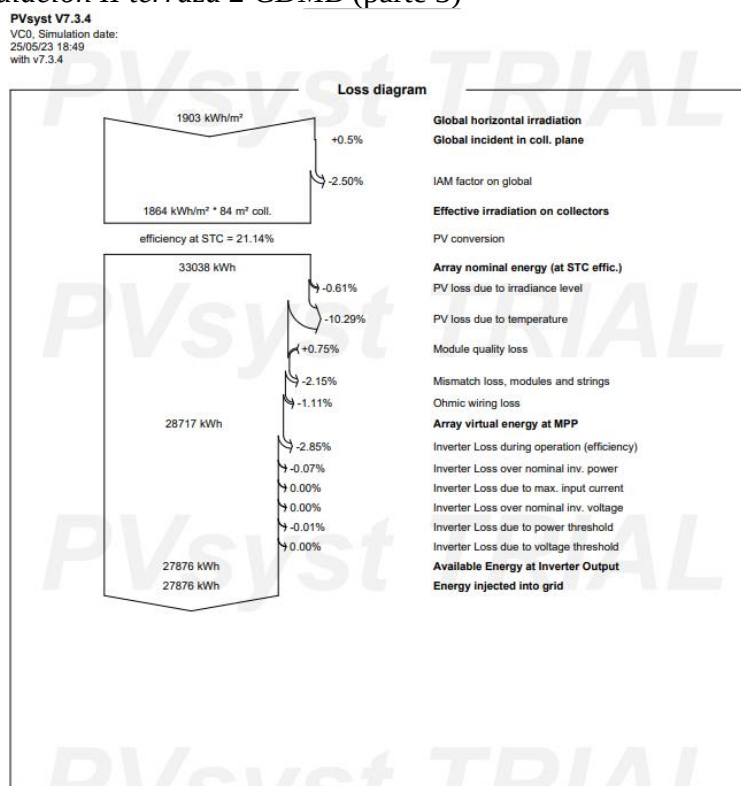


Figura 21. *Simulación II terraza 2 CDMB (parte 3)*

Ahora bien, en relación con la simulación presentada en la terraza 2 CDMB significa lo siguiente:

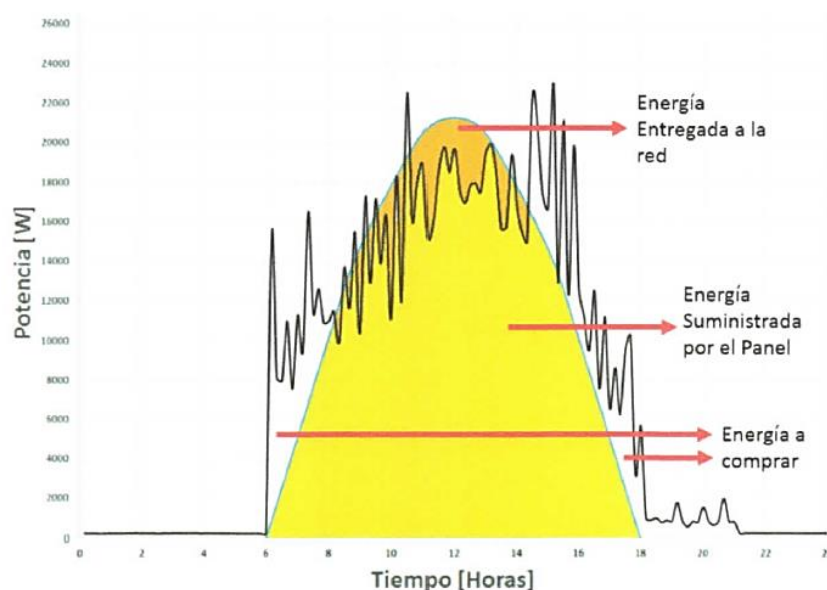
La terraza 2 en el área libre tiene disponible (147.524 m²) se puede instalar 30 paneles solares, en total producirían 27876 kWh/año, este último valor se multiplica por el valor del kilovatio, que corresponde a \$733.95 según factura ESSA No. 209122546 con corte a junio 30 de 2023, obteniendo como resultado cuánto genera o se ahorra en dinero al año, es decir 27876 kWh/año * \$733.95 = \$20.459.590.

Cada panel puede generar 590 w en el pico máximo (mayor radiación), eso significa que 590 w * 30 paneles = 17.70 kWp, quiere decir que se puede gastar 17.000 vatios en ese momento que es el punto más alto de producción de energía cuando el sol impacta perpendicularmente a los paneles. En la simulación se logra sumar todos los kilovatios que

puede producir los paneles diarios, mensuales y anuales, la sumatoria de esta energía generaría el 15% del ahorro en el año es decir \$20.459.590 para el caso de la terraza 2.

Entre los dos sistemas se produce $17.70 \text{ kWp} + 31.90 \text{ kWp} = 49.60 \text{ kWp}$ y esa energía se la inyecta a la red y se consume con la carga que la entidad ya tiene con la subestación de 400 kV aprox. En conclusión, con la implementación del sistema solar fotovoltaico se producirían 40 kWp, es decir el 10% de la carga de la subestación que se consume diariamente.

Figura 22 *Aporte al consumo de energía eléctrica*

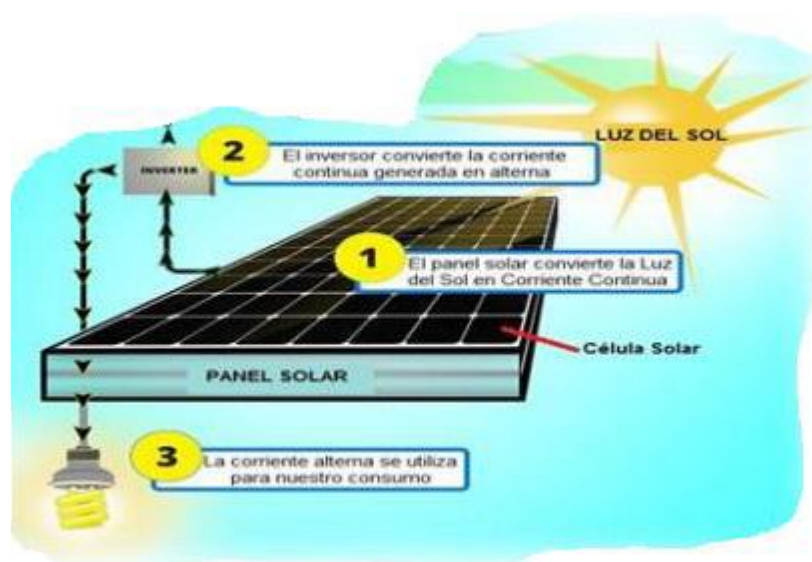


En la Figura 22 se observa un importante aporte al consumo de energía eléctrica del edificio principal de la entidad, contando la energía que se inyecta a la red interna de la CDMB, se llega al orden del 10% del consumo diario del edificio.

14.2 Determinar la tecnología y costos asociados al proyecto a partir del diagnóstico de la producción potencial de energía solar disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB.

A continuación, se describen los aspectos técnicos propios de cada elemento necesario para conformar el sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta que, en el apartado anterior, si se incorporan en total 84 paneles solares, el ahorro del sistema sería del 10%.

Figura 23. *Dinámica del panel solar*



Nota: Generación energía fotovoltaica

Para la instalación de paneles se debe tener en cuenta las dimensiones técnicas para su ubicación estratégica en las terrazas, por tanto, los componentes técnicos que requieren los paneles para su composición son:

- Paneles solares
- Estructura de montaje

- Inversor, medidor, soportes, protección eléctrica

A continuación, se relacionan los aspectos técnicos propios de cada elemento necesario para conformar el sistema fotovoltaico:

Tabla 14. *Ficha técnica propuesta*

Ficha técnica				
Nombre	Instalación de sistema solar fotovoltaico			
Proceso	Análisis técnico			
Responsable de la prestación del servicio	Empresa instaladora – Ingeniero responsable – Grupo de técnicos CDMB.			
Descripción del servicio	Instalación de sistema de generación a partir de fuentes no convencionales de energía, energía solar para entidades públicas con suplencia total o parcial, según diseño previamente aprobado por la entidad.			
	Descripción	Dimensiones	Peso	Imagen
	FICHA TÉCNICA			
	Paneles Solares de 590 Wp	1.3 x 2.3 cm	35.5 kg	
Componentes del sistema	Inversor de 15 Kva – 30 Kva	680/508/281mm	≤ 52 Kg	

Ficha técnica

*Medidor
bidireccional
trifásico de
208/120V*

25 x 17,8

x 5,5 cm

1,4

kg



***Empaque y
embalaje***

Todos los componentes del sistema SFV se incorporarán en sus empaques originales y serán abiertos en presencia de la entidad.

Instalación

El sistema SFV sería instalado según diseño inicialmente puesto en consideración a su aprobación por parte de la entidad – CDMB.

Garantía

Se propone que el proveedor de los paneles debe proveer una garantía de 5 años, así como el servicio de instalación para garantizar su funcionamiento en la incorporación de la fuente eléctrica.

Es importante destacar que, frente a la propuesta para la implementación de un sistema de energía fotovoltaica, es necesario:

(..) cumplir con las especificaciones contempladas en la norma IEC-61730 de 2009, sobre seguridad en módulos fotovoltaicos, ésta norma está dividida en dos partes, en la IEC 61730- 1, requisitos para la construcción y la IEC 61730-212 requisitos para las pruebas (DPN, 2016, p 25).

14.2.1 Costos de suministro paneles. Cotizaciones

Figura 24. Cotización costos



PROPUESTA COMERCIAL TERRAZA 1

ELEMENTOS SOLARES A SUMINISTRAR

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
1	PANEL MONOCRISTALINO 590 WP MARCA RISEN TITAN	\$ 906.815	54	\$ 48.968.010
2	INVERSOR ONGRID GROWATT MAC 30 KW TRIFÁSICO 220 VAC	\$ 21.152.000	1	\$ 21.152.000
3	MEDIDOR BIDIRECCIONAL TRIFÁSICO ISKRA MT174-T1 SEMIDIRECTO	\$ 3.500.000	1	\$ 3.500.000
4	CABLEADO PARA ACOMETIDA DC-AC	\$ 6.855.521	1	\$ 6.855.521
5	ESTRUCTURA SOPORTE PARA PANELES SOLARES	\$ 13.711.043	1	\$ 13.711.043
SUBTOTAL				\$ 94.186.574
IVA 19%				\$ 17.895.449
TOTAL				\$ 112.082.023

PROPUESTA ECONÓMICA CON MONTAJE

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN PANEL MONOCRISTALINO 590 WP	UNIDAD	54	\$ 1.510.754	\$ 81.580.705
2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN INVERSOR DE 30 KVA TRIFÁSICO	UNIDAD	1	\$ 35.239.232	\$ 35.239.232
3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN MEDIDOR BIDIRECCIONAL TRIFÁSICO	UNIDAD	1	\$ 5.831.000	\$ 5.831.000
4	CABLEADO REQUERIDO PARA ACOMETIDA DC-AC	GLB	1	\$ 8.405.555	\$ 8.405.555
5	ESTRUCTURA SOPORTE PARA PANELES SOLARES	GLB	1	\$ 16.811.110	\$ 16.811.110
COSTOS TOTALES					\$ 147.867.601
Administración				15%	\$ 22.180.140
Utilidad				6%	\$ 8.872.056
Imprevistos				1%	\$ 1.478.676
IVA				19%	\$ 1.685.691
TOTAL					\$ 182.084.164



PROPUESTA COMERCIAL TERRAZA 2

ELEMENTOS SOLARES A SUMINISTRAR

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
1	PANEL MONOCRISTALINO 590 WP MARCA RISEN TITAN	\$ 906.815	30	\$ 27.204.450
2	INVERSOR GRID TIE FRONIUS 15 KVA 480V	\$ 12.875.000	1	\$ 12.875.000
3	MEDIDOR BIDIRECCIONAL TRIFÁSICO ISKRA MT174-T1 SEMIDIRECTO	\$ 3.500.000	1	\$ 3.500.000
4	CABLEADO PARA ACOMETIDA DC-AC	\$ 3.808.623	1	\$ 3.808.623
5	ESTRUCTURA SOPORTE PARA PANELES SOLARES	\$ 7.617.246	1	\$ 7.617.246
SUBTOTAL				\$ 55.005.319
IVA 19%				\$ 10.451.011
TOTAL				\$ 65.456.330

PROPUESTA ECONÓMICA CON MONTAJE

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN PANEL MONOCRISTALINO 590 WP	UNIDAD	30	\$ 1.510.754	\$ 45.322.614
2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN INVERSOR DE 15 KVA TRIFÁSICO	UNIDAD	1	\$ 21.449.750	\$ 21.449.750
3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN MEDIDOR BIDIRECCIONAL TRIFÁSICO	UNIDAD	1	\$ 5.831.000	\$ 5.831.000
4	CABLEADO REQUERIDO PARA ACOMETIDA DC-AC	GLB	1	\$ 4.669.753	\$ 4.669.753
5	ESTRUCTURA SOPORTE PARA PANELES SOLARES	GLB	1	\$ 9.339.505	\$ 9.339.505
COSTOS TOTALES					\$ 86.612.622
Administración				15%	\$ 12.991.893
Utilidad				6%	\$ 5.196.757
Imprevistos				1%	\$ 866.126
IVA				19%	\$ 987.384
TOTAL					\$ 106.654.782

14.3 Establecer la viabilidad del uso de paneles solares para la reducción de costo energético en el edificio principal de la CDMB en la ciudad de Bucaramanga.

Teniendo en cuenta los consumos de la entidad, se presenta a continuación la caracterización del gasto energético para el año 2021 y 2022 con base en los análisis técnicos adelantado por el proceso Gestión de los Recursos Físicos al interior de la corporación ambiental.

Tabla 15. Consumo energético año 2022

		CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA - CDMB												
Elaboró Equipo Lider SIGC		Revisó Delegado de la Dirección SIGC				Aprobó Director General								
CÓDIGO E-GE-FO01	VERSIÓN 4	INFORME SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN DEL PROCESO												
Fecha de Análisis		DICIEMBRE 21 DE 2022				Tipo de Indicador:		EFICACIA						
Proceso Maestro		GESTIÓN DE LOS RECURSOS FISICOS												
Nombre del Indicador		CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA		Descripción del Indicador:		ESTE INDICADOR PERMITE REALIZAR SEGUIMIENTO AL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.								
Indice (formula)		Valor de Actualidad		Valor Meta		Valor Medio		Valor Alerta						
(CONSUMO KWH MES PAGADO AÑO / CONSUMO KWH MES PAGADO VIGENCIA ANTERIOR) X 100		24668		<= 1%(34,276)		=1%(34,623)		> 1%(34,623)						
				Unidad		KWH		Sentido		Negativo				
Fuente de Datos:		FACTURAS SERVICIO ENERGÍA ELÉCTRICA AÑOS 2019 Y 2022												
Frecuencia Medición		MENSUAL		Resp. Medición		PROFESIONAL CONTRATISTA COORD RECURSOS FISICOS								
A quien le interesa la Medición (Cargo):		Subdirector Administrativo y Financiero - Coordinador de Recursos Fisicos		Nombre y Apellido a quien le interesa la Medición:		ROBINSON SARMIENTO GARCIA								
Frecuencia Análisis		MENSUAL		Resp. Análisis		CARLOS AUGUSTO NIÑO CALDERON- Coordinador de Recursos Fisicos								
Fórmula		Periodo de Medición (Año): 2022												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
Variable A		26.400	12.210	25.410	28.380	36.630	18.480	22.440	21.780	27.390	24.750	24.090	28.050	24.668
Variable B		35.310	38.280	35.310	37.950	29.370	34.650	35.970	37.950	31.680	36.360	34.320	28.050	34.600
Variación mensual		-25%	-68%	-28%	-25%	25%	-47%	-38%	-43%	-14%	-32%	-30%	0%	-29%

Tomado de CDMB (2023)

En la tabla 15 se observa el valor promedio del consumo de energía eléctrica para el año 2022 fue de 34600 kWh presentando un incremento del 40% con respecto al año 2019.

Con respecto a las variaciones del consumo energético la entidad posee un análisis de las variables que complementan estos datos, como se muestra en la tabla 12 donde se comparan los consumos efectuados en promedio del año 2022 y 2019.

Figura 25 Análisis consumo energético 2022

CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA 2022													
Descripción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	PROMEDIO ANUAL
MES A MES 2022	26.400	12.210	25.410	28.380	36.630	18.480	22.440	21.780	27.390	24.750	24.090	28.050	24.668
MES A MES AÑO 2019	35.310	38.280	35.310	37.950	29.370	34.650	35.970	37.950	31.680	36.630	34.320	28.050	34.623
VARIACIÓN AÑO	-25%	-68%	-28%	-25%	25%	-47%	-38%	-43%	-14%	-32%	-30%	0%	
VALOR	\$ 7.030.927	\$ 14.631.929	\$ 24.813.549	\$ 22.368.893		\$ 13.835.853							\$ 16.536.230
VARIACIÓN MENSUAL		\$ 7.601.002	\$ 10.181.620	-\$ 2.444.656	-\$ 22.368.893	\$ 13.835.853	-\$ 13.835.853	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	
		108%	70%	-10%	-100%	-	-100%	0%	0%	0%	0%	0%	
PROMEDIO 2019	34.623												
1,0%	346,2												
META vigencia 2022	34.276												
RESULTADOS 2022													
META 2022		34.276				Promedio vigencia 2019		34.623					
PROMEDIO 2022		24.668				Promedio estimado 2022		34.276					
RESPECTO A LA META													
		-28,03%				Promedio Vigencia 2022		24.668					

Teniendo en cuenta la proyección anterior del análisis de consumo energético, se procede a consultar la hora de radiación del sol para la ciudad de Bucaramanga consultada el 14 de julio de 2023 a través del enlace el tiempo net.

Figura 26. Radiación solar Bucaramanga

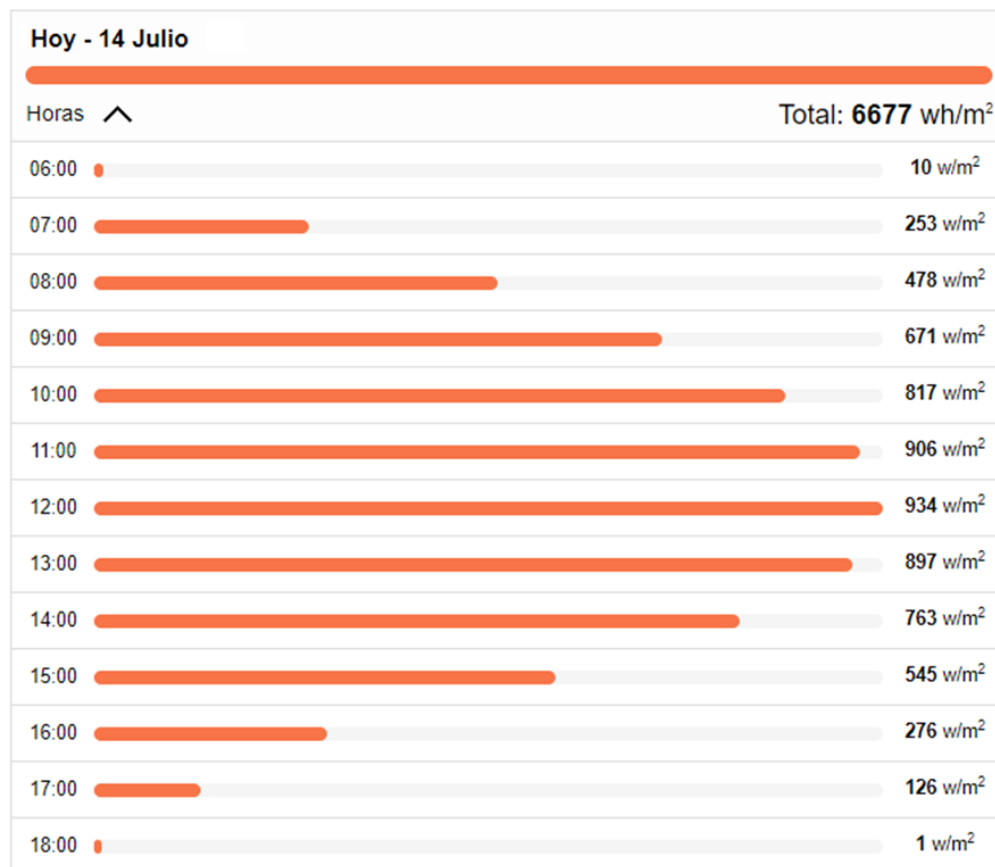
La unidad de medida de la **radiación solar** se expresa en **W/m²** (Wattios por metro cuadrado).

Hablamos de radiación solar en términos generales, para referirnos a las magnitudes habría que hablar de Irradiancia o de Irradiación.

Irradiancia: potencia de la radiación solar por unidad de área (W/m²).

Irradiación: energía por unidad de área (Wh/m²).

Radiación solar



En la figura 26 se observa que la mayor radiación durante el día en condiciones normales, en la ciudad de Bucaramanga, se da entre las 10:00 a.m. y 2:00 p.m. según el registro energético solar.

Tabla 16. *Proyección viabilidad energética*

AÑO 2022					
MES	KW/MES	PAGO SS	Valor kW/mes	Wattios/mes	Wattios/dia
1	12210	\$ 7.030.927	\$ 576	12210000	407000,0
2	25400	\$ 14.631.929	\$ 576	25400000	846666,7
3	28380	\$ 24.813.549	\$ 874	28380000	946000,0
4	36650	\$ 22.368.893	\$ 610	36650000	1221666,7
5	18480	\$ 12.073.740	\$ 653	18480000	616000,0
6	22400	\$ 15.219.438	\$ 679	22400000	746666,7
7	21780	\$ 15.244.506	\$ 700	21780000	726000,0
8	27430	\$ 19.650.399	\$ 716	27430000	914333,3
9	24750	\$ 17.862.924	\$ 722	24750000	825000,0
10	24090	\$ 17.386.579	\$ 722	24090000	803000,0
11	28050	\$ 20.244.648	\$ 722	28050000	935000,0
12	24750	\$ 17.862.924	\$ 722	24750000	825000,0
Valor promedio		\$ 17.032.538	\$ 689		

En la primera columna de la tabla 16, se recopilieron los consumos mes a mes del año 2022 (periodo que cuenta con todos los registros de consumo y costos energéticos de la CDMB), para ello se muestra en la columna siguiente los valores en \$ pesos que la entidad cancela por servicio de energía eléctrica. En la columna posterior se encuentra el valor del kw/mes promedio según el dato suministrado por la Electrificadora de Santander – ESSA.

Se infiere que el valor promedio de pago mensual del consumo eléctrico correspondiente a la vigencia 2022 fue de \$17.032.538 y el valor promedio de kW/mes fue de \$689. Para el año 2023 se estima, según el comportamiento presentado, un valor promedio de pago mensual de \$22.904.724 y un valor promedio de Kw/mes de \$ 799,51.

Ahora bien, considerando las propuestas económicas con el montaje de los 84 paneles solares en las terrazas 1 y 2 descritas anteriormente, el valor total de la inversión para implementar un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la CDMB sería de \$288.738.946 y se produciría 78143 kWh/año, es decir 6511,91 kWh/mes, lo que representa el 10% de ahorro en el costo por consumo del servicio de energía eléctrica. Del mismo modo,

teniendo en cuenta las variables mencionadas, a continuación, se presenta un cálculo financiero para determinar en cuánto tiempo se retorna la inversión.

Tabla 17. *Amortización de inversión*

Mes	Valor kW/mes	Valor producido	Interés 1%	Valor Inversión
1	576	\$ 3.750.864	-	\$ 288.738.946
2	576	\$ 3.750.864	\$ 2.849.881	\$ 284.988.082
3	874	\$ 5.691.415	\$ 2.840.871	\$ 284.087.099
4	610	\$ 3.972.269	\$ 2.812.366	\$ 281.236.555
5	653	\$ 4.252.282	\$ 2.800.767	\$ 280.076.651
6	679	\$ 4.421.591	\$ 2.786.251	\$ 278.625.136
7	700	\$ 4.558.342	\$ 2.769.898	\$ 276.989.796
8	716	\$ 4.662.532	\$ 2.752.014	\$ 275.201.352
9	722	\$ 4.701.604	\$ 2.732.908	\$ 273.290.834
10	722	\$ 4.701.604	\$ 2.713.221	\$ 271.322.138
11	722	\$ 4.701.604	\$ 2.693.338	\$ 269.333.756
12	722	\$ 4.701.604	\$ 2.673.255	\$ 267.325.489
13	749	\$ 4.877.524	\$ 2.652.971	\$ 265.297.140
14	758	\$ 4.937.315	\$ 2.630.726	\$ 263.072.588
15	767	\$ 4.997.107	\$ 2.607.660	\$ 260.765.998
16	777	\$ 5.056.898	\$ 2.583.766	\$ 258.376.551
17	786	\$ 5.116.689	\$ 2.559.034	\$ 255.903.419
18	795	\$ 5.176.480	\$ 2.533.458	\$ 253.345.764
19	804	\$ 5.236.272	\$ 2.507.027	\$ 250.702.741
20	813	\$ 5.296.063	\$ 2.479.735	\$ 247.973.497
21	822	\$ 5.355.854	\$ 2.451.572	\$ 245.157.169
22	832	\$ 5.415.645	\$ 2.422.529	\$ 242.252.886
23	841	\$ 5.475.437	\$ 2.392.598	\$ 239.259.770
24	850	\$ 5.535.228	\$ 2.361.769	\$ 236.176.931
25	859	\$ 5.595.019	\$ 2.330.035	\$ 233.003.473
26	868	\$ 5.654.810	\$ 2.297.385	\$ 229.738.488
27	878	\$ 5.714.602	\$ 2.263.811	\$ 226.381.063
28	887	\$ 5.774.393	\$ 2.229.303	\$ 222.930.272
29	896	\$ 5.834.184	\$ 2.193.852	\$ 219.385.182
30	905	\$ 5.893.975	\$ 2.157.448	\$ 215.744.850
31	914	\$ 5.953.766	\$ 2.120.083	\$ 212.008.323
32	923	\$ 6.013.558	\$ 2.081.746	\$ 208.174.640
33	933	\$ 6.073.349	\$ 2.042.428	\$ 204.242.828
34	942	\$ 6.133.140	\$ 2.002.119	\$ 200.211.908
35	951	\$ 6.192.931	\$ 1.960.809	\$ 196.080.887
36	960	\$ 6.252.723	\$ 1.918.488	\$ 191.848.764
37	969	\$ 6.312.514	\$ 1.875.145	\$ 187.514.529
38	979	\$ 6.372.305	\$ 1.830.772	\$ 183.077.160
39	988	\$ 6.432.096	\$ 1.785.356	\$ 178.535.627
40	997	\$ 6.491.888	\$ 1.738.889	\$ 173.888.887

Mes	Valor kW/mes	Valor producido	Interés 1%	Valor Inversión
41	1006	\$ 6.551.679	\$ 1.691.359	\$ 169.135.888
42	1015	\$ 6.611.470	\$ 1.642.756	\$ 164.275.568
43	1024	\$ 6.671.261	\$ 1.593.069	\$ 159.306.854
44	1034	\$ 6.731.053	\$ 1.542.287	\$ 154.228.661
45	1043	\$ 6.790.844	\$ 1.490.399	\$ 149.039.895
46	1052	\$ 6.850.635	\$ 1.437.395	\$ 143.739.450
47	1061	\$ 6.910.426	\$ 1.383.262	\$ 138.326.210
48	1070	\$ 6.970.217	\$ 1.327.990	\$ 132.799.046
49	1080	\$ 7.030.009	\$ 1.271.568	\$ 127.156.819
50	1089	\$ 7.089.800	\$ 1.213.984	\$ 121.398.378
51	1098	\$ 7.149.591	\$ 1.155.226	\$ 115.522.562
52	1107	\$ 7.209.382	\$ 1.095.282	\$ 109.528.196
53	1116	\$ 7.269.174	\$ 1.034.141	\$ 103.414.096
54	1125	\$ 7.328.965	\$ 971.791	\$ 97.179.063
55	1135	\$ 7.388.756	\$ 908.219	\$ 90.821.889
56	1144	\$ 7.448.547	\$ 843.414	\$ 84.341.352
57	1153	\$ 7.508.339	\$ 777.362	\$ 77.736.218
58	1162	\$ 7.568.130	\$ 710.052	\$ 71.005.242
59	1171	\$ 7.627.921	\$ 641.472	\$ 64.147.164
60	1181	\$ 7.687.712	\$ 571.607	\$ 57.160.715
61	1190	\$ 7.747.504	\$ 500.446	\$ 50.044.610
62	1199	\$ 7.807.295	\$ 427.976	\$ 42.797.552
63	1208	\$ 7.867.086	\$ 354.182	\$ 35.418.233
64	1217	\$ 7.926.877	\$ 279.053	\$ 27.905.329
65	1226	\$ 7.986.668	\$ 202.575	\$ 20.257.505
66	1236	\$ 8.046.460	\$ 124.734	\$ 12.473.412
67	1245	\$ 8.106.251	\$ 45.517	\$ 4.551.686
68	1254	\$ 8.166.042	-\$ 35.090	-\$ 3.509.048

En la tabla 17 muestra que la inversión inicial de \$288.738.946, logrará amortizarse en un período de 5 años y 7 meses. Durante este tiempo, el sistema solar fotovoltaico propuesto, generará un flujo de ingresos constante y sostenible, principalmente a través de la energía renovable que se inyecta a la red eléctrica. Gracias a la eficiencia y la capacidad de reducir los costos del servicio de energía eléctrica del edificio, la implementación de este proyecto no solo será financieramente rentable a largo plazo, sino que también contribuirá a la sostenibilidad ambiental y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Entre tanto, para determinar la viabilidad financiera del proyecto de acuerdo con lo estimado en la tasa de ahorro del ejercicio de facturación del servicio de energía que fue del

12% con base en una generación anual de ingresos variable del valor producido, se proyecta el valor presente neto teniendo en cuenta como se muestra en la tabla 18, los saldos actualizados de acuerdo a esa producción, los mismos actualizados a la tasa de ahorro y el cálculo de la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación, teniendo en cuenta que de acuerdo a UPME los proyectos de energía solar tienen una proyección de 20 años.

Tabla 18. *Saldos actualizados con base en la producción calculada anual*

				Saldos actualizados %	Saldos actualizados acumulados
				Tasa ahorro 12%	
Inversión Inicial	Años	Flujo de efectivo			
	0	-\$ 288.738.946,24	\$ 288.738.946,2	-\$ 288.738.946,2	
	1	\$ 53.866.575	\$ 48.095.156,3	-\$ 240.643.790,0	
	2	\$ 62.476.512	\$ 49.805.892,9	-\$ 190.837.897,1	
	3	\$ 71.086.450	\$ 50.597.931,0	-\$ 140.239.966,1	
	4	\$ 79.696.388	\$ 50.648.495,4	-\$ 89.591.470,8	
	5	\$ 88.306.326	\$ 50.107.380,9	-\$ 39.484.089,9	
	6	\$ 96.916.264	\$ 49.100.795,5	\$ 9.616.705,6	
	7	\$ 105.526.202	\$ 47.734.694,7	\$ 57.351.400,3	
Generación Anual	8	\$ 114.136.139	\$ 46.097.672,2	\$ 103.449.072,5	
	9	\$ 122.746.077	\$ 44.263.465,9	\$ 147.712.538,4	
	10	\$ 131.356.015	\$ 42.293.121,3	\$ 190.005.659,7	
	11	\$ 139.965.953	\$ 40.236.866,9	\$ 230.242.526,6	
	12	\$ 148.575.891	\$ 38.135.730,6	\$ 268.378.257,2	
	13	\$ 157.185.828	\$ 36.022.934,8	\$ 304.401.192,1	
	14	\$ 165.795.766	\$ 33.925.098,6	\$ 338.326.290,6	
	15	\$ 174.405.704	\$ 31.863.270,1	\$ 370.189.560,7	
	16	\$ 183.015.642	\$ 29.853.815,7	\$ 400.043.376,4	
	17	\$ 191.625.580	\$ 27.909.181,3	\$ 427.952.557,7	
	18	\$ 200.235.518	\$ 26.038.544,7	\$ 453.991.102,4	
	19	\$ 208.845.455	\$ 24.248.372,6	\$ 478.239.475,0	
	20	\$ 217.455.393	\$ 22.542.897,1	\$ 500.782.372,1	

Una vez se tienen los saldos actualizados, se puede evidenciar que, a partir del sexto año, la inversión actualizada inicial ya genera rentabilidad, esto entonces permite realizar los

cálculos del valor presente neto, la tasa interna de retorno y la verificación de periodo de recuperación, tabla 19.

Tabla 19. *Valor presente neto de la inversión*

VNA	VAN	TIR	Periodo de recuperación -PR (AÑOS)
\$ 557.117.203,47 \$ 557.117.203,5	\$ 268.378.257,23	28,52%	6

En la comparación del valor presente neto de quinientos cincuenta y siete millones de pesos, esto significa que menos la inversión inicial del proyecto, éste genera un valor agregado de \$268 millones frente a \$288 millones que se dispusieron para la implementación de los 84 paneles solares, lo que significa que financieramente, el proyecto fotovoltaico genera una tasa interna de retorno del 28.52% y su periodo de recuperación total es a los seis años de instalación.

Por tanto, los avances en este sector han contribuido a una integración más eficiente y fiable de los recursos renovables en las redes eléctricas. La reestructuración de la industria de la energía eléctrica y la introducción del concepto de red inteligente también ha dado lugar a nuevas tecnologías como los recursos energéticos distribuidos (DER) y la generación distribuida (GD). Las unidades de GD podrían definirse como unidades de generación local que se pueden conectar directamente a la red de distribución.

15. Discusión

La propuesta para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio principal de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, comprende efectos positivos tanto a nivel social como ambiental,

teniendo en cuenta que es una alternativa de solución energética que permitirá el funcionamiento de la entidad, complementando el sistema de la energía eléctrica que se transmite a la red a través del inversor, en consonancia con la energía solar. Ahora bien, por ser la CDMB la autoridad ambiental en su jurisdicción, la implementación de energía renovable no convencional en sus instalaciones, la consolidaría como un claro ejemplo nacional en el cuidado del medio ambiente, al concretizar el uso de la radiación solar como fuente generadora de energía, aportando de esta manera a la disminución de la huella de carbono, al calentamiento global y a los objetivos de desarrollo sostenible, toda vez que este tipo de generación de energía, como ya se dijo, minimiza sustancialmente los impactos ambientales negativos.

Sin duda alguna el común denominador al proyectar un sistema de energía fotovoltaica a través de paneles solares, genera en la conciencia ambiental de los ciudadanos un enfoque más positivo frente a los elementos que ocasionan la contaminación ambiental. Es allí que la necesidad de consumo energético va en crecimiento a medida que la población aumenta, teniendo en cuenta que el suministro de energía mejora la calidad de vida de las personas, puesto que genera mayor productividad y permite el acceso a equipos electrónicos y sistemas de información tecnológica, entre otros.

Por lo anterior, siendo la CDMB una entidad pública ambiental, debe ser la primera en establecer la implementación de un sistema de energía solar a través del sistema fotovoltaico.

Al identificar las características estructurales de los techos del edificio principal, se plantearon las características físicas y los espacios que se tienen disponibles para la instalación de las estructuras fotovoltaicas, en consonancia con los objetivos de desarrollo sostenible, que involucran la necesidad de la adopción de sistemas de energía renovable.

Por tanto, es fundamental que la entidad a través del equipo directivo establezca mesas de trabajo para analizar la propuesta de la implementación de paneles solares, lo que reflejaría el compromiso con el ahorro de energía y el cuidado del medio ambiente generando alternativas viables.

Es importante inferir que este tipo de diseños propuestos para la adopción de sistemas energéticos renovables, requiere que se acojan cambios dentro de las personas que confluyen en el consumo del servicio, siendo de vital interés las características de la región como su ubicación estratégica, la variedad de climas, los recursos naturales renovables y sus políticas estatales encaminadas a cambiar la forma como se concibe el mundo actual.

16. Conclusiones

La pertinencia de la propuesta en la investigación realizada, estuvo enmarcada en la disposición que los investigadores poseen por ser parte de la entidad ambiental, como funcionarios de la CDMB, evidenciando de cerca la problemática a resolver con la propuesta de un sistema de energía fotovoltaica en el edificio principal de la entidad, estableciendo un diseño para mejorar la calidad del sistema energético, buscando minimizar los costos de energía y generar un impacto ambiental favorable.

Es importante destacar que las políticas internas en la CDMB han estado acordes con el diagnóstico efectuado en la entidad, puesto que ya se han establecido parámetros de ahorro del uso eficiente del servicio energético, tanto con los funcionarios de planta, así como con los contratistas que laboran por servicios dentro de la organización. En el desarrollo de cada objetivo, se llevó a cabo la implementación de la metodología de marco lógico, como fue expresado en la tabla 11 de apartados anteriores, lo cual estableció el análisis del problema

junto al análisis de los objetivos, permitiendo así identificar la alternativa más viable para ser propuesta.

La alternativa sugerida fue la de proponer un plan de proyecto para la implementación de un sistema solar fotovoltaico, para esto, se analizó la capacidad de generación de energía solar fotovoltaica, a partir del área disponible en las terrazas del edificio principal de la CDMB que, junto a los análisis técnicos del consumo de energía dentro del horario normal de trabajo, establecieron los costos y ejercicio práctico para el cálculo del área de las terrazas de la CDMB, y la capacidad subutilizada con la que cuenta la entidad para la construcción e instalación de paneles solares.

Se presentó la tecnología y costos asociados al proyecto, al igual que las diferentes marcas y tipos de paneles solares, así como las fichas técnicas de los elementos que componen el sistema, para determinar la información requerida y presentar opciones ante la carencia de orientación técnica para establecer la simulación con base en las fórmulas de potencia.

De allí, se describieron las herramientas de formulación y estructuración de proyectos orientadas por objetivos, generando con ello, la simulación a través del programa PVSYST de las terrazas 1 y 2, lo que permitió definir un área de 424,684 m² disponibles para el montaje de 84 paneles solares, cuyo valor total de inversión es de \$288.738.946, que producirán 78143 kWh/año, es decir 6511,91 kWh/mes, representando el 10% de ahorro en el costo por consumo del servicio de energía eléctrica, lo que generaría aproximadamente 12.84 toneladas de CO₂, considerando el factor de emisión proporcionado para el sistema interconectado del país, que corresponde a 164.38 gramos de CO₂ por kilovatio hora (gCO₂/kWh).

Es importante resaltar, que un sistema “conectado a la red” funciona para complementar el servicio eléctrico existente de una empresa de servicios públicos. Sin lugar

a dudas, hay un crecimiento fenomenal experimentado en el mercado de la energía solar fotovoltaica (PV). Los avances tecnológicos han reducido el costo de la generación de energía solar fotovoltaica y han provocado cambios en las políticas de los gobiernos de todo el mundo. Entre las tecnologías de energía solar, el sistema solar fotovoltaico se está volviendo cada vez más popular. Por lo tanto, es necesario evaluar las soluciones tecnológicas favorables, incluido el rendimiento de campo, la adopción por parte del consumidor, la interconexión de la red, el almacenamiento de energía y la evaluación del impacto ambiental.

Resulta imperativo que la corporación continúe con la implementación del plan de eficiencia energética orientado a promover el uso racional de la energía y la utilización de nuevos equipos y tecnologías que le permita ahorrar recursos, además de generar conciencia entre su personal y las partes interesadas, lo que conlleva consecuentemente a fortalecer su posición como autoridad ambiental innovadora y sostenible.

Ahora bien, la aplicación de la metodología de marco lógico, también permite concluir en términos prácticos, que la CDMB ahora cuenta con el análisis de involucrados, árbol de problemas y objetivos, análisis de las alternativas, estructura analítica del proyecto así como la descripción narrativa del resumen de la presente propuesta a través de la matriz de marco lógico, resultados que coherente e ineludiblemente, facilitarán la toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental, acerca de la implementación de la energía renovable no convencional que se genera a través del sistema fotovoltaico y de esta manera la materialización de la presente propuesta.

Finalmente, es importante señalar que la energía juega un papel importante en la prestación de servicios socioeconómicos de primera calidad en cualquier sociedad. La utilización de la energía mejora la calidad de vida social y simplifica la productividad de las

actividades económicas. La necesidad de electricidad es bien conocida en todo el mundo, lo que hace que esta investigación resulte importante para el desarrollo sustentable y para la imagen corporativa de la CDMB.

Referencias

- Arencibia, G. (2016). *La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63647456002.pdf>
- Banco Mundial. (2021). *Energía*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2021/06/07/report-universal-access-to-sustainable-energy-will-remain-elusive-without-addressing-inequalities>
- Buendía, A. (2014). *Caracterización y evaluación económica para la inversión en plantas menores a 20 MW*. [(Tesis de maestría) / Maestría en Ingeniería Sistemas Energéticos]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/31089/32070066.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cagua, A. (2021). *Revisión guía PMBOK séptima edición*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/an%C3%A1lisis-de-la-revisi%C3%B3n-gu%C3%ADa-del-pmbok-7-y-los-12-cagua-ospino/?originalSubdomain=es>
- Carli, R., Dotoli, M., & Pellegrino, R. (2018). *Multi-criteria decision-making for sustainable metropolitan cities*. J Environ Manage 226:46–61: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30107310/>
- Castellanos, A. (2018). *Impacto de la regulación de energía eléctrica en generación distribuida en países de américa latina y el caribe*. Repository. UDISTRITAL. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14768/CastellanosToroAndr%C3%A9Felipe2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, A. (2021). *Evaluación para proyectos de implementación de sistemas Solares fotovoltaicos en la infraestructura gubernamental de Sabana Centro*. Intellectum. Unisabana.

- <https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/49532/Tesis%20Ana%20Mar%C3%ADa%20Castro%20Gonz%C3%A1lez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CDMB. (2006). *Resolución 1890 de 2006*.
http://www.cdm.gov.co/images/documentos/institucional/Resolucion_1890_de_2006.pdf
- CDMB. (2021). *Objeto y funciones*. <http://www.cdm.gov.co/cdm/funciones>
- Celadyn, W., & Pawel, F. (2020). "Investigation of the Effective Use of Photovoltaic Modules in Architecture". *Buildings* 10, no. 9: 145. :
<https://doi.org/10.3390/buildings10090145>
- Celsia. (2021). *Sistema Interconectado*. <https://www.celsia.com/wp-content/uploads/2021/02/Documento-de-trabajo-sobre-el-Sistema-Interconectado-Nacional.pdf>
- CEPAL. (2021). *Cuarto informe sobre el progreso y los desafíos regionales*. Repositorio. CEPAL.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46682/6/S2100125_es.pdf
- CEPAL. (2021). *Ley por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país*.
<https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/ley-medio-la-cual-se-impulsa-desarrollo-carbono-pais-mediante-establecimiento-metas>
- Chamorro, C., & Lozano, M. (2021). *Análisis de distintos escenarios de generación de energía*. UVADOC. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/47194/TFG-I-1818.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CODS. (2019). *El costo ambiental de las hidroeléctricas está subestimado*.
<https://cods.uniandes.edu.co/el-costo-ambiental-de-las-hidroelectricas-esta-subestimado-investigadores-de-la-u-michigan/>

Constitución Política de Colombia. (1991). *Artículo 80*. BCN.

<https://www.bcn.cl/procesoconstituyente/comparadordeconstituciones/constitucion/col>

Damette, O., Delacote, P., & Del Lo, G. (2017). “*Households energy consumption and transition toward cleaner energy sources*”. en.. Obtenido de In: Energy Policy 113, pp. 751–764. issn: 03014215. : doi: 10.1016/j.enpol.2017.10.060.

DPN. (2016). *Proyecto instalación Celdas fotovoltaicas*. Proyectos tipo. <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/Celdas/ptceldas.pdf>

DPN. (2022). *Aprobado CONPES de Transición Energética que consolidará el proceso hacia un desarrollo y crecimiento económico sostenible*. DNP. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/CONPES-de-Transicion-Energetica-que-consolidara-el-proceso-hacia-un-desarrollo-y-crecimiento-economico-sostenible-aprobado.aspx>

Ecogreen Solar. (2021). *Datos Eléctricos (STC)*. <https://www.ecogreensolar.co/wp-content/uploads/2023/01/645W-670W-1.pdf>

Edenhoffer, O. (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía*. Archive. IPCC. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf

Enerclub. (2018). *Energía y Geoestrategia 2018*. <https://www.enerclub.es/extfrontenerclub/img/File/indexed/cecme/2018/Energia%20y%20geoestrategia%202018.pdf>

Espitia, C. (2017). *Guía metodológica para la implementación de sistemas*. Repositorio. UDES. <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/0cb7ae08-d49d-4b94-b9f2-9a8fbb548582/content>

- European Photovoltaic Industry Association. (2018). *Electrical capacity for wind and solar photovoltaic power - statistics*. EC. EUROPA. EU.
<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/94661.pdf>
- EZOIC. (2019). *Energía Solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/>
- Fuglestad, K. (2021). *Energía fotovoltaica integrada en edificios en Noruega, desafíos y estándares*. DUO.UIO.NO. <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/87565/Master-s-thesis-Kristine-Fuglestad.pdf?sequence=1>
- Gaitan, D., y Vargas, E. (2019). *Propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico en proyectos de vivienda de interés social*. Repositorio Unbosque.
https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2571/Gait%C3%A1n_Moya_David_Santiago_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez, J., Murcia, J., y Cabeza, I. (2018). *La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales*. STUDOCU. <https://www.studocu.com/co/document/servicio-nacional-de-aprendizaje/ciencias/gomez-2018-ciencia/34639184>
- Gonzales, T. (2015). *Integración de las energías renovables*. UPME.
http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
- GOV.co. (2020). *Emisiones de CO2*. XM. <https://www.xm.com.co/noticias/en-colombia-factor-de-emision-de-co2-por-generacion-electrica-del-sistema-interconectado>
- Hal, H., & Orvis, R. (2018). *Designing climate solutions: a policy guide for low-carbon energy*. Obtenido de Washington: Island Press. isbn: 978-1-61091-956-2.:
https://www.researchgate.net/publication/333349587_Designing_Climate_Solutions_A_Policy_Guide_for_Low-Carbon_Energy

Hanna, k., & McGuigan, E. (2016). *A Gap Analysis of Impact and Assessment Research*.

Obtenido de <https://renewableenergy.usask.ca/CEAR---Gap-Analysis.pdf>

IAEA. (2022). *Sistemas de Energía Híbrida Nuclear-Renovable*. Obtenido de [https://www-](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/PUB2041_web.pdf)

[pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/PUB2041_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/PUB2041_web.pdf)

IDEAM. (2020). *Datos actualizados monitoreo*. [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/id/72115815?_101_INSTANCE_LdWW0ECY1uxz_urlTitle=ideam-presento-los-datos-actualizados-del-monitoreo-a-la-deforestacion-en-2017)

[prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/id/72115815?_101_](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/id/72115815?_101_INSTANCE_LdWW0ECY1uxz_urlTitle=ideam-presento-los-datos-actualizados-del-monitoreo-a-la-deforestacion-en-2017)

[INSTANCE_LdWW0ECY1uxz_urlTitle=ideam-presento-los-datos-actualizados-](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/id/72115815?_101_INSTANCE_LdWW0ECY1uxz_urlTitle=ideam-presento-los-datos-actualizados-del-monitoreo-a-la-deforestacion-en-2017)

[del-monitoreo-a-la-deforestacion-en-2017](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/id/72115815?_101_INSTANCE_LdWW0ECY1uxz_urlTitle=ideam-presento-los-datos-actualizados-del-monitoreo-a-la-deforestacion-en-2017)

IDEAM. (2021). *Gases efecto invernadero*. [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf)

[21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf)

IPCC. (2023). *Cambio Climático* . <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>

Ley 143. (1994). *Régimen para la generación, interconexión, transmisión de energía*

eléctrica.. Función pública. [https://www.funcionpublica.gov.co/eva/](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631)

[gestornormativo/norma.php?i=4631](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631)

Ley 1715. (2014). *Integración de energías renovables*. Función pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Ley 2099. (2021). *Disposiciones de la transición energética*. Secretaría del Senado.

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_2099_2021.html

Ley 2169. (2021). *Carbono neutralidad* . SUIN-JURISCOL. de [https://www.suin-](https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30043747)

[juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30043747](https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30043747)

Ley 697. (2001). *Uso racional y eficiente de la energía*. Función pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4449>

Ley 99. (1993). *La política ambiental colombiana*. CAR. [https://www.car.gov.co/](https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac387b80e3a2.pdf)

[uploads/files/5ac387b80e3a2.pdf](https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac387b80e3a2.pdf)

- Middelhaue, L., Girardin, F., & Baldi, F. (2021). *Potential of Photovoltaic Panels on Building Envelopes for Decentralized District Energy Systems*. FRONTIERSIN <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2021.689781/full>
- Min Minas y Energía. (2023). *Transición Energética justa*. ACOLGEN https://acolgen.org.co/wp-content/uploads/2023/06/2_IRENE-VELEZ_-MINISTRA-MINAS-Y-ENERGIA.pdf
- Muñoz, Y., & Acebedo, G. (2019). *Evaluación del potencial de energía solar en Santander, Colombia*. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/337456682_Evaluacion_del_potencial_de_energia_solar_en_Santander_Colombia
- NASA. (2023). *Hora solar pico*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- ONU. (2018). *Energías renovables*. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- ONU. (2019). *Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna*. UN. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- ONU. (2022). *Cifras del cambio climático*. UN. <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures>
- Ortegón, E., Pacheco, J. y Prieto, A. (2015). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Repositorio CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5607/S057518_es.pdf
- Pacheco, F. (2018). *Modelo de gestión estratégica para la industria de energías renovables bajo el escenario de cambio de la matriz energética del Ecuador*. Repositorio UASB. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6451/1/T2761-MBA-Pacheco-Modelo.pdf>

- Ríatiga, E. (2016). *Aprovechamiento energético de los residuos sólidos y radiación solar en el Colegio Técnico Vicente Azuero*. STUDOCU. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-industrial-de-santander/modelamiento-y-simulacion/aprovechamiento-energetico-de-los-residuos-solidos-y-radiacion-solar-en-el-colegio-tecnico-vicente-azuero/10659180>
- Rojas, N. (2021). *Evaluación de los posibles efectos económicos de las metas de mitigación*. Bogotá.
- Sanandres.gov. (2021). *Ubicación gráfica*. https://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=116
- SIAC. (2020). *Acerca del cambio climático*. http://cifras.siac.gov.co/Portal-SIAC-web/faces/cambioclimatico_inicio.xhtml
- Tiemponet. (2023). *Radiación solar Bucaramanga - julio 14*. <https://www.tut tiempo.net/radiacion-solar/bucaramanga.html>
- Torres, J. (2021). *Resumen, análisis y conclusiones de la nueva guía PMBOK® y estándar – Séptima edición*. Obtenido de <https://www.gpm.net.pe/p/index.php/noticia/376-pmb7>
- UPME. (2013). *Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*. https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Guia_estructura_ISO50001.pdf
- UPME. (2019). *Cobertura energía*. http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion_Cobertura_Energia.pdf
- UPME. (2023). *Capacidad instalada que entraría al sistema interconectado nacional*. <https://twitter.com/UPMEOficial/status/1652443842191278081>

XiuFeng, W., ChunYing, Y., WeiCHi, H., & ZongRui, P. (2022). *Diseño integrado de tecnología de generación de energía solar fotovoltaica y construcción de edificios basados en el internet de las cosas*. Sciencedirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016821005184>