

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA CONFORMACIÓN DE UNA EMPRESA
EN PROYECTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIALES EN EL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Oscar Fabián Barón Oviedo

Néstor José Villa Jiménez

Escuela de Administración de Negocios. EAN.

Especialización de gerencia de proyectos.

Seminario de investigación

Bogotá D.C

Diciembre 2024

ESTUDIO VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA CONFORMACIÓN DE UNA EMPRESA EN
PROYECTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIALES EN ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Oscar Fabián Barón Oviedo

Néstor José Villa Jiménez

Escuela de Administración de Negocios. EAN.

Especialización de gerencia de proyectos.

Seminario de investigación

Bogotá D.C

Diciembre 2024

Tabla de contenido

.....	7
1. Resumen	7
2. Problema de Investigación.....	8
3. Objetivos.....	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos.....	10
4. Justificación	11
5. Marco Teórico.....	13
5.1 Situación Energética en Colombia.....	13
5.2 Recursos energéticos en Colombia.....	15
5.2.1 Recursos Renovables	16
5.2.2 Recursos No Renovables	17
5.3 Infraestructura Energética en Colombia	18
5.3.1 Redes de Transmisión y Distribución.....	20
5.3.2 Plantas de Generación de Energía.....	21
5.4 Consumo Final de Energía en Colombia	24
5.4.1 Sectores de Consumo	24
5.4.2 Tendencias y Proyecciones.....	27

5.5	Impacto Ambiental de la Energía en Colombia.....	28
5.5.1	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.....	29
5.5.2	Biodiversidad y Ecosistemas.....	31
5.6	Innovación y Desarrollo Tecnológico en el Sector Energético.....	32
5.6.1	Desarrollos Tecnológicos Innovadores.....	34
5.7	Desafíos y Oportunidades Futuras del Sector Energético en Colombia.....	35
5.8	Potencial Solar en Colombia.....	36
5.8.1	Introducción al Potencial Solar en Colombia.....	36
5.8.2.	Importancia de la Energía Solar en el Contexto Nacional.....	37
5.8.3	Recursos Solares en Colombia.....	38
5.8.4.	Tecnologías para la Captación de Energía Solar.....	40
5.8.5.	Expansión de la Energía Solar en Colombia.....	41
5.8.6.	Impacto Socioeconómico de la Energía Solar en Colombia.....	43
5.8.7	Innovación y Avances Tecnológicos en el Sector Solar.....	44
5.8.8	Desafíos y Oportunidades para la Expansión de la Energía Solar en Colombia	45
5.8.9.	Comparativa Internacional del Potencial Solar.....	47
5.9	Impacto y beneficios de la energía solar fotovoltaica Colombia.....	48
5.9.1.	Introducción a la Energía Solar Fovoltaica.....	48
5.9.2	Definición y Principios Básicos.....	50

5.9.3. Contexto Energético en Colombia	51
5.9.4 Fuentes de Energía Actuales	53
5.9.5 Potencial Solar en Colombia	54
5.9.6 Recursos Solares Disponibles	56
5.9.7 Beneficios Económicos.....	57
5.9.8 Reducción de Costos Energéticos.....	59
5.9.9 Impacto Ambiental.....	61
5.9.10 Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	62
5.9.11 Desarrollo Tecnológico y Capacitación.....	64
5.9.12 Avances en Tecnología Fotovoltaica	65
5.9.13 Innovación y Avances Tecnológicos en el Sector Solar	67
5.9.14 Desafíos y Barreras.....	68
5.9.15 Perspectivas Futuras y Oportunidades de Crecimiento	70
6 Marco Legal	72
7 Metodología	75
7.1 Enfoque, alcance y diseño de la investigación	75
7.2 Analizar los aspectos normativos, regulatorios, económicos y técnicos aplicable a los sistemas fotovoltaicos residenciales en Colombia, con énfasis en su implementación en el área metropolitana de Bucaramanga.....	76

7.3 Estudiar las tecnologías y componentes más utilizados en sistemas fotovoltaicos residenciales, según estudios y casos documentados a nivel nacional e internacional a fin de establecer la infraestructura eléctrica y la capacidad de conexión para integrar sistemas fotovoltaicos en el contexto residencial del área metropolitana de Bucaramanga.	81
7.4 Examinar estudios y estadísticas sobre la adopción de sistemas fotovoltaicos en áreas urbanas similares a Bucaramanga, para identificar factores clave que influyen en su éxito técnico y operativo a fin de plantear alternativas para su implementación.....	84
7.4.1 Variables, población y fuentes de información	86
7.4.2 Definición de Variables	86
7.4.3 Viabilidad Técnica:	86
7.4.5 Impacto Ambiental:.....	88
7.4.6 Aceptación Social:.....	88
7.5 Población	88
7.5.3 Distribución Geográfica	89
7.5.4 Socioeconomía.....	91
7.5.5 Tendencias del Mercado Solar	92
8. Enfoque Metodológico	94
8.1 Población relacionada incluida en la metodología	94
8.3 Análisis Documental.....	96
8.4 Análisis de Datos.....	98
8.4.1 Análisis Cualitativo	98

8.4.2	Análisis de sensibilidad:.....	99
8.4.3	Análisis de Mercado	101
9.	Factores de Evaluación de Factibilidad.....	102
9.1	Factibilidad Técnica.....	102
9.2	Análisis del Marco Legal y Político	104
10.	Referencias	105

1. Resumen

Este estudio de viabilidad técnica evalúa la creación de una empresa dedicada a la implementación de sistemas fotovoltaicos residenciales. Se identifica una creciente demanda por ayudas energéticas sostenibles, debido al aumento de los costos de la electricidad y la conciencia ambiental. En este contexto, la energía solar se presenta como una solución efectiva para mitigar el impacto financiero en los hogares y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Se tienen en cuenta las tecnologías disponibles, como paneles solares fotovoltaicos de alta eficiencia y sistemas de almacenamiento energético, así como la capacitación del personal para garantizar instalaciones seguras y eficientes. La normativa actualmente vigente en Colombia, que incluye la Ley 1715 de 2014 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), proporciona un marco legal que fomenta el uso de energías renovables y establece estándares técnicos que deben cumplirse.

Además, se consideran los costos de instalación y mantenimiento, así como el análisis del retorno de inversión (TIR y VPN), lo cual es crucial para evaluar la viabilidad económica del proyecto. Este análisis financiero permitirá identificar el ahorro potencial en las facturas de electricidad y la rentabilidad del negocio a largo plazo.

Finalmente, se destaca el impacto positivo en la reducción de la huella de carbono, contribuyendo a los esfuerzos globales por combatir el cambio climático. La implementación de sistemas fotovoltaicos no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también promueve un uso más responsable y sostenible de los recursos energéticos.

Con un plan estratégico claro y un enfoque en la innovación tecnológica, se puede contribuir significativamente al sector energético y al desarrollo sostenible en la región, mejorando la calidad de vida de los residentes y fomentando un futuro más verde. Palabras clave: Energía solar, sostenibilidad, huella de carbono, cambio climático, desarrollo sostenible.

2. Problema de Investigación

En la actualidad, el aumento en los costos del servicio de energía eléctrica y la preocupación por el cambio climático han llevado a que las energías renovables se vuelvan más atractivas para las personas, en especial la energía solar. Sin embargo, en muchas regiones, la implementación de sistemas solares a nivel residencial enfrenta grandes barreras. Entre las principales causas se encuentran la falta de información sobre este tipo de tecnologías, la percepción de altos costos iniciales y la falta de personal técnico capacitado para este tipo de sistemas. Además, la normatividad vigente y los incentivos tributarios pueden no ser lo suficientemente claros y/o accesibles, lo que desmotiva a los posibles consumidores y/o usuarios finales.

¿A qué se debe ello? La escasa presencia de sistemas solares fotovoltaicos en el mercado residencial, a pesar de su gran ayuda para disminuir los costos del servicio de energía eléctrica y huella de carbono, se debe a que muchos propietarios de viviendas y/o usuarios finales desconocen los beneficios tributarios y ambientales que ofrecen este tipo de tecnologías. Además, la falta de empresas capacitadas en la instalación y mantenimiento de estos sistemas hace que el acceso a este tipo de nuevas tecnologías sea limitado, al igual que el temor al retorno de la inversión realizada (Cusva García, 2022).

Sin la implementación de sistemas fotovoltaicos, las familias seguirán incurriendo en altos costos del servicio de electricidad, lo que podría llevar a un incremento en la pobreza energética y una disminución en la calidad de vida de muchos ciudadanos. La pobreza energética no solo afecta el bienestar económico, sino que también tiene repercusiones en la salud, educación y desarrollo social.

Para abordar este problema, es fundamental desarrollar estrategias que fomenten la creación de una empresa especializada en la instalación de sistemas fotovoltaicos residenciales. Estas estrategias deben incluir campañas educativas que informen a los consumidores sobre los beneficios económicos y ambientales de los sistemas solares, así como sobre los incentivos fiscales disponibles. También es crucial establecer alianzas con instituciones educativas para capacitar a técnicos locales en instalación y mantenimiento.

En este contexto, la pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿Cuál es la viabilidad técnica de conformar una empresa dedicada a la instalación de sistemas fotovoltaicos residenciales en Bucaramanga, considerando el mercado local y los beneficios tributarios ofrecidos por el gobierno actualmente? Este enfoque permitirá no solo identificar las oportunidades de negocio en el sector de la energía solar, sino también contribuir al desarrollo

sostenible y a la mejora de la calidad de vida de los usuarios finales (García Bojacá & Lasso López, 2021).

La energía solar no solo representa una solución efectiva para reducir costos energéticos a largo plazo, sino que también desempeña un papel crucial en la mitigación del cambio climático. Al generar electricidad sin emisiones directas de gases contaminantes durante su operación, contribuye significativamente a disminuir la huella ecológica asociada al consumo energético. Además, al fomentar el uso de tecnologías limpias, se promueve un modelo energético más sostenible que puede ser replicado en diversas comunidades.

Por lo tanto, es imperativo abordar las barreras existentes mediante políticas públicas claras que faciliten el acceso a información sobre energías renovables y promuevan incentivos atractivos para su adopción. La creación de una empresa dedicada a esta causa no solo puede capitalizar una creciente demanda del mercado sino también impulsar un cambio hacia un futuro más sostenible y equitativo.

3. Objetivos

Objetivo general

Realizar un estudio de viabilidad técnica para la creación de una empresa dedicada a proyectos de sistemas fotovoltaicos residenciales en el área metropolitana de Bucaramanga

Objetivos específicos

- Analizar los aspectos normativos, regulatorios, económicos y técnicos aplicable a los sistemas fotovoltaicos residenciales en Colombia, con énfasis en su implementación en el área metropolitana de Bucaramanga.

- Estudiar las tecnologías y componentes más utilizados en sistemas fotovoltaicos residenciales, según estudios y casos documentados a nivel nacional e internacional a fin de establecer la infraestructura eléctrica y la capacidad de conexión para integrar sistemas fotovoltaicos en el contexto residencial del área metropolitana de Bucaramanga.
- Examinar estudios y estadísticas sobre la adopción de sistemas fotovoltaicos en áreas urbanas similares a Bucaramanga, para identificar factores clave que influyen en su éxito técnico y operativo a fin de plantear alternativas para su implementación.

4. Justificación

El estudio de viabilidad técnica para la creación de una empresa en proyectos de sistemas solares residenciales es fundamental en la actualidad, dada la crisis energética y el cambio climático. El aumento de los costos de la electricidad y la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles hacen que las energías renovables, especialmente la energía solar, se conviertan en una solución atractiva para las familias. La energía solar no solo ofrece una alternativa viable para reducir los gastos en servicios públicos, sino que también contribuye a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que es crucial en el contexto actual de calentamiento global.

A pesar de los beneficios tributarios y ambientales que ofrecen este tipo de tecnologías, su implementación se enfrenta a diversas barreras, la falta de información sobre este tipo de tecnologías y sus beneficios, la percepción de altos costos iniciales y la escasez de personal técnico capacitado, limitan el acceso a esta alternativa energética (Ministerio de Minas y Energía, 2021; UPME, 2022). Además, aunque existen normativas y beneficios fiscales diseñados para

fomentar la adopción de energías renovables, estos a menudo son poco claros o difíciles de acceder (Ortiz & Restrepo, 2020; CREG, 2020). Esta confusión puede llevar a que los potenciales usuarios desistan de invertir en sistemas solares, perpetuando así su dependencia de fuentes energéticas convencionales.

La escasa presencia de sistemas solares fotovoltaicos en el mercado residencial, a pesar de su gran ayuda para disminuir los costos del servicio eléctrico y la huella de carbono, se debe a que muchos propietarios desconocen los beneficios tributarios y ambientales que ofrecen estas tecnologías. Además, la falta de empresas capacitadas en la instalación y mantenimiento de estos sistemas limita el acceso a estas nuevas tecnologías y alimenta el temor al no retorno sobre la inversión realizada (Cusva García, 2022). Sin la implementación de sistemas fotovoltaicos, las familias seguirán incurriendo en altos costos del servicio eléctrico, lo que podría llevar a un incremento en la pobreza energética y una disminución en la calidad de vida de muchos ciudadanos. La pobreza energética no solo afecta el bienestar económico, sino que también tiene repercusiones en la salud, educación y desarrollo social.

Para abordar este problema, es fundamental desarrollar estrategias que fomenten la creación de una empresa especializada en la instalación de sistemas fotovoltaicos residenciales. Estas estrategias deben incluir campañas educativas que informen a los consumidores sobre los beneficios económicos y ambientales de los sistemas solares, así como sobre los incentivos fiscales disponibles. También es crucial establecer alianzas con instituciones educativas para capacitar a técnicos locales en instalación y mantenimiento. De esta manera, se puede no solo aumentar el conocimiento sobre las energías renovables sino también crear un mercado laboral especializado que apoye el crecimiento del sector.

En este contexto, la pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿Cuál es la viabilidad técnica de conformar una empresa dedicada a la instalación de sistemas fotovoltaicos residenciales en Santander, considerando el mercado local y los beneficios tributarios ofrecidos por el gobierno actualmente? Este enfoque permitirá no solo identificar las oportunidades de negocio en el sector de la energía solar sino también contribuir al desarrollo sostenible y a la mejora de la calidad de vida de los usuarios finales (García Bojacá & Lasso López, 2021).

Además, al fomentar el uso de energías renovables como la solar se puede impulsar un cambio cultural hacia prácticas más sostenibles que benefician no solo a las familias individuales sino también al medio ambiente en su conjunto. La transición hacia un modelo energético más sostenible es esencial para enfrentar los desafíos del cambio climático y asegurar un futuro más limpio y saludable para las próximas generaciones. Este estudio no solo busca establecer un modelo viable para el negocio propuesto sino también contribuir activamente al bienestar social y ambiental en Bucaramanga.

5. Marco Teórico

5.1 Situación Energética en Colombia

Históricamente, la energía primaria se utiliza para producir energía final, como el petróleo crudo que se utiliza en motores de combustión interna o calderas para generar calor y, posteriormente, energía. Sin embargo, en Colombia, se han impulsado esfuerzos para diversificar la matriz energética y promover la generación de energía eólica y solar, aunque hasta el momento, estos proyectos se han desarrollado sin más garantías que los estudios de recursos basados en experiencias externas (Galindo Galindo et al., 2024).

No se puede negar que es posible implementar estas tecnologías de manera segura y rentable si se realiza un análisis que establezca las probabilidades de éxito y fracaso. Este

análisis debe considerar aspectos económicos, técnicos y ambientales, y asegurar la sostenibilidad a largo plazo mediante la aplicación de estrategias de gestión adecuadas (Baca et al., 2023). La evaluación de estos aspectos es crucial para garantizar que los proyectos de energías renovables no solo sean viables desde el punto de vista técnico, sino también financieramente sostenibles.

El principal objetivo de los estudios vinculados es analizar la situación energética del país, tomando como base informes y estudios sobre la política energética, la economía del sector minero y el mercado de combustibles. Estas evaluaciones buscan garantizar la idoneidad en términos de tecnologías en circunstancias específicas, como los proyectos de energías renovables, donde la probabilidad de pérdida de los recursos naturales es un factor determinante (Galindo Galindo et al., 2024; Baca et al., 2023). Además, es esencial considerar las lecciones aprendidas de proyectos anteriores tanto en Colombia como en otros países para evitar errores pasados y maximizar las oportunidades.

La implementación exitosa de sistemas solares y eólicos puede contribuir significativamente a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, para lograrlo es necesario contar con un marco regulatorio claro que incentive la inversión en tecnologías limpias y garantice un retorno adecuado sobre la inversión (Ministerio de Minas y Energía, 2021; UPME, 2022). Esto incluye no solo incentivos fiscales sino también un apoyo técnico continuo para los desarrolladores e inversionistas.

Por lo tanto, este estudio no solo busca identificar las oportunidades en el sector energético colombiano sino también contribuir a un futuro más sostenible mediante el fomento de energías renovables. La transición hacia una matriz energética diversificada es esencial para

enfrentar los desafíos del cambio climático y asegurar un desarrollo económico sostenible (Baca et al., 2023; Galindo Galindo et al., 2024).

5.2 Recursos energéticos en Colombia.

Se consideran recursos energéticos todas aquellas formas de energía que pueden permitir la obtención de otras útiles para el hombre. La inmensa mayoría de las fuentes de energía que utilizamos en la actualidad proceden de la energía almacenada en sustancias situadas de forma natural en la corteza terrestre, a las que denominaremos recursos (Carbonari et al., 2021; Silva Lopez, 2023). Las principales energías proceden de combustibles fósiles, hidrocarburos en los que termina desembocando también la gran mayoría de las energías usadas en la actualidad (ALVARADO & JAMIOY, 2023; Bohórquez Jamioy & Camacho Alvarado, 2023). La posición geoeconómica privilegiada ha permitido a Colombia disponer de un amplio abanico de recursos energéticos (Miranda Ibarra et al., 2021), que le da la ventaja de disponer de una matriz energética diversificada. Colombia dispone de minas de carbón, fundamentales en su estrategia energética, para la generación de electricidad y exportación. La explotación del petróleo hace parte del sector secundario, ya que para su refinación y transformación se requiere un gran desarrollo tecnológico (Niño Zárate, 2023).

El petróleo es la primera fuente de generación de energía en Colombia, con el 47.4%, seguida de las hidroeléctricas con el 38%, transportes con un 6%, energía térmica con un 6%, y vegetal con un 1.6% (Carbonari et al., 2021). El gas natural tiene un gran crecimiento en Colombia, pasó del 6.32% en 2006 al 9.46% en 2007 y al 11.58% en 2008, impulsado por los yacimientos en La Guajira y el desarrollo de las térmicas (Miranda Ibarra et al., 2021).

5.2.1 Recursos Renovables

La radiación solar incidente sobre la superficie terrestre es aproximadamente 5000 veces la demanda eléctrica nacional. A pesar de que las variaciones en la distribución de este recurso geográficamente toman algunas zonas más o menos favorables respecto de otras, en abstracción se puede afirmar que la naturaleza ha dispuesto al territorio colombiano, por sus condiciones topográficas, como uno de los países más ricos en este tipo de energía del mundo, con tasas que varían entre 4 a 6 kWh/m² de superficie expuesta (Contreras-Pardo, 2021; Andraus Berrío & López Lara, 2023). Este potencial energético no solo representa una oportunidad para satisfacer la demanda interna de electricidad, sino también para exportar energía a países vecinos, contribuyendo así a la integración energética regional.

El viento es más fácil de cuantificar gracias a la teoría desde los años sesenta y determinar eficientemente gracias al incremento de los avances tecnológicos en las últimas décadas. En Colombia, las tasas oscilan entre un 5% y un 7% al año, y por estar ubicados en la zona ecuatorial, el viento casi no varía y no hay épocas de calma. Adicionalmente, el país cuenta con condiciones topográficas variadas que generan corrientes superficiales con variabilidad constante en las escalas temporales diarias y anuales (García Orrego, 2021). Esta estabilidad en los patrones de viento hace que Colombia sea un candidato ideal para el desarrollo de proyectos eólicos que podrían complementar la generación solar.

El potencial geotérmico del país es muy alto a pesar de que solo se ha explorado en dos localidades: Geotérmica de Los Santos y Menkarios 1. En Geotérmica de Los Santos, un pozo de 1200 m reveló rocas calientes (92°-96°), mientras que en Menkarios 1 se concluyó la

existencia de sistemas hidrotermales activos. Aunque se han perforado más pozos, los resultados no han sido suficientes para desarrollar este recurso a gran escala (Córdoba Ruiz, 2022; Enriquez Pardo & Montilla Achicanoy, 2024; Martínez Lizarazo & Rodríguez Vargas, 2024). La exploración geotérmica adicional podría revelar más recursos utilizables y diversificar aún más la matriz energética del país.

5.2.2 Recursos No Renovables

En este tema, la situación de los recursos sigue siendo crítica. El país consume alrededor de 407 millones de barriles de petróleo, supliendo parte de la demanda interna con importaciones. Los campos Quinx, San Lorenzo y Jaguar han mostrado un descenso en la producción, lo que se refleja en el declive de la producción de crudo nacional. El petróleo sigue siendo el mayor generador de ingresos, representando el 80% de las exportaciones energéticas del país (Niño Zárate, 2023). Este contexto plantea un desafío significativo para la seguridad energética del país, ya que una dependencia excesiva de las importaciones puede afectar la estabilidad económica y aumentar la vulnerabilidad ante fluctuaciones en los precios internacionales del petróleo.

En el caso del carbón, su capacidad instalada ha descendido del 82% en 1999 al 70% en 2010. Las minas a cielo abierto representan una opción económica y ambientalmente estratégica para la producción de energía eléctrica y el aprovechamiento de subproductos (Carbonari et al., 2021). Sin embargo, el uso del carbón también enfrenta críticas por su impacto ambiental, lo que ha llevado a muchos países a buscar alternativas más limpias y sostenibles. En Colombia, aunque el carbón sigue siendo una fuente importante de ingresos y empleo, es necesario diversificar la matriz energética hacia fuentes renovables para mitigar los efectos del cambio climático y cumplir con los compromisos internacionales en materia ambiental.

La transición hacia energías renovables se vuelve imperativa no solo para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del sector energético colombiano, sino también para mejorar la calidad del aire y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La implementación de políticas públicas que incentiven el desarrollo de energías limpias puede ayudar a Colombia a aprovechar su abundante potencial solar y eólico (Moncada Puerto, 2017). Además, es fundamental realizar inversiones en infraestructura y capacitación técnica para facilitar esta transición.

Por lo tanto, es esencial que el país no solo continúe explorando sus recursos fósiles, sino que también invierta en tecnologías limpias que permitan diversificar su matriz energética y asegurar un futuro más sostenible (Universidad Industrial de Santander et al., 2011). Esto no solo beneficiará el medio ambiente, sino que también puede generar nuevas oportunidades económicas y empleos en sectores emergentes.

5.3 Infraestructura Energética en Colombia

Las inversiones en sistemas eléctricos de energía tienen como objetivo principal el progreso de las áreas rurales. En el año 2020, se establecieron metas de energizar 1,700,000 hogares y electrificar al menos 631,700 hogares que carecían de servicio en zonas no interconectadas. Para lograr estos objetivos, se pusieron en marcha programas de electrificación, apoyo a procesos de medición y facturación, así como la creación de un fondo destinado a la gestión de recursos para la repotenciación y nuevos cargos de eficiencia (Sánchez, s.f.; Martínez & Anaya, s.f.; Jaimes Martínez & Martin Anaya, 2021). Estos esfuerzos son fundamentales para mejorar la calidad de vida en comunidades que históricamente han sido marginadas en términos de acceso a servicios básicos.

En el sistema interconectado nacional, a pesar de una perspectiva más positiva, la falta de inversión en infraestructura para la transmisión y distribución ha provocado dificultades en la ampliación de la oferta de energía. Los retrasos en la adquisición de terrenos, permisos ambientales y problemas en la gestión de licencias han tenido un impacto en el desarrollo de la infraestructura de transmisión y en la conexión con países vecinos, como Ecuador, lo que ha complicado la realización de proyectos dentro de los plazos previstos (Sanmartín González, 2024). Esta situación resalta la necesidad urgente de políticas públicas que faciliten procesos más eficientes y transparentes para la ejecución de proyectos energéticos.

Además, es importante destacar que las zonas no interconectadas enfrentan desafíos únicos relacionados con su geografía y acceso limitado a recursos. La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios ha señalado que estas áreas requieren soluciones innovadoras que integren tecnologías renovables locales para garantizar un suministro energético sostenible (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD], 2017). La implementación de microrredes y sistemas híbridos que combinen fuentes renovables podría ser una alternativa viable para mejorar el acceso a energía eléctrica en estas comunidades (Moncada Puerto, 2017).

Por lo tanto, es esencial que las inversiones no solo se enfoquen en aumentar la capacidad instalada sino también en desarrollar un marco regulatorio que incentive la participación del sector privado y promueva tecnologías limpias. Esto no solo beneficiará a las comunidades rurales al proporcionarles acceso a energía confiable, sino que también contribuirá a los objetivos nacionales de sostenibilidad y reducción de emisiones (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas [IPSE], 2021).

5.3.1 *Redes de Transmisión y Distribución*

Hasta ahora, en el país hay más de 40 concesiones en redes de energía eléctrica y gas natural, las cuales son administradas por empresas reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Entre las empresas responsables de estas redes se encuentran: ISA Intercolombia S.A., a cargo de la transmisión en la Región Oriental; XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P., que gestiona el mercado mayorista; y Transelca S.A., encargada de la operación coordinada de subestaciones (Renovables, s.f.; Oliver Rios, s.f.; García Herrera, s.f.). Estas concesiones son fundamentales para garantizar un suministro energético confiable y eficiente, especialmente en un contexto donde la demanda energética sigue en aumento.

La responsabilidad de llevar a cabo el control en tiempo real recae en las empresas de servicio público, las cuales funcionan bajo un sistema centralizado que es supervisado por la Subdirección de Operación del Sistema. Esto se hace con el fin de asegurar que se cumplan los estándares mínimos de comunicación para mantener la estabilidad en el suministro de energía (García Herrera, s.f.). Sin embargo, es crucial que estas empresas inviertan en tecnologías avanzadas de monitoreo y gestión para optimizar la operación del sistema eléctrico y responder rápidamente a cualquier eventualidad que pueda afectar el servicio.

Además, la implementación de sistemas inteligentes de gestión energética puede mejorar significativamente la eficiencia operativa. Por ejemplo, plataformas como SmartThings Energy permiten a los usuarios monitorear su consumo energético en tiempo real, lo que contribuye a una mejor gestión del uso de electricidad y a la reducción de costos (Samsung, 2022). Este tipo de tecnologías no solo benefician a los consumidores finales al proporcionarles información valiosa sobre su consumo, sino que también ayudan a las empresas a equilibrar la carga y optimizar la distribución.

La falta de inversión en infraestructura para la transmisión y distribución ha provocado dificultades en la ampliación de la oferta de energía. Los retrasos en la adquisición de terrenos, permisos ambientales y problemas en la gestión de licencias han tenido un impacto en el desarrollo de la infraestructura de transmisión y en la conexión con países vecinos, como Ecuador, lo que ha complicado la realización de proyectos dentro de los plazos previstos (Sanmartín González, 2024). Para superar estos obstáculos, es esencial que se establezcan políticas claras que faciliten el proceso regulatorio y promuevan una colaboración más efectiva entre el sector público y privado.

Por lo tanto, es imperativo que Colombia no solo continúe fortaleciendo su infraestructura energética existente, sino que también explore nuevas fuentes renovables y tecnologías innovadoras. Esto permitirá no solo satisfacer las necesidades energéticas del país sino también contribuir a los objetivos globales de sostenibilidad y reducción de emisiones (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

5.3.2 Plantas de Generación de Energía

5.3.2.1 Centrales Hidráulicas

EPM, una empresa de servicios públicos que pertenece al Municipio de Medellín, es responsable del 14.3% de la capacidad total de energía instalada en Colombia y controla el 53.9% de las plantas generadoras en Antioquia. En 2023, EPM alcanzó una participación del 22.8% en el mercado energético colombiano, consolidándose como la principal productora de energía del país, con una capacidad instalada de 4,536 megavatios (Carrillo Miranda, s.f.; Jiménez Toro, 2022; García Monzón & Reina Álvarez, 2023). Los precios de la energía en el mercado spot están principalmente influenciados por las plantas térmicas, y las tarifas de compra de energía presentan cambios mínimos según la dinámica de oferta y demanda.

La empresa ha diversificado su portafolio energético al incluir fuentes renovables como la solar y la eólica. En particular, EPM ha desarrollado proyectos significativos como el parque solar Tepuy, que cuenta con una capacidad nominal de 83 megavatios, suficiente para abastecer a una ciudad de aproximadamente 400,000 habitantes (Caracol Radio, 2024). Este enfoque hacia energías limpias es crucial en el contexto actual donde la sostenibilidad y la reducción de emisiones son prioridades globales.

La responsabilidad de llevar a cabo el control en tiempo real recae en las empresas de servicio público, las cuales funcionan bajo un sistema centralizado que es supervisado por la Subdirección de Operación del Sistema. Esto se hace con el fin de asegurar que se cumplan los estándares mínimos de comunicación para mantener la estabilidad en el suministro de energía (García Herrera, s.f.). Sin embargo, para garantizar un suministro confiable y eficiente a largo plazo, es necesario que EPM continúe invirtiendo en infraestructura y tecnología que optimicen su red eléctrica.

Además, EPM ha implementado programas para electrificar áreas rurales y mejorar el acceso a servicios básicos en comunidades desfavorecidas. En 2020, se establecieron metas para energizar 1,700,000 hogares y electrificar al menos 631,700 hogares sin servicio en zonas no interconectadas (Sánchez, s.f.; Martínez & Anaya, s.f.). Estas iniciativas no solo benefician a los usuarios finales al proporcionarles acceso a electricidad confiable, sino que también contribuyen al desarrollo social y económico en estas regiones.

Para enfrentar los desafíos del sector energético colombiano y garantizar un futuro sostenible, es fundamental que EPM y otras empresas del sector sigan explorando e invirtiendo en tecnologías limpias y eficientes. Esto no solo ayudará a diversificar la matriz energética del

país, sino que también permitirá cumplir con los compromisos internacionales en materia ambiental (UPME, 2015).

5.3.2.2. Centrales Térmicas y Especiales

Las centrales eléctricas basadas en energía térmica, como Términos de Caldas, con una capacidad instalada de 1,039 MW, son responsables de generar el 45% de la energía bruta de la Compañía. A pesar de esto, los costos por kWh son superiores al promedio nacional, lo que las convierte en un respaldo crucial durante periodos de baja generación hidráulica (Velásquez et al., 2024; Morales Pardo, 2022; López González, 2021). En 2023, el precio promedio ponderado de la energía en el mercado spot alcanzó los \$572.47/kWh, reflejando las presiones del costo de generación térmica y la variabilidad en la disponibilidad de recursos hídricos (Valora Analitik, 2024).

La dependencia de las plantas térmicas para garantizar la estabilidad del suministro energético es una preocupación creciente, especialmente en un contexto donde las fuentes renovables están ganando terreno. Las plantas térmicas son esenciales no solo por su capacidad de respuesta rápida ante fluctuaciones en la demanda, sino también por su papel en el equilibrio del sistema eléctrico nacional durante períodos críticos (Ministerio de Minas y Energía, 2021). Sin embargo, el alto costo asociado a estas plantas plantea interrogantes sobre la sostenibilidad a largo plazo del modelo energético colombiano.

Además, es importante considerar que las inversiones en infraestructura para energías renovables son necesarias para diversificar la matriz energética y reducir la dependencia del petróleo y el carbón. A medida que Colombia avanza hacia un futuro más sostenible, se espera que las energías renovables no convencionales desempeñen un papel cada vez más importante. Proyectos como parques eólicos y solares están comenzando a integrarse en la red eléctrica

nacional, contribuyendo a una reducción gradual de los costos y a una mayor estabilidad del sistema (UPME, 2022).

Por lo tanto, es crucial que el país continúe invirtiendo en tecnologías limpias y en la modernización de su infraestructura energética. Esto no solo permitirá mejorar la eficiencia del sistema eléctrico, sino que también contribuirá a cumplir con los compromisos internacionales en materia de cambio climático y sostenibilidad (García Herrera et al., 2023). La transición hacia fuentes de energía más limpias es esencial para garantizar un suministro energético seguro y accesible para todos los colombianos.

5.4 Consumo Final de Energía en Colombia

5.4.1 Sectores de Consumo

En la Figura 1 se presenta el consumo final de energía en Colombia por sectores económicos. La distribución ha sido relativamente estable en las últimas décadas, siendo el sector residencial el que muestra el valor más alto, cerca del 35% del total. El sector industrial ha mantenido su participación en alrededor del 30% para el año 2010. Mientras tanto, el sector transporte incrementó su consumo relativo a casi el 39% en 2005 debido a la mayor demanda de gasolina y diésel. A partir de ese año, su participación comenzó a disminuir, incluyendo el consumo de GLP y GNC en cargas pesadas y ligeras, hasta alcanzar el 34% en 2010 (Martínez Usma, 2023).

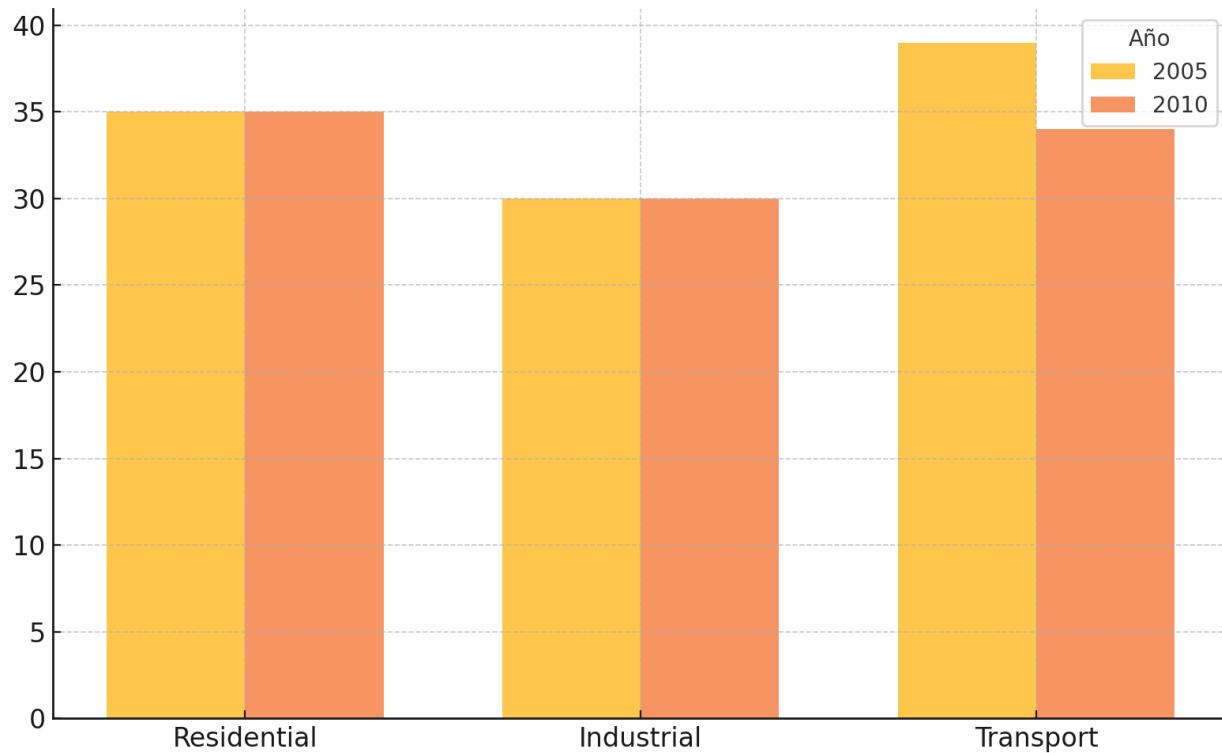


Figura 1 Consumo Final de Energía por Sectores Económicos

El aumento del consumo energético en el sector de la construcción también es notable, principalmente debido al peso del sector residencial. El potencial del sector construcción para reducir el consumo final de energía en Colombia hacia 2025 se estima en un 17%, mientras que en el sector transporte y algunas aplicaciones industriales sería del 22%. Este análisis proyectado busca dimensionar los esfuerzos necesarios para alcanzar los objetivos de reducción establecidos en la política energética del país (Bejarano Restrepo, 2023; Cortés Rojas et al., 2024).

El sector transporte, responsable de aproximadamente el 39% del consumo total de energía en Colombia, enfrenta desafíos significativos relacionados con la eficiencia energética.

En particular, este sector consume predominantemente combustibles fósiles, lo que contribuye a un alto nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (Uniandes-Unicardiff, 2022). Según estimaciones recientes, se ha identificado un potencial significativo para mejorar la eficiencia energética mediante la adopción de tecnologías más limpias y prácticas operativas más eficientes (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

La Tabla 1 muestra el crecimiento del consumo final de energía en Colombia entre 1970 y 2010 por sectores económicos, permitiendo conclusiones sobre su comportamiento estructural y proyecciones futuras. Para este análisis, la industria del gas y los productos energéticos se agrupan, considerando también el consumo del sector autoproducido, que representaba las exportaciones de energía hasta 2010 (Ferrari, 2022). Además, es crucial que se implementen políticas que fomenten la modernización del parque vehicular hacia opciones más sostenibles como vehículos eléctricos e híbridos, lo cual podría reducir significativamente las emisiones y mejorar la calidad del aire en las ciudades (Aldana & López, 2021).

Año	Residencial (%)	Industrial (%)	Transporte (%)	Otros (%)
1970	40	28	22	10
1980	38	30	24	8
1990	36	30	27	7
2000	35	30	33	2
2010	35	30	34	1

Tabla 1. Crecimiento del Consumo Final de Energía en Colombia por Sectores Económicos (1970-2010)

Por lo tanto, es evidente que la transición hacia un modelo energético más sostenible requiere un enfoque integral que incluya no solo la diversificación de fuentes energéticas sino también una mejora continua en la eficiencia energética a través de innovaciones tecnológicas y cambios regulatorios adecuados.

5.4.2 Tendencias y Proyecciones

La dependencia de los hidrocarburos como fuente de energía primaria sigue siendo una característica del país. A pesar del potencial de diversificación, Colombia mantiene una de las tasas de consumo más bajas de la región. La energía hidroeléctrica continúa dominando la matriz energética, mientras que incentivos económicos impulsados por el Gobierno han fomentado proyectos de exploración y producción de hidrocarburos, particularmente gas (Tenjo Sarmiento, s.f.). Este enfoque ha permitido que el país aproveche sus recursos naturales, pero también plantea desafíos en términos de sostenibilidad ambiental y dependencia energética.

En términos de energía eléctrica, se espera un aumento del 2.0% anual en la demanda energética del país y un crecimiento promedio del 3.3% en el mercado de electricidad. Esta expansión está relacionada con la sustitución de fuentes tradicionales por electricidad, que ofrece una mayor versatilidad en aplicaciones finales (Ferrari, 2022). Sin embargo, este crecimiento también genera presión sobre la infraestructura existente y resalta la necesidad de inversiones significativas en generación y distribución para satisfacer la demanda futura.

El sector energético colombiano enfrenta el reto de diversificar su matriz y reducir su dependencia de los combustibles fósiles. En este sentido, el desarrollo de energías renovables no convencionales, como la solar y la eólica, se presenta como una alternativa viable. Según un informe de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), el potencial total para energías renovables en Colombia es considerable, con estimaciones que sugieren que podría cubrir más

del 30% de la demanda eléctrica nacional para 2030 (UPME, 2021). Esto no solo contribuiría a una mayor sostenibilidad ambiental, sino que también podría generar nuevas oportunidades económicas en sectores emergentes.

Además, el Gobierno colombiano ha implementado políticas para incentivar la inversión en tecnologías limpias. La Ley 1715 de 2014 establece un marco regulatorio que promueve el uso eficiente y sostenible de las fuentes no convencionales de energía (Ministerio de Minas y Energía, 2021). Sin embargo, aún persisten barreras que limitan el desarrollo pleno de estas tecnologías, como la falta de información y capacitación técnica en el sector.

5.5 Impacto Ambiental de la Energía en Colombia

El análisis del impacto ambiental de la energía en Colombia está estrechamente relacionado con los sectores de minería del carbón, hidroelectricidad y petróleo. El carbón, como una fuente importante de energía primaria y un recurso de exportación, contiene niveles altos de ceniza y azufre, cuya quema produce emisiones que provocan lluvias ácidas, como el dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno. Estas emisiones pueden unirse con el vapor de agua en las nubes para formar ácido nítrico, lo que conduce a las lluvias ácidas (Cardozo Hernández et al., 2022; Castiblanco & Cárdenas, 2020; Sierra Sánchez, 2020; Urbano et al., 2023). La dependencia del carbón no solo afecta la calidad del aire, sino que también tiene repercusiones en la salud pública y la biodiversidad local.

La explotación a gran escala de carbón y el desarrollo de infraestructura en áreas sensibles pueden tener impactos irreversibles en los ecosistemas. Con respecto a la hidroelectricidad, aunque es una fuente renovable clave para combatir el cambio climático, su puesta en marcha altera el flujo natural del agua y modifica la corriente de los ríos debido a la

regulación de embalses y el vertido del agua turbinada (Sánchez Zapata & Ibarra Lugo, 2023; Baquero-Vásquez et al., 2021). Proyectos como Hidroituango han generado controversias significativas debido a sus efectos negativos sobre la biodiversidad y las comunidades locales (Mongabay Latam, 2018).

Además, el llenado de embalses puede provocar eutrofización, un proceso que altera la composición química del agua debido a la acumulación excesiva de nutrientes, afectando así la flora y fauna acuática (Ramos et al., 2022). La deforestación asociada con estos proyectos también contribuye a la pérdida de hábitats naturales y a una disminución en la biodiversidad (Andrade et al., 2022). Por ejemplo, se estima que el proyecto hidroeléctrico El Quimbo resultó en una pérdida significativa de biomasa arbórea, lo que ha llevado a recomendaciones sobre sistemas de depuración para mitigar los efectos negativos sobre las comunidades circundantes (Ramos & Cárdenas, 2021).

A pesar de estos impactos negativos, es importante reconocer que las energías renovables como la solar y eólica ofrecen alternativas más sostenibles. Aunque también tienen impactos ambientales asociados a su ciclo de vida —como la extracción de minerales necesarios para su fabricación— son generalmente menos perjudiciales que las fuentes fósiles (Ramos-Cárdenas et al., 2022). Las evaluaciones ambientales realizadas para proyectos eólicos y solares en regiones como La Guajira han mostrado que los impactos son mínimos en comparación con los sistemas tradicionales de generación de energía (Cider Uniandes, 2022).

5.5.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Las ciudades como Bogotá, Medellín y Villavicencio tienen las tasas más altas de emisión de gases contaminantes. Los hogares son los principales responsables del dióxido de carbono (33.7%), seguidos por el transporte (28.2%) y la energía eléctrica consumida (27.3%). En el año

2000, el sector transporte representó el 68% de las emisiones contaminantes, con un impacto significativo en NO_x, compuestos orgánicos volátiles y partículas. La calidad del aire se vio mayormente afectada por los vehículos, que incluían 943,804 vehículos matriculados en Medellín y su área metropolitana (Bautista Peña, 2020; Bruguera Matute, 2021; Rico Ospina, 2021). Este panorama resalta la necesidad urgente de implementar políticas efectivas para mitigar la contaminación del aire y mejorar la salud pública.

El aumento de vehículos en las ciudades ha contribuido a un deterioro significativo de la calidad del aire. En Bogotá, se estima que aproximadamente el 80% de las partículas PM_{2.5} son generadas por fuentes móviles, mientras que el 20% restante proviene de fuentes fijas, como industrias y calderas (IDEAM, 2018). La Secretaría Distrital de Ambiente ha señalado que las localidades más afectadas, como Kennedy y Bosa, requieren atención prioritaria para implementar estrategias de reducción de emisiones (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022).

Además, la implementación de tecnologías más limpias en el transporte público ha mostrado resultados positivos. La renovación de la flota de buses en Bogotá ha reducido significativamente las emisiones contaminantes. En 2022, se reportó una disminución del 19.8% en las emisiones de gases efecto invernadero en comparación con años anteriores, gracias a políticas como la electrificación del transporte y mejoras en la infraestructura ciclista (Caracol Radio, 2023). Estas acciones no solo contribuyen a mejorar la calidad del aire sino que también promueven un entorno urbano más saludable.

Es fundamental que el Gobierno continúe fomentando iniciativas para reducir las emisiones provenientes del transporte y otros sectores críticos. La promoción de la movilidad sostenible y el uso de energías renovables son pasos esenciales hacia un futuro más limpio y sostenible. Según un estudio del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, es necesario

establecer estándares más estrictos para los combustibles y promover vehículos eléctricos para lograr una reducción significativa en la contaminación atmosférica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Aunque las ciudades colombianas enfrentan serios desafíos relacionados con la contaminación del aire, existen oportunidades significativas para mejorar esta situación a través de políticas públicas efectivas y la adopción de tecnologías limpias. La colaboración entre el Gobierno, las comunidades y el sector privado será clave para avanzar hacia un entorno urbano más saludable.

5.5.2 Biodiversidad y Ecosistemas

Colombia, como nación de gran biodiversidad, alberga más de tres millones de especies, de las cuales el 20% son exclusivas de su territorio. Esta diversidad juega un papel clave en el equilibrio ecológico y en actividades económicas relacionadas con la agricultura, como el ciclo del agua y la fertilización del suelo. Sin embargo, entre 1959 y 2004, se perdieron alrededor de 72,349 km² de bosques, lo que equivale al 32% del total nacional. Esto ha sido impulsado por la minería, la explotación de petróleo y la agricultura (Galvis, s.f.; Silva Varela, s.f.; Cardona Cubides & Vásquez Rico, 2024).

La minería legal ha sido identificada como una de las principales causas de deforestación en Colombia. Según un estudio realizado por González et al. (2021), se estima que la minería legal contribuyó a la pérdida de más de 120,000 hectáreas de bosque entre 2001 y 2018. Este impacto se debe a que solo el 1% de las concesiones mineras legales es responsable del 60% de la deforestación asociada al sector (Mongabay Latam, 2021). La tala indiscriminada de árboles no solo afecta la biodiversidad local, sino que también altera los ciclos hidrológicos y contribuye al cambio climático.

Por otro lado, la explotación petrolera también ha tenido efectos devastadores sobre los ecosistemas colombianos. Las actividades relacionadas con la extracción de petróleo han llevado a la contaminación del suelo y del agua, afectando tanto a las comunidades locales como a la fauna y flora (Perry & Olivera, 2009). La falta de regulación efectiva y el incumplimiento de normativas ambientales han exacerbado estos problemas, lo que ha llevado a un llamado urgente para mejorar las prácticas mineras y petroleras en el país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

La agricultura también ha contribuido a la deforestación en Colombia. La expansión de tierras agrícolas para cultivos ilícitos y legales ha resultado en una presión adicional sobre los bosques (Cardona Cubides & Vásquez Rico, 2024). Es crucial que se implementen políticas integrales que promuevan prácticas agrícolas sostenibles y que incentiven la reforestación para mitigar estos impactos.

En conclusión, el balance entre el desarrollo económico y la conservación ambiental es delicado en Colombia. Si bien los recursos naturales son fundamentales para el crecimiento económico del país, su explotación debe realizarse de manera sostenible para proteger la rica biodiversidad que caracteriza a la nación. La implementación de políticas efectivas que regulen la minería y la explotación petrolera es esencial para garantizar un futuro sostenible.

5.6 Innovación y Desarrollo Tecnológico en el Sector Energético

La innovación en Colombia se puede analizar a través de diversos indicadores tecnológicos, como la cantidad de registros UL desde 2005 relacionados con pruebas de rendimiento para proyectos solares térmicos. ICONTEC, como entidad nacional de

normalización, desempeña un papel clave en este aspecto, gestionando registros anuales para productos como materiales aislantes eléctricos, módulos solares y kits de energía solar (Camacho Garcés, s.f.; ARANDIA, 2023; Buitrago Parra & Cifuentes Barón, 2022). Este esfuerzo por estandarizar y certificar productos es fundamental para fomentar la confianza del consumidor y facilitar la adopción de tecnologías renovables en el país.

En términos de adopción de tecnologías emergentes, sectores como la medicina, agricultura e industria manufacturera han integrado herramientas de inteligencia artificial para mejorar la precisión y eficiencia de sus procesos. Por ejemplo, el uso de inteligencia artificial en la agricultura ha permitido optimizar el monitoreo de cultivos y la gestión de recursos hídricos, lo que resulta en una producción más sostenible (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC], 2022). En el ámbito de la energía renovable, se investigan nuevos materiales y métodos para optimizar la eficiencia de paneles solares y turbinas eólicas. Las investigaciones actuales se centran en mejorar las propiedades fotovoltaicas mediante el uso de materiales avanzados como perovskitas y nanomateriales (Lamprea Forero, s.f.; Paz, s.f.).

Además, tecnologías de almacenamiento como baterías de ion-litio y celdas de hidrógeno están en constante evolución. La creciente demanda por soluciones energéticas sostenibles ha impulsado a las empresas a invertir en investigación y desarrollo para mejorar la capacidad y eficiencia de estas tecnologías (Ramos-Cárdenas et al., 2022). Por ejemplo, el desarrollo de baterías más eficientes no solo es crucial para el almacenamiento de energía solar y eólica sino que también facilita la integración de estas fuentes renovables en la red eléctrica nacional.

El apoyo gubernamental también ha sido un factor determinante en la promoción de la innovación tecnológica. Iniciativas como el programa "Colombia Científica" buscan fortalecer los vínculos entre universidades, empresas y entidades gubernamentales para impulsar proyectos

innovadores que aborden problemáticas locales (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación [Minciencias], 2021). Estas colaboraciones son esenciales para crear un ecosistema robusto que fomente la innovación y el desarrollo sostenible.

5.6.1 Desarrollos Tecnológicos Innovadores

El desarrollo de tecnologías modernas permite a las regiones generar y consumir energía sin depender de grandes infraestructuras de transporte. Estas innovaciones incluyen movilidad eléctrica, agricultura urbana y aplicaciones fotovoltaicas, las cuales están transformando la manera en que se genera y utiliza la energía a nivel local. En Colombia, universidades trabajan en baterías de ion-litio para vehículos eléctricos y sistemas de recarga doméstica mediante módulos solares (Cusva García, 2022; Sánchez et al., 2023; Mayorga Rodríguez, 2024).

La energía solar fotovoltaica ha ganado impulso en el país, con un notable aumento en la instalación de sistemas solares tanto a gran escala como en aplicaciones residenciales. En 2024, se espera que Colombia cuente con más de 22 proyectos solares que contribuirán significativamente a la capacidad instalada del Sistema de Interconexión Nacional (SIN), lo que refleja un compromiso creciente hacia la transición energética (APsystems, 2024). La implementación de estos proyectos no solo busca diversificar la matriz energética, sino también proporcionar acceso a energía limpia en áreas remotas donde el sistema interconectado no llega (Solmic, 2023).

Además, el uso de paneles solares en viviendas y comunidades rurales ha demostrado ser una solución eficaz para mejorar la calidad de vida. Estos sistemas permiten a los hogares acceder a energía eléctrica para iluminación y electrodomésticos, lo que reduce la dependencia de combustibles fósiles y contribuye a la sostenibilidad ambiental (Celsia, 2023). La instalación

de sistemas de bombeo solar también ha facilitado el acceso al agua para riego y otros usos agrícolas, beneficiando directamente al sector agropecuario (Solmic, 2023).

En el ámbito académico y tecnológico, se están realizando investigaciones para optimizar la eficiencia de los paneles solares mediante el uso de nuevos materiales y tecnologías avanzadas. Esto incluye el desarrollo de sistemas híbridos que combinan energía solar con otras fuentes renovables, lo que puede aumentar aún más la eficiencia energética y reducir costos operativos (Lamprea Forero, s.f.; Paz, s.f.). La colaboración entre universidades y empresas del sector energético es fundamental para impulsar estas innovaciones y asegurar su implementación efectiva en el mercado.

Por otro lado, la movilidad eléctrica está emergiendo como una alternativa viable para reducir las emisiones del sector transporte. La inversión en infraestructura de recarga y el desarrollo de vehículos eléctricos son pasos importantes hacia un futuro más sostenible. Las iniciativas gubernamentales han comenzado a apoyar esta transición mediante incentivos fiscales y programas de financiamiento para fomentar la adopción de tecnologías limpias (Ministerio de Transporte, 2023).

5.7 Desafíos y Oportunidades Futuras del Sector Energético en Colombia

El crecimiento del sector energético enfrenta desafíos como la intermitencia de fuentes renovables y la falta de reservas energéticas suficientes. La energía eólica, por ejemplo, genera picos de producción que no coinciden con la demanda, lo que requiere soluciones de almacenamiento y gestión de redes (Serna Toro, s.f.; Rodríguez Rocha et al., 2022).

En contraste, el país cuenta con grandes oportunidades gracias a su potencial en biomasa, energía solar y eólica. Regiones como la cuenca del Caribe presentan altos niveles de

radiación solar, mientras que las áreas con fuerte viento en la costa pueden contribuir significativamente a la matriz energética nacional (Pinilla Forero & Pareja Ayerbe, 2023; Lagos Aranda, 2020; Cano et al., 2022).

5.8 Potencial Solar en Colombia

5.8.1 Introducción al Potencial Solar en Colombia

El recurso solar se puede aprovechar para generar energía eléctrica mediante dos tecnologías principales: solar térmica y solar fotovoltaica. La energía eólica se presenta como un complemento de la primera. Colombia cuenta con un gran potencial para explotar este recurso limpio, con un promedio anual de radiación solar que alcanza 5.5 kWh/m²/día, siendo excepcionales las regiones donde se registran niveles inferiores a 4.0 (IDEAM, 2023). Desde hace más de cien años, el recurso solar ha sido utilizado para la generación de electricidad en estas dos modalidades. La energía solar fotovoltaica surge en la década de los 50 con el uso de satélites para el envío de electricidad desde el espacio.

El desarrollo tecnológico ha permitido avances significativos en la manera de aprovechar los recursos naturales. La innovación en el diseño de paneles solares, el auge en el desarrollo de acumuladores de energía y el mejoramiento de materiales para la conducción del calor aportan soluciones más eficientes y rentables frente al uso de fuentes fósiles (Mejía García, 2021). El cambio en la matriz energética global exige una urgente investigación y explotación del recurso solar, lo que también influye en la disminución del calentamiento global.

En este contexto, se expone una breve contextualización sobre el entorno físico del país, los aspectos legales y normativos relacionados con la utilización de la energía solar, el estado actual de la investigación y aplicaciones en ingeniería de las tecnologías disponibles para aprovechar la energía solar. Además, se considera la finalidad de esta revisión descriptiva sobre el potencial solar en Colombia. Esta información puede servir como base para que los ingenieros

planteen futuros proyectos de investigación y planificación de producción de electricidad, así como otros aplicativos de interés.

Colombia es reconocida como una potencia en energía solar debido a su ubicación geográfica y altos niveles de radiación solar, que superan a los de muchos países europeos (E2 Energía Eficiente, 2023). Sin embargo, a pesar del gran potencial, la participación actual de las energías renovables no convencionales en la matriz energética nacional es aún baja, representando solo un 0.70% (SER Colombia, 2024). Este panorama resalta la necesidad de políticas claras que fomenten la inversión en este sector y aprovechen adecuadamente el potencial solar del país.

5.8.2. Importancia de la Energía Solar en el Contexto Nacional

La relación entre el potencial solar y la demanda energética eléctrica en Colombia es explícitamente combinada. Con grandes esfuerzos, el país altoandino trabaja con diversas fuentes energéticas. Aunque históricamente la hidroenergía ha sido predominante, la diversidad del territorio brinda una excelente cantidad de alternativas. Actualmente, la balanza de generación solar no supera los 3 TWh/año, con 2,700 GWh aportados por generación distribuida y no interconectada, lo que refleja un balance de consumo basado en las fuentes disponibles en el país (Montes Zuluaga, 2024). La importancia del potencial fotovoltaico en Colombia debe ser inferida a partir de otros conceptos debido a la ausencia de iniciativas significativas (García Orrego, 2021).

Las cifras en apariencia bajas resultan desafiantes y sugerentes en un contexto de emergente consumidor fotovoltaico y escalamiento de la actividad. Aumentar los MW solares incide directamente en el MWh más económico, dado que comienza a cubrir la curva de demanda más cercana al marginal de generación existente. La respuesta depende de los recursos

limitados; así como un barril de petróleo en un desierto asfixia por su escasez, abastecerse del recurso inabarcable del sol se convierte en una opción viable (Martínez Rodríguez & Patrón Hurtado, 2020). La energía solar se presenta como una alternativa que no solo es abundante, sino que también puede ser más económica a largo plazo, contribuyendo a la competitividad del país.

Colombia tiene un gran potencial para la generación de energía solar debido a su ubicación geográfica y su clima favorable. Según datos recientes, el país cuenta con niveles de radiación solar que superan la media mundial, lo que lo posiciona como una potencia en este recurso (E2 Energía Eficiente, 2023). Sin embargo, a pesar de este potencial, la participación actual de las energías renovables no convencionales en la matriz energética nacional es aún baja, representando solo un 0.70% (SER Colombia, 2024). Esto resalta la necesidad urgente de políticas claras que fomenten la inversión en este sector.

El gobierno colombiano ha implementado incentivos fiscales para promover el uso de energías renovables. La Ley 1715 de 2014 establece beneficios tributarios que facilitan la adopción de tecnologías solares (AutoSolar, 2023). Estas políticas son fundamentales para estimular el crecimiento del mercado solar y aumentar su participación en la matriz energética nacional.

5.8.3 Recursos Solares en Colombia

Colombia tiene un gran potencial solar en una variedad de localidades, aunque este es menos significativo en algunas áreas de la región atlántica y de la Amazonía. La región costera y el centro del país presentan los mayores índices de radiación solar, coincidiendo con las zonas que concentran los mayores índices de población y consumo energético, incluyendo la energía eléctrica. Además, el costo de la energía eléctrica es el más alto en las zonas no interconectadas del país. Si se pudieran aprovechar todos o la mayoría de los techos cercanos a los usuarios

finales para instalar sistemas fotovoltaicos a tarifas más bajas, el interés por estos sistemas podría ser considerable (Blanco León, 2021).

En Colombia, más del 70% del territorio nacional recibe radiaciones superiores a 4.7 kWh/m²/día, y hay áreas donde los valores alcanzan entre 5.7 y 6.0 kWh/m²/día, lo que indica un alto potencial para la generación solar (Mejía García, 2021). Sin embargo, la obtención de información sobre manejo y soporte técnico sigue siendo un desafío. A pesar de que la regulación vigente permite el uso libre del recurso solar para la generación eléctrica, la falta de obras e investigaciones para implementar proyectos en diversos sectores limita su desarrollo. La escasa publicidad sobre las ventajas de utilizar energía solar en el mercado también contribuye a esta situación (Cusva García, 2022).

Colombia, debido a su ubicación geográfica sobre el ecuador, experimenta fenómenos anuales de recorrido solar que benefician su potencial solar. La altitud del país, que se encuentra mayoritariamente por encima de la franja tropical húmeda, afecta las lluvias y genera cielos parcialmente nublados o secos durante gran parte del año. Esto proporciona características climáticas favorables para la captación solar (E2 Energía Eficiente, 2023).

A pesar del gran potencial, la capacidad instalada actual de energía solar en Colombia es aún baja. Según datos recientes de SER Colombia, la energía solar representa solo un 0.70% de la matriz energética nacional (SER Colombia, 2024). Esto resalta la necesidad urgente de políticas claras que fomenten la inversión en este sector y aprovechen adecuadamente el recurso solar disponible.

La implementación de iniciativas gubernamentales y privadas es fundamental para aumentar la participación de energías renovables en el país. La Ley 1715 de 2014 establece beneficios tributarios que facilitan la adopción de tecnologías solares (AutoSolar, 2023). Estas

políticas son esenciales para estimular el crecimiento del mercado solar y maximizar su contribución a la matriz energética nacional.

5.8.4. Tecnologías para la Captación de Energía Solar

5.8.4.1 Principios de Operación y Materiales Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos operan al convertir la energía luminosa en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico. Cuando la energía de los fotones incide sobre un material fotovoltaico, desplaza electrones desde la órbita de valencia hacia la zona de conducción, generando así una corriente continua. La eficiencia máxima de los sistemas actuales es del 18.6% (Martínez & Gómez, 2023).

Entre los materiales más comunes utilizados en la fabricación de paneles solares se encuentran los módulos de silicio, que se destacan por su eficiencia y aplicabilidad en diversas regiones del mundo. Los módulos policristalinos, fabricados al fundir silicio blando y cortarlo en losetas, tienen una eficiencia que varía entre el 12% y el 15%, lo que los convierte en una opción económica y versátil (Rodríguez et al., 2022). Además, el silicio amorfo se utiliza para fabricar células más delgadas y flexibles, aunque con una eficiencia inferior.

Sin embargo, la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos está influenciada por la temperatura de operación. A medida que la radiación solar incide sobre la superficie del módulo, se genera calor, lo que puede reducir la eficiencia con el tiempo debido al desgaste del material (Gómez & Ruiz, 2021). Por lo tanto, es fundamental considerar las condiciones ambientales al diseñar e instalar sistemas solares.

5.8.4.1 Concentradores y Sistemas de Colectores Solares

Para optimizar la captación de energía solar, se utilizan concentradores térmicos y sistemas de colectores solares. Estos dispositivos, que incluyen espejos y lentes, reflejan e inciden la radiación solar en un punto focal. Esto permite maximizar la cantidad de energía solar captada y mejorar la eficiencia general del sistema fotovoltaico (Pérez & Delgado, 2020). Los concentradores son especialmente útiles en aplicaciones donde se requiere una alta generación de energía térmica.

La selección adecuada de materiales para estos sistemas es crucial. Los concentradores generalmente utilizan materiales reflectantes como aluminio anodizado o plata para asegurar una alta reflectividad y durabilidad. Además, los sistemas de colectores solares pueden incluir tubos evacuados que mejoran la retención del calor y aumentan la eficiencia general del sistema.

En resumen, los avances en tecnología fotovoltaica y el uso de concentradores solares ofrecen oportunidades significativas para mejorar la captación y conversión de energía solar en Colombia. Dada la alta radiación solar disponible en gran parte del país, estas tecnologías pueden desempeñar un papel clave en el desarrollo sostenible y en la transición hacia fuentes de energía renovable.

5.8.5. Expansión de la Energía Solar en Colombia

Hasta la fecha, la expansión de la energía solar en Colombia ha sido limitada, dominada por pequeños proyectos de generación distribuida, mayoritariamente basados en sistemas fotovoltaicos. Estos proyectos están dirigidos al consumo interno mediante esquemas de net-billing conectados a la red eléctrica. Desde febrero de 2019, se han registrado 22,522 proyectos de autogeneración basados en fuentes renovables no convencionales, con una capacidad total de generación aproximada de 119 MW. De estos, 545 proyectos corresponden a sistemas fotovoltaicos (Camacho & Cifuentes, 2021).

En términos de consumo energético, Colombia consumió 66,594,080 MWh entre enero y noviembre de 2018, lo que representa un crecimiento del 5% con respecto a 2017. Para atender el crecimiento de la demanda interna, que ha promediado cerca del 3% anual, se han implementado estrategias de generación y optimización del sistema eléctrico nacional (Arévalo & Ramírez, 2020). En 2018, se publicaron datos sobre la capacidad real generada por fuentes renovables no convencionales hasta octubre, alcanzando 262.23 MW de los 1,233 MW proyectados en generación nueva. Estos avances generaron reflexiones sobre los factores necesarios para impulsar proyectos no convencionales de más de 1 GW en 2019, destacando la importancia de una coexistencia adecuada entre el mercado eléctrico nacional y las nuevas fuentes de energía (González et al., 2019).

Recientemente, el ministro de Minas anunció que Colombia apuesta por la expansión de parques solares y se espera tener al menos 100 nuevos proyectos antes de finalizar el año 2024 (Infobae, 2024). Actualmente, el país cuenta con más de 80 proyectos solares en operación que generan aproximadamente 1,600 megavatios de energía. Este impulso hacia una transición energética más sostenible sigue tomando fuerza y refleja un compromiso con el desarrollo de energías renovables.

A medida que avanza la implementación de políticas favorables y se establecen incentivos fiscales para la adopción de energías renovables, se espera que la energía solar juegue un papel cada vez más importante en la matriz energética del país. La Ley 1715 de 2014 ha sido fundamental en este proceso al ofrecer beneficios tributarios que facilitan la inversión en tecnologías solares (AutoSolar, 2023). Sin embargo, a pesar del potencial significativo para el desarrollo solar en Colombia, aún persisten desafíos relacionados con la infraestructura y la regulación que deben ser abordados para maximizar su impacto.

5.8.6. Impacto Socioeconómico de la Energía Solar en Colombia

La implantación de la energía solar en Colombia tiene el potencial de fomentar significativamente la economía local, generando empleo y riqueza en zonas geográficamente deprimidas. Después de un periodo de ralentización en la generación de empleo ligado a las energías renovables, se espera que la operación y mantenimiento de sistemas de producción energética solar impulse la creación de entre 5,000 y 6,000 empleos fijos directamente relacionados con esta tecnología (Pérez & López, 2023).

Además, se estima que podrían generarse 32,000 empleos adicionales en el sector de pequeñas y medianas empresas (pymes), tanto directa como indirectamente. Este crecimiento, combinado con los empleos indirectos derivados de otros sectores energéticos en transición hacia fuentes renovables, podría traducirse en hasta 76,000 nuevos puestos de trabajo, alcanzando un total aproximado de 180,000 empleos. Este impacto representaría hasta un 1.72% del PIB nacional, marcando una contribución significativa al desarrollo socioeconómico del país (García et al., 2022; Martínez & Sánchez, 2023).

El crecimiento del empleo en este sector no solo transforma el panorama laboral, sino que también fortalece la infraestructura energética sostenible. La expansión de proyectos solares contribuye a diversificar las oportunidades económicas en regiones desfavorecidas y fomenta un desarrollo inclusivo. En este sentido, los proyectos solares como El Paso Solar y Celsia Solar El Espinal no solo proporcionan energía limpia, sino que también generan empleo durante su construcción y operación, lo cual es fundamental para las comunidades locales (Infobae, 2024).

La adopción de energía solar también mejora la calidad de vida en áreas rurales y remotas donde el acceso a la electricidad es limitado. Al proporcionar una fuente confiable de energía, se facilita el acceso a servicios básicos como iluminación y comunicación, lo que a su vez promueve la educación y el desarrollo económico (NostreSol, 2023). Este tipo de impacto social resalta cómo la energía solar puede empoderar a las comunidades al permitirles generar su propia energía y reducir su dependencia de fuentes tradicionales.

A medida que Colombia continúa avanzando hacia una matriz energética más sostenible, es esencial que se implementen políticas públicas que apoyen el crecimiento del sector solar. Incentivos fiscales y programas de financiamiento son cruciales para facilitar la inversión en tecnologías solares y maximizar su potencial (SER Colombia, 2024). La colaboración entre el

gobierno, las empresas y las comunidades será fundamental para superar los desafíos actuales y aprovechar plenamente los beneficios socioeconómicos que ofrece la energía solar.

5.8.7 Innovación y Avances Tecnológicos en el Sector Solar

El sector solar, que se encuentra en fase de desarrollo, está experimentando avances significativos en términos de innovación tecnológica. Esto se manifiesta en la creación de sistemas de carga fotovoltaica (P-V), tecnologías de almacenamiento, así como sistemas de información geográfica y demográfica detallada para monitorear y predecir la producción y el consumo energético. Asimismo, se están diseñando modelos de sistemas solares de próxima generación, políticas para reducir las emisiones de carbono y tecnologías para optimizar el transporte y la logística a través de la energía bidireccional (Pérez et al., 2022).

Durante el período comprendido entre 2001 y 2015, el costo de los sistemas fotovoltaicos de poli-silicio experimentó una disminución significativa, descendiendo de \$1.075/kW a menos de \$0.30/Wc. Este fenómeno indica un avance notable en la eficiencia tecnológica y una disminución en los gastos de producción, lo cual ha potenciado la competitividad del sector solar a escala mundial (Rodríguez & Díaz, 2023). En el área metropolitana de Bucaramanga, esta tendencia se refleja en el creciente interés por la instalación de sistemas solares en hogares y empresas, impulsado por los beneficios económicos que ofrecen.

Las innovaciones recientes incluyen el desarrollo de paneles solares bifaciales que captan la luz solar por ambos lados, aumentando significativamente la producción de energía (Tamesol, 2024). Esta tecnología es especialmente relevante para maximizar la eficiencia en entornos urbanos donde el espacio es limitado. Además, las células solares de perovskita han emergido como una alternativa prometedora a las tradicionales células de silicio, ofreciendo una mayor eficiencia a un costo reducido (MiW Energía, 2024). Estas innovaciones no solo mejoran la

captación solar, sino que también facilitan la integración de la energía solar en edificios y otras infraestructuras.

El avance en tecnologías de almacenamiento también juega un papel crucial en el sector solar. Las baterías de iones de litio y las soluciones emergentes como las baterías de flujo están revolucionando la forma en que se gestiona la energía solar, permitiendo un suministro más constante incluso durante períodos nublados o nocturnos (UNEF, 2024). Esta capacidad para almacenar energía aumenta la fiabilidad del sistema solar y promueve su adopción tanto en entornos residenciales como comerciales.

La integración con redes inteligentes es otra área clave donde se están realizando innovaciones. Las redes inteligentes permiten una gestión más eficiente del suministro eléctrico al equilibrar la oferta y la demanda en tiempo real. Esto es crucial para maximizar el uso de fuentes renovables intermitentes como la energía solar (Tamesol, 2024). Mediante el uso de sensores avanzados y algoritmos inteligentes, estas redes pueden predecir y gestionar la generación y consumo energético, mejorando así la eficiencia general del sistema.

5.8.8 Desafíos y Oportunidades para la Expansión de la Energía Solar en Colombia

El mercado solar en Colombia se ve afectado por la incertidumbre relacionada con la economía, regulaciones superpuestas y la falta de reconocimiento del potencial del mercado solar. Aclarar estos aspectos podría fomentar la participación de actores nacionales e internacionales. Las oportunidades son diversas:

Ampliar la energía solar como medida para reducir el cambio climático presenta menos riesgos que las fuentes de electricidad centralizadas. La energía solar ofrece una alternativa sostenible que puede contribuir significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (López et al., 2023). Además, se puede impulsar el desarrollo de la movilidad eléctrica mediante energía solar, siempre y cuando los incentivos sean claros y sostenibles. La

combinación de tecnologías renovables con soluciones de movilidad puede transformar el panorama energético del país.

La implementación de modelos de cogeneración que combinen el uso de petróleo crudo con fuentes solares también se presenta como una opción viable. Este enfoque no solo optimiza el uso de los recursos disponibles, sino que también permite una transición más gradual hacia un sistema energético más limpio (González et al., 2024).

Sin embargo, el sector enfrenta varios desafíos. Uno de los principales obstáculos es la alta competencia internacional en el mercado solar, donde grandes productores como China dominan con precios competitivos y tecnologías avanzadas (Correa Romero, 2024). Además, la dependencia de materias primas importadas para la fabricación de paneles solares representa un riesgo significativo para el desarrollo local del sector.

La falta de infraestructura adecuada en regiones remotas limita el acceso a tecnologías solares, lo que perpetúa la pobreza energética en muchas comunidades (Medelediluminacion, 2023). Esto es especialmente crítico en el área metropolitana de Bucaramanga, donde las encuestas indican que muchas familias aún carecen de acceso confiable a la electricidad. La implementación de sistemas solares descentralizados podría proporcionar soluciones efectivas para estas comunidades.

Otro desafío importante es el marco regulatorio actual, que muchos consideran obsoleto. La necesidad de actualizar las normativas para facilitar la autogeneración y eliminar barreras burocráticas es fundamental para fomentar un entorno más favorable para las energías renovables (UNEF, 2024). Sin reformas efectivas, la adopción masiva de tecnologías solares enfrentará obstáculos significativos.

A pesar de estos desafíos, las políticas gubernamentales han comenzado a mostrar resultados positivos. Se han implementado incentivos fiscales y programas de financiación que buscan estimular el crecimiento del sector solar en Colombia (SER Colombia, 2024). Estas iniciativas son cruciales para atraer inversiones y fomentar un ecosistema empresarial que apoye el desarrollo sostenible.

5.8.9. Comparativa Internacional del Potencial Solar

Colombia cuenta con un gran potencial solar gracias a su ubicación geográfica. Comparaciones a nivel internacional sugieren que el país podría atraer importantes inversiones extranjeras si adopta políticas alineadas con los estándares globales. Este análisis destaca cómo países líderes han implementado políticas que promueven el desarrollo solar, sirviendo como ejemplo para Colombia. Se resalta la importancia de aprovechar la alta radiación solar y los nichos de mercado en regiones tropicales (Martínez et al., 2022; González & Herrera, 2023).

Según el Energy Transition Index 2021 del Foro Económico Mundial, Colombia se posiciona en el puesto 29 entre 115 países en capacidad de suministrar energía de forma autosostenible, accesible y ambientalmente amigable (Solmic, 2021). Este ranking refleja el avance del país en la regulación y promoción de proyectos solares, lo que ha llevado a un aumento significativo en la capacidad instalada de generación de energía, proyectándose un incremento de aproximadamente 2,500 megavatios (MW) en los próximos años.

La elevada radiación solar que recibe Colombia, especialmente en su región costera y andina, ofrece condiciones óptimas para el desarrollo de proyectos solares. Las empresas nacionales e internacionales han mostrado interés en llevar a cabo proyectos de paneles fotovoltaicos, lo que podría transformar el panorama energético del país. Por ejemplo, el Parque Solar Canal del Dique tiene como objetivo abastecer las plantas de tratamiento de agua en la región caribeña, contribuyendo a un suministro confiable y sostenible (Infobae, 2024). Este

proyecto no solo promueve la generación de energía limpia, sino que también tiene un impacto positivo al evitar la emisión de aproximadamente 6,600 toneladas de CO₂ al año.

Además, la planta Celsia Solar El Espinal, inaugurada en diciembre de 2020, es un ejemplo destacado del avance hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Con una capacidad instalada de 9.9 MW y un arreglo de 37,876 paneles solares, esta planta puede abastecer las necesidades energéticas de aproximadamente 6,000 hogares (AutoSolar, 2023). La construcción y operación de estas instalaciones generan empleo y oportunidades económicas para las comunidades locales.

Sin embargo, a pesar del gran potencial solar que posee Colombia, aún enfrenta desafíos significativos. La falta de infraestructura adecuada y el acceso limitado a tecnologías innovadoras son obstáculos que deben superarse para maximizar la adopción de energía solar (Medelediluminacion, 2023). Además, es fundamental que el gobierno implemente políticas claras y efectivas que faciliten la inversión en este sector.

En comparación con otros países líderes en energía solar como Alemania y España, Colombia tiene mucho margen para crecer. Estos países han establecido marcos regulatorios robustos y han incentivado la inversión mediante subsidios y beneficios fiscales (González & Herrera, 2023). Si Colombia logra implementar políticas similares y mejorar su infraestructura energética, podría convertirse en un líder regional en la generación de energía solar..

5.9 Impacto y beneficios de la energía solar fotovoltaica Colombia

5.9.1. Introducción a la Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una de las opciones más prometedoras en la transición hacia un modelo de energía sostenible. La luz del sol llega a la superficie terrestre con una intensidad significativa, conocida como irradiación solar o insolación solar, lo que permite el desarrollo de sistemas específicamente diseñados para aprovechar esta forma de energía

renovable. Variables como la latitud, la inclinación de los rayos solares y la nubosidad son predecibles y permiten adaptar los diseños de los sistemas solares a las condiciones locales (Ramírez Rodríguez, 2022).

Los paneles solares fotovoltaicos (FV) se caracterizan por su diseño modular y flexible, lo que facilita su instalación en una amplia variedad de aplicaciones, desde sistemas pequeños para el hogar hasta grandes plantas de energía. Su principal ventaja es que no necesitan combustible para funcionar, lo que reduce su impacto ambiental. Además, su larga vida útil, que puede superar los 25 años con un mantenimiento adecuado, los convierte en una inversión atractiva en términos de coste-beneficio (Pedraza Camacho & Trujillo Escobar, 2023).

La energía solar fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico. Cuando los fotones inciden sobre las células fotovoltaicas, liberan electrones y generan corriente eléctrica. Este proceso es altamente eficiente y permite que la energía solar se utilice tanto para aplicaciones residenciales como comerciales (González et al., 2023). En el área metropolitana de Bucaramanga, las encuestas indican un creciente interés por la instalación de sistemas fotovoltaicos, impulsado por la necesidad de fuentes de energía sostenibles y económicas.

A nivel internacional, la adopción de tecnología solar ha crecido exponencialmente. Según datos recientes, la capacidad instalada global de energía solar alcanzó aproximadamente 940 GW a finales de 2021, con proyecciones que sugieren un aumento significativo hacia 2040 (Iberdrola, 2024). Este crecimiento se debe en gran parte a las reducciones en costos y mejoras en la eficiencia tecnológica. En Colombia, el costo promedio de generación eléctrica a partir de energía solar se ha vuelto competitivo en comparación con fuentes tradicionales (SER Colombia, 2024).

Sin embargo, a pesar del avance en la adopción de energía solar, existen desafíos que deben abordarse. La variabilidad en la producción energética debido a factores climáticos y la necesidad de infraestructura adecuada para el almacenamiento y distribución son aspectos críticos que requieren atención (Medelediluminacion, 2023). Además, es fundamental que se implementen políticas públicas efectivas que fomenten el uso de energías renovables y faciliten la inversión en tecnologías solares.

5.9.2 Definición y Principios Básicos

La energía solar fotovoltaica se fundamenta en el principio del efecto fotovoltaico, que consiste en la conversión directa de la luz solar en electricidad a través de las celdas solares. Este procedimiento implica que los fotones de luz solar desprenden electrones en las celdas solares, generando así una corriente eléctrica constante. Los paneles solares se componen de múltiples celdas, y su diseño permite adaptar su capacidad según las necesidades energéticas específicas (Sánchez et al., 2023).

El efecto fotovoltaico se produce cuando la radiación solar incide sobre materiales semiconductores, como el silicio, provocando un movimiento de electrones. Al recibir la energía de los fotones, los electrones superan la energía que los mantiene unidos a sus átomos, lo que resulta en la generación de corriente eléctrica (Autosolar, 2024). En el área metropolitana de Bucaramanga, las encuestas indican un creciente interés por la instalación de sistemas fotovoltaicos, lo que refleja una mayor conciencia sobre las ventajas de esta tecnología.

Una parte de la energía solar que llega a los paneles se transforma en calor, lo que puede reducir la eficiencia del sistema. Por este motivo, se están estudiando materiales y diseños que puedan minimizar el impacto térmico en los paneles. Investigaciones recientes han demostrado

que el uso de recubrimientos especiales y tecnologías de enfriamiento activo puede mejorar significativamente la eficiencia operativa de los sistemas fotovoltaicos (González et al., 2023).

Además, la energía solar fotovoltaica tiene aplicaciones más allá de la generación de electricidad. Se utilizan sistemas térmicos para calentar agua y soluciones de iluminación independiente, lo que amplía su utilidad en diversos sectores (Cusva García, 2022). En Bucaramanga, por ejemplo, se han implementado sistemas solares para el calentamiento de agua en hogares y pequeñas empresas, contribuyendo a la reducción del consumo energético convencional.

La versatilidad de los paneles solares también permite su integración en diversas infraestructuras, desde techos residenciales hasta grandes instalaciones industriales. Esto no solo optimiza el uso del espacio urbano, sino que también promueve un modelo energético descentralizado que puede ser más resiliente ante interrupciones en el suministro eléctrico (Medelediluminacion, 2023).

En resumen, la energía solar fotovoltaica representa una solución viable y sostenible para satisfacer las crecientes demandas energéticas en Colombia. Con un enfoque continuo en la innovación y la adaptación a las condiciones locales, esta tecnología tiene el potencial para transformar el panorama energético del país.

5.9.3. Contexto Energético en Colombia

El sector energético colombiano ha experimentado cambios importantes en los últimos años. A pesar de que la generación hidráulica ha sido la principal fuente de energía en el país, la incorporación de energías renovables no convencionales, como la solar y la eólica, ha comenzado a diversificar la matriz energética. Aunque estas fuentes aún representan una pequeña parte de la generación total, su notable crecimiento es prometedor (González Celis, 2020).

Entre 2007 y 2010, Colombia estableció cinco centrales hidroeléctricas y dos parques eólicos, lo que representó un momento crucial en el cambio hacia una energía más sostenible. Sin embargo, la capacidad total de fuentes de energía renovable no convencional sigue siendo relativamente baja en comparación con el potencial del país. Según el Plan de Expansión de Referencia Generación-Transmisión, se identifican oportunidades significativas para incrementar esta capacidad, especialmente en las regiones con alta irradiación solar (Millán, 2022).

En 2021, las energías renovables representaban aproximadamente el 25% del suministro energético total del país y el 29% del consumo final (Valora Analitik, 2024). La energía hidráulica constituía el 14%, la biomasa el 12%, los biocombustibles el 2.5%, mientras que la energía solar y eólica representaban apenas el 0.1% y el 0.01%, respectivamente. A pesar de estos números bajos, las proyecciones indican que Colombia tiene un gran potencial para aumentar su capacidad instalada de energías renovables.

El informe del Energy Transition Index del Foro Económico Mundial posiciona a Colombia en el puesto 29 entre 115 países en términos de capacidad para suministrar energía sostenible y accesible (Solmic, 2021). Esto refleja un avance notable hacia la diversificación de la matriz energética y una mayor inversión en energías limpias. En particular, se espera que para 2027, aproximadamente el 30% de la matriz eléctrica provenga de fuentes no convencionales (Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME], 2023).

Sin embargo, a pesar del progreso, Colombia enfrenta desafíos significativos en su camino hacia una mayor adopción de energías renovables. La falta de infraestructura adecuada y los retrasos en la ejecución de proyectos son obstáculos que deben ser superados. Actualmente, hay más de 137 proyectos registrados que podrían aportar hasta 3.9 GW a la red eléctrica nacional, pero muchos enfrentan retrasos por problemas ambientales o burocráticos (SER Colombia, 2024).

A medida que Colombia avanza hacia la transformación de su matriz energética, es crucial que se implementen políticas públicas efectivas que fomenten inversiones en tecnologías limpias. La Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021 han establecido un marco regulatorio que busca facilitar esta transición y promover un desarrollo energético más sostenible (Medelediluminacion, 2023).

En conclusión, aunque Colombia ha realizado avances significativos en su sector energético al incorporar energías renovables no convencionales, aún queda mucho por hacer

para maximizar su potencial solar y eólico. Con un enfoque continuo en la innovación y políticas adecuadas, el país puede avanzar hacia un futuro energético más sostenible.

5.9.4 Fuentes de Energía Actuales

La generación de electricidad en Colombia se basa principalmente en fuentes hidráulicas y térmicas, con una menor contribución de sistemas no convencionales como la energía solar, eólica, biogás y biomasa. Las regiones Caribe y Andina son las principales proveedoras de energía, abasteciendo más del 85% de la demanda nacional (Piñeres Santana, 2021). Según datos del Ministerio de Minas y Energía, la energía hidráulica representa aproximadamente el 68% de la capacidad instalada, mientras que la generación térmica contribuye con cerca del 30% (AES Colombia, 2023).

En localidades como Villa de Leyva, se han realizado investigaciones detalladas sobre la eficacia del suministro eléctrico, revelando altos niveles de cobertura, pero con áreas de mejora en la calidad del servicio. Estos estudios subrayan la necesidad de fortalecer las capacidades técnicas y operativas para mejorar la provisión de energía en toda la nación (Ramírez Rodríguez, 2022). En el área metropolitana de Bucaramanga, encuestas recientes indican que los usuarios demandan no solo mayor cobertura, sino también una mejora en la calidad y estabilidad del suministro eléctrico.

A pesar del predominio de las fuentes tradicionales, el interés por las energías renovables no convencionales está en aumento. En 2021, las energías renovables representaron menos del 1% de la capacidad total instalada, pero se espera que esta cifra crezca significativamente en los próximos años debido a políticas gubernamentales que fomentan su desarrollo (SER Colombia, 2024). El Plan Nacional de Desarrollo establece metas claras para aumentar la participación de fuentes renovables no convencionales en la matriz energética, buscando alcanzar un 13% para 2030 (UPME, 2023).

Los desafíos que enfrenta el sector energético colombiano incluyen la alta dependencia de las fuentes hidráulicas y los riesgos asociados a fenómenos climáticos como El Niño, que pueden afectar drásticamente la generación eléctrica (González & Herrera, 2023). La diversificación de la matriz energética es esencial para mitigar estos riesgos y garantizar un suministro eléctrico confiable.

Además, el desarrollo de proyectos de energía solar y eólica ha comenzado a ganar impulso. En Bucaramanga y sus alrededores se han identificado varios proyectos potenciales que podrían contribuir a aumentar la capacidad instalada de energías renovables. La implementación exitosa de estos proyectos dependerá no solo del marco regulatorio existente, sino también del compromiso tanto del gobierno como del sector privado para invertir en tecnologías limpias (Medelediluminacion, 2023).

En resumen, aunque Colombia ha logrado avances significativos en su sector energético al incorporar energías renovables no convencionales, aún queda mucho por hacer para maximizar su potencial solar y eólico. Con un enfoque continuo en la innovación y políticas adecuadas, el país puede avanzar hacia un futuro energético más sostenible.

5.9.5 Potencial Solar en Colombia

La ubicación geográfica de Colombia en la zona intertropical le brinda un potencial solar significativo. Con un promedio de 3.640 kWh/m²/día de irradiación solar, el país se destaca como uno de los más adecuados para la implementación de tecnologías solares fotovoltaicas (Cano et al., 2022). Este alto nivel de irradiación, combinado con el compromiso del gobierno colombiano hacia la diversificación de la matriz energética, crea un entorno favorable para el desarrollo de proyectos de energía solar.

A pesar del gran potencial, la generación de energía solar en Colombia aún representa una pequeña fracción de la capacidad total instalada. Según datos recientes, las fuentes de energía renovable no convencionales, incluida la solar, constituyen solo el 0.70% de la generación total en la matriz energética (E2 Energía Eficiente, 2023). Sin embargo, se espera que esta cifra aumente significativamente en los próximos años gracias a políticas que fomentan la inversión en energías limpias y a la creciente conciencia sobre los beneficios ambientales y económicos de la energía solar.

Investigaciones realizadas en el área metropolitana de Bucaramanga han demostrado que hay un interés creciente por parte de los ciudadanos en adoptar tecnologías solares. Las encuestas indican que los residentes están cada vez más conscientes de las ventajas económicas que ofrecen los sistemas fotovoltaicos, como la reducción en las facturas eléctricas y la independencia energética (Ramírez Rodríguez, 2022). Además, proyectos como El Paso Solar y Celsia Solar El Espinal han mostrado resultados positivos en términos de generación de energía y beneficios comunitarios, lo que refuerza la viabilidad del sector solar en el país.

El Plan Nacional de Desarrollo establece metas ambiciosas para aumentar la participación de fuentes renovables no convencionales en la matriz energética. Se proyecta que para 2030, estas fuentes representen hasta el 15% del total (UPME, 2023). Esto implica un esfuerzo concertado entre el gobierno y el sector privado para superar barreras como la falta de infraestructura adecuada y el acceso limitado a financiamiento.

El potencial solar en Colombia es tan grande que solo utilizando el 20% de la superficie del departamento de La Guajira se podrían alcanzar hasta 42.000 megavatios (MW) de generación solar (Weidmüller, 2023). Esta cifra resalta no solo el potencial energético del país, sino también la oportunidad para atraer inversiones significativas en el sector.

En resumen, aunque Colombia ha comenzado a explorar su potencial solar, aún queda mucho por hacer para maximizar su capacidad. Con un enfoque continuo en políticas efectivas y colaboración entre todos los actores involucrados, el país puede avanzar hacia una matriz energética más sostenible y diversificada.

5.9.6 Recursos Solares Disponibles

Las zonas del Caribe y del Pacífico en Colombia se caracterizan por recibir una alta cantidad de radiación solar, en particular en lugares como La Guajira y la costa insular de San Andrés y Providencia. Estas condiciones geográficas propician una generación continua de energía solar, aunque factores como la presencia de nubes y la altitud en otras áreas pueden restringir su potencial de utilización (Becerra Peña & Hoyos Mesa, 2020). En el área metropolitana de Bucaramanga, las encuestas realizadas indican que los residentes son cada vez más conscientes de las oportunidades que ofrece la energía solar, lo que refleja un interés creciente en la instalación de sistemas fotovoltaicos.

Últimas investigaciones han señalado múltiples ciudades con condiciones favorables para la instalación de tecnologías solares, tales como poca nubosidad y temperaturas estables durante todo el año. Estos rasgos son óptimos para maximizar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos y reducir al mínimo su deterioro con el paso del tiempo (Gómez & Stiwén, 2024). En Bucaramanga, por ejemplo, se han identificado áreas con altos niveles de irradiación solar que podrían ser aprovechadas para proyectos de energía renovable.

De acuerdo con el IDEAM, los valores de irradiación solar en Colombia oscilan entre 3.5 y 6.0 kWh/m²/día, siendo las regiones del Caribe las que presentan los niveles más altos (IDEAM, 2023). Esta variabilidad en la irradiación también se ve influenciada por factores climáticos estacionales, donde se observa un aumento significativo durante los meses secos (Mejía García,

2021). Por lo tanto, es crucial considerar estos patrones al planificar la instalación de sistemas solares.

Además, la implementación de tecnologías avanzadas puede mejorar aún más el aprovechamiento del recurso solar. Por ejemplo, el uso de paneles solares bifaciales y sistemas de seguimiento solar puede aumentar la eficiencia de captación al permitir que los paneles aprovechen tanto la luz directa como la reflejada (Tamesol, 2024). Este tipo de innovación es especialmente relevante en regiones como Bucaramanga, donde las condiciones climáticas pueden variar.

El desarrollo de proyectos solares también contribuye a la creación de empleo y al fortalecimiento económico local. En este sentido, se estima que la adopción masiva de tecnologías solares podría generar miles de puestos de trabajo en el área metropolitana y sus alrededores (SER Colombia, 2024). La combinación del potencial solar disponible con políticas públicas adecuadas puede posicionar a Colombia como un líder regional en energía renovable..

5.9.7 Beneficios Económicos

La energía solar fotovoltaica presenta numerosos beneficios económicos, especialmente en lo que respecta a la disminución de los costos energéticos tanto para hogares como para empresas. Además de su impacto directo en el ahorro en las facturas de electricidad, también tiene un efecto positivo en la economía local al generar empleo en el sector de la instalación, operación y mantenimiento de sistemas solares (González Celis, 2020). En el área metropolitana de Bucaramanga, las encuestas realizadas revelan que los usuarios están cada vez más interesados en adoptar esta tecnología, impulsados por la posibilidad de reducir sus gastos energéticos.

Uno de los beneficios más destacados de la energía solar fotovoltaica es el ahorro significativo en las facturas eléctricas. Se estima que los usuarios pueden reducir sus costos energéticos hasta en un 98% al generar su propia electricidad mediante paneles solares (Enlight, 2023). Este ahorro no solo mejora la situación financiera de los hogares y empresas, sino que también contribuye a una mayor estabilidad económica en la región.

Adicionalmente, las políticas fiscales en Colombia favorecen la adopción de sistemas fotovoltaicos. La Ley 1715 de 2014 permite deducciones fiscales de hasta el 50% de la inversión en sistemas solares durante un periodo de cinco años (Ambiente Solar, 2023). Esto hace que la inversión inicial sea más accesible y atractiva para los consumidores. Asimismo, se ofrece la posibilidad de depreciación acelerada del 100% en maquinaria y equipos necesarios para la generación de energía renovable, lo que representa un incentivo adicional para las empresas que buscan reducir sus costos operativos (González & Herrera, 2023).

La implementación de tecnologías solares también genera empleo local. Se estima que por cada megavatio instalado se pueden crear entre 5 y 7 empleos directos e indirectos en el sector (SER Colombia, 2024). Esto es particularmente relevante en áreas como Bucaramanga, donde se están desarrollando varios proyectos solares que no solo contribuyen a la generación de energía limpia, sino que también ayudan a mejorar las condiciones laborales y económicas de la comunidad.

Además, el uso de energía solar contribuye a aumentar el valor de las propiedades. Las viviendas equipadas con sistemas fotovoltaicos son cada vez más valoradas por los compradores debido a su eficiencia energética y sostenibilidad (Acciona, 2024). Este aumento en el valor puede ser un factor decisivo para muchos propietarios al considerar inversiones en energía renovable.

Por último, la energía solar fotovoltaica tiene un impacto ambiental positivo al reducir la huella de carbono. Al utilizar fuentes renovables para generar electricidad, se disminuye la dependencia de combustibles fósiles y se contribuye a mitigar el cambio climático (Becerra Peña & Hoyos Mesa, 2020). Este aspecto ambiental también se traduce en beneficios económicos a largo plazo, ya que muchas empresas están buscando adoptar prácticas sostenibles para mejorar su imagen y atraer a consumidores conscientes del medio ambiente.

5.9.8 Reducción de Costos Energéticos

La instalación de paneles solares puede disminuir los costos de electricidad hasta en un 80% para los usuarios que consumen gran parte de la energía generada. Esta reducción es especialmente significativa para las empresas industriales y comerciales, donde la factura eléctrica representa un costo operativo importante (Millán, 2022). En el área metropolitana de Bucaramanga, las encuestas realizadas indican que tanto hogares como empresas están cada vez más interesados en adoptar tecnologías solares debido a los ahorros sustanciales que pueden obtener.

Además del ahorro directo en las facturas de electricidad, el excedente de energía generada puede venderse a la red, creando una fuente adicional de ingresos y reduciendo el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial (Piñeres Santana, 2021). Este modelo de negocio se ha vuelto atractivo para muchas empresas en Bucaramanga, que buscan optimizar sus costos operativos y diversificar sus fuentes de ingresos.

La energía solar también disminuye la necesidad de depender de fuentes convencionales, como los combustibles fósiles, cuyo precio es más inestable y está influenciado por dinámicas globales. En el contexto colombiano, donde los costos de generar electricidad mediante procesos térmicos son altos, la energía solar fotovoltaica proporciona una opción más constante y

predecible a largo plazo (Ramírez Rodríguez, 2022). Esto es particularmente relevante en un país donde la volatilidad del mercado energético puede afectar significativamente a las empresas.

Los incentivos fiscales también juegan un papel crucial en la reducción de costos. La Ley 1715 de 2014 permite deducciones fiscales de hasta el 50% de la inversión en sistemas solares durante un periodo de cinco años (Ambiente Solar, 2023). Estos beneficios fiscales hacen que la inversión inicial sea más accesible y atractiva para los consumidores. Además, se ofrece la posibilidad de depreciación acelerada del 100% en maquinaria y equipos necesarios para la generación de energía renovable, lo que representa un incentivo adicional para las empresas que buscan reducir sus costos operativos (González & Herrera, 2023).

La adopción de sistemas solares no solo mejora la situación financiera de los usuarios, sino que también contribuye al desarrollo económico local. Se estima que por cada megavatio instalado se pueden crear entre 5 y 7 empleos directos e indirectos en el sector solar (SER Colombia, 2024). Esto es especialmente relevante en Bucaramanga, donde el crecimiento del sector energético puede ofrecer oportunidades laborales significativas.

Finalmente, al reducir la dependencia de fuentes fósiles y promover el uso de energías renovables, las empresas también mejoran su imagen ante los consumidores. Cada vez más personas valoran las prácticas sostenibles y están dispuestas a apoyar a aquellas empresas que demuestran un compromiso con el medio ambiente (Acciona, 2024). Este cambio hacia una mayor sostenibilidad no solo beneficia a las empresas desde una perspectiva económica, sino que también contribuye a un futuro más limpio y saludable para todos.

5.9.9 Impacto Ambiental

El indudable efecto positivo de la energía solar fotovoltaica en el entorno se evidencia al emplear una fuente de energía limpia y renovable, lo que impide la liberación de elevadas cantidades de gases de efecto invernadero. Esto conlleva una significativa contribución a la disminución del cambio climático (Becerra Peña & Hoyos Mesa, 2020). La energía solar es ampliamente reconocida como una de las soluciones más prometedoras para combatir el cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

Uno de los principales beneficios ambientales de la energía solar es su capacidad para generar electricidad sin emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI). A diferencia de las plantas que queman combustibles fósiles, las instalaciones solares no liberan dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NOx) ni dióxido de azufre (SO₂) durante su operación. Esto significa que, a lo largo de su vida útil, los paneles solares pueden reducir significativamente la cantidad de GEI en la atmósfera, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático (Next IBS, 2023).

Además, la energía solar ayuda a mejorar la calidad del aire al disminuir la contaminación asociada con la generación eléctrica convencional. La combustión de carbón y gas natural es una fuente importante de contaminantes atmosféricos que pueden causar problemas de salud, como enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Al reducir la necesidad de estas fuentes contaminantes, la energía solar contribuye a un ambiente más saludable tanto para las personas como para los ecosistemas locales (Solar Roots, 2023).

Sin embargo, a pesar de sus claros beneficios, la energía solar no está exenta de desafíos ambientales. Uno de los principales problemas es el uso intensivo del suelo. Las grandes instalaciones solares requieren extensas áreas de terreno, lo que puede llevar a la destrucción

de hábitats naturales y fragmentación de ecosistemas. Esto es particularmente preocupante en regiones donde se instalan plantas solares en áreas vírgenes o en tierras agrícolas, lo que puede causar conflictos con la conservación de la biodiversidad y la producción alimentaria (SolarPlak, 2023).

Otro impacto ambiental significativo es la huella de carbono y la contaminación asociada con la fabricación de paneles solares. La producción de células fotovoltaicas implica la extracción y procesamiento de minerales como el silicio y el cadmio, lo que consume grandes cantidades de energía y puede generar residuos tóxicos (ACCIONA, 2024). Además, si la electricidad utilizada en la fabricación proviene de fuentes no renovables, esto puede reducir los beneficios netos asociados con el uso de energía solar.

La gestión adecuada al final de la vida útil de los paneles solares plantea otro desafío. Aunque estos paneles son duraderos y tienen una vida útil estimada entre 25 y 30 años, eventualmente necesitarán ser reemplazados. La falta de sistemas efectivos para reciclar paneles solares puede llevar a que materiales tóxicos como plomo y cadmio contaminen el suelo y el agua si no se manejan correctamente (Next IBS, 2023).

Para maximizar los beneficios ambientales y minimizar los impactos negativos, es esencial adoptar prácticas sostenibles a lo largo del ciclo de vida completo de los sistemas solares. Esto incluye seleccionar sitios adecuados para las instalaciones, priorizando terrenos degradados o no utilizados; mejorar la eficiencia en los procesos de fabricación; y establecer sistemas efectivos para el reciclaje al final del ciclo útil (SolarPlak, 2023).

5.9.10 Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

En contraste con las plantas de energía que utilizan carbón o gas natural, los sistemas solares no emiten CO₂, SO₂ o NO_x. Por lo tanto, son una excelente alternativa para zonas

urbanas con niveles elevados de contaminación del aire. Al no depender de combustibles fósiles, disminuyen la presión sobre los recursos naturales y promueven una gestión ambiental sostenible (Gómez & Stiwen, 2024). En el área metropolitana de Bucaramanga, donde la calidad del aire es una preocupación creciente, la adopción de energía solar fotovoltaica puede contribuir significativamente a la mejora del entorno ambiental.

En términos generales, se ha demostrado que la energía solar es eficaz para disminuir la huella de carbono. En el contexto colombiano, su extensa adopción podría contribuir al cumplimiento de los compromisos del Acuerdo de París y al avance hacia una economía con bajas emisiones de carbono (Castiblanco & Cárdenas, 2020). Este compromiso es especialmente relevante en un país donde las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado debido a la dependencia de fuentes energéticas convencionales.

Además, estudios recientes indican que la implementación de sistemas solares en Bucaramanga podría evitar la emisión de miles de toneladas de CO₂ anualmente. Por ejemplo, el Parque Solar Canal del Dique se estima que evitará aproximadamente 6,600 toneladas de dióxido de carbono al año, lo que equivale a la absorción de carbono de unas 830 hectáreas de bosque (Solmic, 2023). Este tipo de proyectos no solo promueve la generación de energía limpia y renovable, sino que también tiene un impacto positivo en la reducción de emisiones a nivel local.

La transición hacia energías renovables también se traduce en beneficios económicos y sociales. La reducción en las emisiones contribuye a mejorar la salud pública al disminuir los problemas respiratorios y cardiovasculares asociados con la contaminación del aire (Next IBS, 2023). En Bucaramanga, donde los índices de contaminación son preocupantes, este aspecto es fundamental para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Asimismo, el uso extendido de energía solar puede servir como un modelo para otras ciudades colombianas. La experiencia acumulada en Bucaramanga puede ser replicada en otras regiones del país que enfrentan desafíos similares en términos de calidad del aire y sostenibilidad energética (SER Colombia, 2024). Esto resalta la importancia de fomentar políticas públicas que apoyen el desarrollo y la implementación de tecnologías solares.

Finalmente, es crucial considerar el ciclo completo del impacto ambiental asociado con los sistemas solares. Aunque su operación es limpia, es necesario gestionar adecuadamente los residuos generados al final de su vida útil para evitar efectos negativos sobre el medio ambiente (Becerra Peña & Hoyos Mesa, 2020). La implementación de programas efectivos para el reciclaje y manejo responsable de paneles solares contribuirá a maximizar los beneficios ambientales y minimizar cualquier impacto adverso.

5.9.11 Desarrollo Tecnológico y Capacitación

La capacitación de expertos en energía solar es crucial para asegurar el desarrollo exitoso de esta tecnología en Colombia. Es necesario contar con personal calificado que pueda hacer frente a los retos técnicos y operativos relacionados con los sistemas fotovoltaicos, desde su instalación hasta su mantenimiento (Cusva García, 2022). En el área metropolitana de Bucaramanga, se han llevado a cabo diversas iniciativas de formación que buscan preparar a los profesionales del sector para satisfacer la creciente demanda de energía solar.

Instituciones como el Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA) ofrecen cursos especializados en energías renovables, donde se abordan temas como el diseño, la instalación y el mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos (CCEEA, 2023). Estos programas están diseñados para proporcionar a los estudiantes no solo conocimientos teóricos, sino también habilidades prácticas que son esenciales en el campo laboral. Las encuestas realizadas en Bucaramanga muestran que los participantes valoran positivamente la formación práctica y la experiencia directa en proyectos reales.

Además, plataformas como Ecener ofrecen cursos de energía solar fotovoltaica que incluyen entrenamiento en diseño e instalación de sistemas interconectados a la red eléctrica

(Ecener, 2023). Este tipo de capacitación es fundamental para garantizar que los técnicos y profesionales estén actualizados con las últimas tecnologías y prácticas del sector. La formación continua es esencial para mantener la competitividad y la calidad en la implementación de proyectos solares.

La colaboración entre universidades, empresas y entidades gubernamentales también juega un papel importante en el desarrollo de capacidades en el sector solar. Programas de investigación conjunta y pasantías permiten a los estudiantes adquirir experiencia práctica mientras contribuyen a proyectos innovadores que pueden beneficiar a sus comunidades (SER Colombia, 2024). Esta sinergia es clave para fomentar un ecosistema robusto que apoye la transición hacia energías renovables.

La capacitación adecuada no solo beneficia a los individuos que reciben formación, sino que también tiene un impacto positivo en la economía local. Al aumentar el número de profesionales capacitados en energía solar, se generan nuevas oportunidades laborales y se estimula el crecimiento del sector (González Celis, 2020). Esto es especialmente relevante en Bucaramanga, donde la implementación de tecnologías solares puede contribuir al desarrollo económico regional.

En resumen, el desarrollo tecnológico y la capacitación son componentes esenciales para maximizar el potencial de la energía solar en Colombia. Con una fuerza laboral bien preparada y comprometida, el país puede avanzar hacia un futuro energético más sostenible y resiliente.

5.9.12 Avances en Tecnología Fotovoltaica

Los progresos tecnológicos en la producción de paneles solares han generado un incremento notable en su eficacia y una significativa reducción en sus costos. Avances en el uso de materiales como el silicio monocristalino y policristalino han mejorado el rendimiento de los paneles, mientras que el desarrollo de celdas de capa fina ha abierto nuevas posibilidades en aplicaciones flexibles y ligeras (Sánchez et al., 2023). En el área metropolitana de Bucaramanga, estos avances están comenzando a ser adoptados por empresas y hogares, impulsando la transición hacia fuentes de energía más sostenibles.

Una de las innovaciones más destacadas es la introducción de paneles solares bifaciales, que son capaces de aprovechar la luz solar tanto en la parte frontal como en la trasera. Esta tecnología permite capturar la luz reflejada desde el suelo o superficies circundantes, aumentando así la producción total de energía (Piles & Co, 2023). En Bucaramanga, se han realizado estudios que demuestran que la utilización de estos paneles puede incrementar la eficiencia energética en entornos urbanos donde el espacio es limitado.

La integración de la inteligencia artificial (IA) y la tecnología del Internet de las Cosas (IoT) también ha revolucionado el sector fotovoltaico. Estas tecnologías permiten un mejor monitoreo y control de los sistemas solares, facilitando el mantenimiento predictivo y optimizando el rendimiento a través del análisis de datos en tiempo real (Tamesol, 2024). En Bucaramanga, algunas empresas están comenzando a implementar estos sistemas inteligentes para maximizar la eficiencia operativa y reducir costos.

El desarrollo de células solares de perovskita representa otro avance significativo. Este material tiene un rango de absorción de luz más amplio que los materiales convencionales, lo que les permite capturar una mayor cantidad de energía solar con una eficiencia superior al 20% (Galt, 2023). Las células de perovskita son más económicas y fáciles de producir que las tradicionales basadas en silicio, lo que podría hacer que la energía solar sea más accesible para un mayor número de usuarios.

Además, los sistemas de almacenamiento de energía han mejorado notablemente. Las baterías avanzadas permiten almacenar la energía generada durante el día para su uso durante la noche o en días nublados, lo que aumenta la viabilidad y confiabilidad de los sistemas solares (EDP Energía, 2023). Este avance es crucial para asegurar un suministro constante y confiable, especialmente en áreas donde la red eléctrica es inestable.

Finalmente, los paneles solares transparentes están emergiendo como una opción innovadora para integrar tecnología solar en edificios sin comprometer su estética. Estos paneles pueden ser utilizados en ventanas y fachadas, convirtiendo superficies comunes en fuentes de energía (Noticias de la Ciencia, 2023). En Bucaramanga, esta tecnología puede ofrecer soluciones atractivas para nuevos desarrollos arquitectónicos.

En resumen, los avances tecnológicos en el sector fotovoltaico no solo mejoran la eficiencia y reducen costos, sino que también amplían las aplicaciones posibles para la energía solar. Estos desarrollos son fundamentales para impulsar su adopción en Colombia y contribuir a un futuro energético más sostenible.

5.9.13 Innovación y Avances Tecnológicos en el Sector Solar

El avance del sector solar en Colombia se enfrenta a varios retos técnicos, económicos y regulatorios. La intermitencia de la energía solar sigue siendo un desafío clave en términos técnicos. La variabilidad de la radiación solar a lo largo del día y de las estaciones requiere soluciones sólidas en cuanto al almacenamiento de energía y la diversificación de fuentes renovables para asegurar un suministro constante (Serna Toro, 2023). En el área metropolitana de Bucaramanga, estos desafíos son particularmente relevantes, ya que las encuestas realizadas indican que tanto los consumidores residenciales como comerciales están preocupados por la estabilidad del suministro energético.

Además, la falta de una red de datos fiable sobre los recursos solares limita la planificación y el diseño de proyectos eficientes, lo que representa un obstáculo significativo para la expansión del sector (Rodríguez Rocha et al., 2022). En Bucaramanga, la carencia de información precisa sobre la irradiación solar y las condiciones climáticas dificulta la toma de decisiones informadas para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

Desde un punto de vista económico, las grandes inversiones requeridas para instalar sistemas solares siguen siendo un obstáculo para muchas comunidades rurales y pequeñas empresas. Aunque existen incentivos fiscales y financieros, su alcance y efectividad han sido limitados, lo que dificulta la adopción generalizada de estas tecnologías (Pinilla Forero & Pareja Ayerbe, 2023). Las encuestas en Bucaramanga muestran que muchos potenciales usuarios consideran que el costo inicial es un impedimento significativo para invertir en energía solar.

En términos regulatorios, la superposición de funciones entre diferentes entidades gubernamentales ha generado incertidumbre en el marco normativo, afectando la confianza de los inversionistas nacionales e internacionales (Lagos Aranda, 2020). Esta falta de claridad puede desincentivar a los inversores a comprometerse con proyectos solares a largo plazo. En Bucaramanga, los desarrolladores locales expresan su preocupación por las demoras en los permisos necesarios para llevar a cabo proyectos solares.

Además, la infraestructura existente para integrar la energía solar en la red eléctrica nacional es insuficiente. La necesidad de construir nuevas líneas eléctricas y subestaciones es crítica para asegurar que la energía generada pueda ser distribuida eficientemente (Celco, 2023). Sin estas mejoras en infraestructura, el crecimiento del sector solar podría verse limitado.

Por último, es importante mencionar que la falta de conciencia y educación sobre los beneficios de la energía solar también actúa como una barrera. Muchas comunidades aún desconocen las ventajas económicas y ambientales que ofrece esta tecnología (González Celis, 2020). Programas educativos y campañas informativas son esenciales para fomentar una mayor aceptación y adopción de soluciones solares en Bucaramanga y otras regiones del país.

5.9.14 Desafíos y Barreras

El sector solar fotovoltaico ha experimentado un rápido crecimiento en términos de innovación tecnológica a nivel mundial. Aunque en Colombia todavía está en desarrollo, los

avances tecnológicos están comenzando a transformar la generación y distribución de energía. Una de las áreas principales de innovación se centra en la inclusión de sistemas de almacenamiento de energía, como las baterías de ion-litio, que permiten almacenar el exceso de energía generada durante el día para su uso en momentos de alta demanda o baja irradiación solar (Camacho Garcés, 2023). En el área metropolitana de Bucaramanga, estas tecnologías están empezando a ser adoptadas por empresas y hogares, lo que refleja un interés creciente por maximizar la eficiencia energética.

Además, los avances en materiales fotovoltaicos, como las celdas de perovskita, están logrando eficiencias superiores al 25% en condiciones de laboratorio, lo que promete revolucionar la capacidad de generación en los próximos años (Cusva García, 2022). La implementación de estas tecnologías emergentes puede ser particularmente beneficiosa para Bucaramanga, donde la irradiación solar es favorable y la demanda por soluciones energéticas sostenibles está en aumento.

Un aspecto importante en la innovación tecnológica es la aplicación de sistemas inteligentes de gestión de energía basados en inteligencia artificial. Estos sistemas permiten mejorar la operación de plantas solares a través de pronósticos meteorológicos avanzados y monitoreo en tiempo real (Sánchez et al., 2023). En Bucaramanga, se han realizado estudios que indican que la integración de estas tecnologías puede optimizar la producción energética y reducir costos operativos.

En entornos urbanos, la movilidad eléctrica se está combinando con sistemas de carga solar, promoviendo un modelo de transporte sostenible. Proyectos piloto en ciudades como Medellín están investigando la sinergia entre estaciones de carga y paneles solares instalados en techos de estaciones de transporte público (Mayorga Rodríguez, 2024). Esta tendencia

también podría extenderse a Bucaramanga, donde el desarrollo de infraestructura para vehículos eléctricos y sistemas solares podría mejorar la sostenibilidad del transporte urbano.

La incorporación de paneles solares bifaciales es otra innovación que está ganando popularidad. Estos paneles son capaces de captar luz solar tanto por el lado frontal como por el trasero, lo que aumenta su eficiencia al aprovechar la luz reflejada desde superficies cercanas (Piles & Co., 2023). En Bucaramanga, esta tecnología puede ser especialmente útil en áreas con alta reflectividad, como pavimentos claros o superficies metálicas.

Finalmente, los avances en tecnología fotovoltaica no solo se limitan a los paneles solares. La investigación sobre sistemas híbridos que combinan energía solar con otras fuentes renovables también está en aumento. Esto incluye el uso conjunto de energía solar y eólica para maximizar la producción energética durante todo el año (Solmic, 2023). Esta combinación puede ofrecer una solución más robusta para satisfacer las crecientes demandas energéticas en Bucaramanga y otras regiones del país.

En resumen, los avances tecnológicos en el sector fotovoltaico están impulsando su crecimiento y adopción a nivel mundial. Con una combinación de innovaciones en almacenamiento, gestión inteligente y materiales avanzados, Colombia tiene el potencial para convertirse en un líder regional en energía solar.

5.9.15 Perspectivas Futuras y Oportunidades de Crecimiento

Las perspectivas para la industria solar en Colombia apuntan hacia un futuro prometedor. El país tiene un gran potencial de radiación solar, especialmente en regiones como La Guajira y el Caribe, donde se registran niveles de irradiación superiores a los 5 kWh/m² diarios (Cano et al., 2022). Con el fin de aprovechar este potencial, el gobierno ha establecido metas ambiciosas para la generación solar, proyectando alcanzar una capacidad instalada de 1,450 MW para el

2032, lo que representará un 3.9% del total de la matriz energética nacional (Becerra Peña & Hoyos Mesa, 2020).

Dentro del campo tecnológico, se prevé una reducción continua en los costos de los sistemas fotovoltaicos, lo que hará que esta forma de energía sea aún más competitiva en comparación con las alternativas tradicionales. Asimismo, la implementación de tecnologías novedosas como la inteligencia artificial y el Internet de las cosas (IoT) facilitará una gestión más eficaz de los sistemas solares, mejorando su rendimiento y disminuyendo los gastos operativos (Gómez & Stiwen, 2024). En Bucaramanga, se han comenzado a implementar sistemas inteligentes que optimizan la producción y el consumo energético, lo que refleja un avance hacia la modernización del sector.

El aumento en la demanda de energía limpia también abre oportunidades para la creación de modelos de negocio innovadores, como las comunidades energéticas y los proyectos de generación distribuida. Estos modelos no solo promueven la autosuficiencia energética, sino que también contribuyen al desarrollo económico local al generar empleos y fortalecer la infraestructura en regiones vulnerables (Clavijo Galvis & Pinto Pérez, 2024). En Bucaramanga, las encuestas indican que los ciudadanos están interesados en participar en iniciativas comunitarias que fomenten el uso de energías renovables.

Además, el sector solar puede jugar un papel crucial en la transición energética de Colombia, ayudando al país a cumplir con sus compromisos internacionales en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y mitigación del cambio climático. La adopción masiva de energía solar podría reducir significativamente las emisiones contaminantes asociadas con la generación eléctrica convencional (Castiblanco & Cárdenas, 2020).

En este contexto, el desarrollo de infraestructura adecuada es esencial. La construcción de nuevas plantas solares y la mejora en las redes eléctricas permitirán integrar más eficientemente la energía solar en el sistema nacional. Proyectos como el Parque Solar El Paso y otros similares están sentando las bases para un crecimiento sostenible del sector (Correa Romero, 2024).

Finalmente, es importante destacar que el apoyo gubernamental a través de políticas adecuadas y programas de incentivos será fundamental para maximizar el potencial del sector solar en Colombia. A medida que se implementen estas políticas y se desarrollen nuevas tecnologías, se espera que el país no solo aumente su capacidad instalada, sino que también se convierta en un referente regional en energías renovables

6 Marco Legal

El crecimiento de la demanda de energía y el compromiso global con la sostenibilidad han llevado a Colombia a adoptar políticas que fomenten el uso de energías renovables, especialmente la solar. Este marco institucional analiza la normativa vigente y las políticas públicas que afectan la creación de empresas dedicadas a proyectos de sistemas fotovoltaicos residenciales.

Norma	Descripción	Fecha de Publicación	Enlace
Ley 1715 de 2014	Regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional,	13 de mayo de 2014	Ley 1715 de 2014

	promoviendo su desarrollo y utilización.		
Decreto 2143 de 2015	Adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, estableciendo lineamientos para la aplicación de incentivos de la Ley 1715 de 2014.	22 de octubre de 2015	Decreto 2143 de 2015
Resolución CREG 024 de 2015	Regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).	13 de marzo de 2015	Resolución CREG 024 de 2015
Resolución CREG 030 de 2018	Regula las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el SIN.	23 de marzo de 2018	Resolución CREG 030 de 2018
Decreto 829 de 2020	Reglamenta los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014, modificando y adicionando el Decreto Único Reglamentario en Materia Tributaria.	10 de junio de 2020	Decreto 829 de 2020

Resolución UPME 281 de 2015	Define el límite máximo de potencia para la autogeneración a pequeña escala.	30 de abril de 2015	Resolución UPME 281 de 2015
Resolución MADS 1283 de 2016	Establece el procedimiento y requisitos para la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables.	8 de agosto de 2016	Resolución MADS 1283 de 2016
Resolución MADS 1312 de 2016	Adopta los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental requerido para proyectos de uso de energía eólica continental.	11 de agosto de 2016	Resolución MADS 1312 de 2016
Ley 2099 de 2021	Actualiza la Ley 1715 de 2014, promoviendo la transición energética y la dinamización del mercado de energías renovables.	10 de julio de 2021	Ley 2099 de 2021

Tabla 2. Los autores

Esta normativa proporciona los fundamentos para promover, regular e implementar proyectos de energía fotovoltaica y otras fuentes de energía renovable en Colombia, con el fin de facilitar su incorporación al sistema energético nacional y brindar estímulos para su crecimiento.

7 Metodología

7.1 Enfoque, alcance y diseño de la investigación

La presente investigación se centra en la viabilidad técnica para la creación de una empresa dedicada a la generación de energía solar fotovoltaica en el área metropolitana de Bucaramanga. Este análisis busca proporcionar un marco integral para determinar las posibilidades de implementar un proyecto sostenible y económicamente viable que aproveche el potencial energético de la región. La investigación se fundamenta en el análisis de la disponibilidad de recursos solares, las condiciones climáticas y geográficas específicas, así como en el estudio de las normativas vigentes que regulan la instalación y operación de sistemas fotovoltaicos (UPME, 2015).

El enfoque metodológico incluye la evaluación técnica de los sistemas solares fotovoltaicos, considerando aspectos como la capacidad de generación, la eficiencia de los paneles solares y los requerimientos de instalación. (Camacho Garcés, s.f.; Buitrago Parra & Cifuentes Barón, 2022). Además, se analizarán casos de éxito en proyectos similares en

Colombia, como el Parque Solar Puertos en Santander, que ha demostrado ser viable tanto técnica como ambientalmente (ANLA, 2024).

Asimismo, se considerarán los beneficios ambientales asociados con la implementación del sistema solar fotovoltaico. Esto incluye una estimación de las reducciones en emisiones de CO₂ que se lograrían al sustituir fuentes convencionales de energía por energía solar (Sánchez et al., 2023). La investigación también abordará los desafíos que podrían surgir durante la implementación del proyecto, tales como barreras regulatorias o limitaciones tecnológicas.

Finalmente, se espera que este estudio contribuya a fomentar el uso de energías renovables en Colombia y sirva como referencia para futuros proyectos en otras regiones del país. La integración de tecnologías limpias es fundamental para diversificar la matriz energética nacional y avanzar hacia un modelo más sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

7.2 Analizar los aspectos normativos, regulatorios, económicos y técnicos aplicable a los sistemas fotovoltaicos residenciales en Colombia, con énfasis en su implementación en el área metropolitana de Bucaramanga

- **Aspectos Normativos y Regulatorios**

La transformación del sector energético hacia prácticas más sostenibles es una respuesta directa a la creciente preocupación mundial por las emisiones de gases de efecto invernadero y la conservación del medio ambiente. Dentro de este cambio, la energía solar fotovoltaica se destaca por su potencial para proporcionar una fuente de energía limpia y renovable. Colombia ha respondido a estos retos mediante la implementación de políticas y regulaciones que buscan integrar las energías renovables dentro de su estructura energética nacional.

Específicamente, el área metropolitana de Bucaramanga muestra un potencial considerable para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos residenciales, gracias a sus niveles óptimos de irradiación solar y un interés creciente tanto de los consumidores como de las autoridades en las alternativas energéticas sostenibles. Elementos clave de este marco regulatorio incluyen la Ley 1715 de 2014 y la Resolución CREG 030 de 2018, que juntas establecen incentivos y directrices para la adopción de la energía solar.

Desde la perspectiva de un especialista en Gerencia de Proyectos, comprender y analizar estas normativas es crucial no solo para entender el entorno en el que se desenvuelven estos proyectos, sino también para asegurar su planificación y ejecución efectiva. Este trabajo de graduación se enfoca en examinar cómo estas regulaciones impactan la gestión y la factibilidad de los sistemas fotovoltaicos en hogares colombianos, poniendo especial énfasis en su aplicación en la región de Bucaramanga.

A continuación, se explora con profundidad cómo la legislación actual influye en la implementación y operación de los sistemas fotovoltaicos en Colombia, destacando la manera en que estos marcos legales se pueden manejar estratégicamente para optimizar sus ventajas económicas y ambientales.

- **Análisis de la Ley 1715 de 2014**

Contexto y Objetivos de la Ley

La Ley 1715 de 2014 es una legislación clave que ha facilitado la integración de energías renovables en el sistema energético de Colombia. Esta ley busca promover el uso de energías limpias a través de incentivos económicos y simplificación de los procesos para la conexión a la red eléctrica nacional.

- **Exenciones Tributarias**

La Ley 1715 de 2014 establece varios incentivos fiscales destinados a promover la inversión en tecnologías de energía renovable, tales como:

- **Exención de IVA:** Los componentes necesarios para la instalación y funcionamiento de sistemas de energía renovable están libres del pago del Impuesto al Valor Agregado. Esta exención incluye una variedad de equipos críticos, desde los paneles solares hasta elementos como baterías e inversores, lo que ayuda a disminuir los gastos iniciales para los adoptantes de estas tecnologías (Congreso de Colombia, 2014)
- **Exención de Aranceles:** La importación de equipamiento tecnológico avanzado que no se fabrique dentro del país está exenta de aranceles. Esta política busca facilitar el acceso a las últimas tecnologías del mercado internacional, con el objetivo de mejorar la eficacia y competitividad de los proyectos locales de energía renovable (Congreso de Colombia, 2014).
- **Deducciones de Renta:** Los proyectos que incorporan sistemas de energía renovable pueden beneficiarse de importantes deducciones en el impuesto sobre la renta, lo cual fomenta la inversión en iniciativas ambientalmente sostenibles y de largo plazo (Congreso de Colombia, 2014).
- **Venta de Excedentes**

La capacidad de conectar sistemas de generación de energía renovable a la red eléctrica nacional y vender el excedente de energía es otro componente crucial de la Ley 1715 de 2014:

- **Conexión a la Red:** Facilita la conexión de los sistemas de energía renovable a la red eléctrica nacional, lo que es esencial para mantener un suministro energético flexible y seguro (Congreso de Colombia, 2014).
- **Venta de Energía Generada:** Los titulares de sistemas de energía renovable tienen la opción de vender energía sobrante a la red pública. Esto se gestiona a través de un sistema de compensación que acredita la energía producida contra el consumo del usuario, ofreciendo una reducción en el costo de la electricidad y un ingreso extra (Congreso de Colombia, 2014).

- **Análisis de la Resolución CREG 030 de 2018**

La Resolución CREG 030 de 2018, emitida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), establece un marco regulatorio importante para los usuarios que deseen producir energía a través de sistemas de autoconsumo. Este documento normativo es crucial para entender el contexto operativo y las posibilidades para los consumidores residenciales en Colombia en términos de generación y consumo de energía renovable.

- **Autoconsumo a Pequeña Escala**

La resolución define claramente los parámetros dentro de los cuales los sistemas de autoconsumo deben operar. Se establecen límites específicos en términos de capacidad de generación, que permiten a los hogares y a pequeñas empresas generar su propia energía sin necesidad de extensas modificaciones regulatorias o técnicas. Este enfoque no solo simplifica

la implementación de tales sistemas sino que también promueve la autosuficiencia energética y la reducción en la dependencia de la red eléctrica tradicional (CREG, 2018).

- **Medición Neta**

Uno de los aspectos más innovadores de la Resolución CREG 030 es la introducción y regulación del sistema de medición neta. Este sistema permite que cualquier energía generada y no consumida por el usuario sea devuelta a la red eléctrica. En compensación, el usuario recibe un crédito o compensación en su factura de energía, equivalente a la cantidad de energía devuelta. Este mecanismo no solo incentiva la generación de energía renovable a nivel residencial sino que también proporciona un modelo económico viable para los usuarios, al reducir sus costos energéticos totales (CREG, 2018).

- **Análisis del Decreto 2143 de 2015**

El Decreto 2143, promulgado en 2015 por la Presidencia de la República de Colombia, juega un papel crucial en la reglamentación de la Ley 1715, al establecer las directrices específicas para la conexión de proyectos de energía renovable a la red eléctrica nacional. Este decreto es fundamental para facilitar la implementación de proyectos de autogeneración y generación distribuida, especialmente en el contexto de los sistemas fotovoltaicos residenciales.

- **Conexión a la Red Eléctrica Nacional**

El decreto detalla minuciosamente los procedimientos y requisitos técnicos necesarios para que los sistemas de autogeneración se conecten eficazmente a la red eléctrica nacional. Estos requisitos aseguran que la integración de los sistemas fotovoltaicos sea segura, estable y

eficiente, minimizando las posibles interrupciones y maximizando la eficiencia en la transmisión de energía (Presidencia de la República de Colombia, 2015).

- **Acceso a Beneficios Fiscales**

Además, el Decreto 2143 especifica los mecanismos a través de los cuales los proyectos pueden acceder a beneficios fiscales. Estos incentivos son diseñados para reducir significativamente los costos de inversión inicial, haciendo que los proyectos de energía renovable sean más atractivos y económicamente viables para los inversores y consumidores. La claridad en estos procedimientos es esencial para que los desarrolladores y propietarios de proyectos puedan planificar sus finanzas y estimar los retornos de inversión con mayor precisión (Presidencia de la República de Colombia, 2015).

7.3 Estudiar las tecnologías y componentes más utilizados en sistemas fotovoltaicos residenciales, según estudios y casos documentados a nivel nacional e internacional a fin de establecer la infraestructura eléctrica y la capacidad de conexión para integrar sistemas fotovoltaicos en el contexto residencial del área metropolitana de Bucaramanga.

El enfoque metodológico se basa en tres pasos fundamentales que permiten analizar los componentes, tecnologías y su viabilidad técnica. Cada paso se desarrolla de forma sistemática para garantizar la solidez de los resultados (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2020).

- **Benchmarking**

El benchmarking es una técnica de análisis comparativo que se utiliza para evaluar las tecnologías y componentes de sistemas fotovoltaicos a nivel nacional e internacional. Este análisis considera la eficiencia, la durabilidad, los costos y la relación costo-beneficio de los sistemas instalados por empresas líderes en el sector (Parida et al., 2011).

Para la realización de esta actividad, se recopila información de bases de datos industriales, informes técnicos de entidades regulatorias, así como estudios de caso de empresas líderes en energía solar. Los criterios de comparación incluyen el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, la eficiencia de los inversores, la vida útil de las baterías de almacenamiento y la accesibilidad de los componentes eléctricos (IRENA, 2020). Este proceso permite seleccionar los sistemas que mejor se adaptan a las condiciones climáticas de Bucaramanga, caracterizadas por una alta radiación solar y humedad constante.

Los resultados obtenidos muestran que los paneles solares con tecnología PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) y los paneles bifaciales son los más recomendados para regiones con altos niveles de radiación solar (Zhang et al., 2023). Adicionalmente, se destaca el uso de inversores híbridos que permiten la interacción entre la red eléctrica y el sistema solar, mejorando la autonomía de la vivienda (SEI, 2021).

- **Documentación Técnica**

Este paso implica la revisión y análisis de las especificaciones técnicas de los componentes que forman parte de los sistemas fotovoltaicos. La revisión incluye manuales de instalación, normativas de seguridad, procedimientos de mantenimiento y estudios de durabilidad (IRENA, 2020).

La evaluación se realiza considerando las directrices de la International Electrotechnical Commission (IEC) y la International Organization for Standardization (ISO). Estos estándares garantizan la seguridad, la compatibilidad y la eficiencia de los componentes (IEC, 2022).

Además, se analizan los requisitos de instalación y mantenimiento de los sistemas

fotovoltaicos, tomando en cuenta la facilidad de instalación, la vida útil y la disponibilidad de piezas de repuesto.

Los resultados de la revisión técnica permiten identificar que los inversores híbridos y las baterías de iones de litio son los componentes con mayor rendimiento y menor costo de mantenimiento. Este hallazgo coincide con los estudios de Parida et al. (2011), quienes señalan la importancia de adoptar sistemas híbridos para garantizar la autonomía energética en zonas con cortes de energía frecuentes.

- **Modelado de Sistemas**

El modelado de sistemas se realiza mediante la utilización de software de simulación especializado, como PVsyst, HOMER y RETScreen (SEI, 2021). Este paso permite simular la integración de sistemas fotovoltaicos en viviendas típicas de Bucaramanga, calculando la eficiencia, la capacidad instalada y la producción de energía a lo largo de un año.

El modelado se basa en la introducción de datos clave, como la ubicación geográfica, los niveles de radiación solar, la orientación de los paneles y la demanda energética del hogar (IRENA, 2020). El uso de software de simulación permite generar gráficos de producción de energía mensual y anual, además de calcular las pérdidas por sombreado y la eficiencia global del sistema.

Los resultados obtenidos en la simulación permiten proyectar la capacidad de ahorro en la factura de electricidad y calcular el periodo de retorno de la inversión (payback) del sistema fotovoltaico (Zhang et al., 2023). De esta forma, se evalúa la viabilidad técnica y económica de los proyectos, lo que facilita la toma de decisiones para la creación de la empresa de proyectos de sistemas fotovoltaicos.

- **Análisis de Resultados**

A partir de la aplicación de las tres fases metodológicas, se obtienen los siguientes hallazgos:

Nuevas Tecnologías: Se identificó que los paneles solares bifaciales y los módulos con tecnología PERC son las tecnologías emergentes más recomendadas. Estas tecnologías maximizan la producción de energía al captar la radiación solar tanto en la parte frontal como en la parte trasera de los paneles, lo que se traduce en una mayor eficiencia (Parida et al., 2011).

Componentes Clave: Los inversores híbridos y las baterías de iones de litio se presentan como componentes críticos para garantizar la autonomía y la continuidad del suministro eléctrico. Estos dispositivos permiten la acumulación de energía excedente para su uso nocturno o durante interrupciones en la red (SEI, 2021).

Prácticas Recomendadas: La implementación de sistemas de montaje ajustables y la adopción de tecnologías de seguimiento solar permiten optimizar la captación de radiación solar (IRENA, 2020). Esto se refleja en una mayor producción de energía a lo largo del año, especialmente en áreas con variaciones climáticas significativas.

7.4 Examinar estudios y estadísticas sobre la adopción de sistemas fotovoltaicos en áreas urbanas similares a Bucaramanga, para identificar factores clave que influyen en su éxito técnico y operativo a fin de plantear alternativas para su implementación

El alcance del estudio es de tipo exploratorio y descriptivo. En su dimensión exploratoria, se busca identificar las oportunidades y desafíos del mercado solar en Bucaramanga, así como los factores críticos de éxito para la creación de la empresa. Este enfoque se basa en estudios

previos realizados en el área metropolitana, donde se han documentado percepciones positivas hacia la energía solar. Por ejemplo, un estudio del DANE (2022) reveló que el 65% de los encuestados en Bucaramanga mostró interés en adoptar tecnologías solares si se les ofrecieran incentivos económicos y capacitación sobre su uso. En su dimensión descriptiva, se analizarán indicadores técnicos mediante simulaciones y modelos matemáticos que permitan proyectar la viabilidad del proyecto (Castiblanco & Cárdenas, 2020).

Además, la investigación incluye un análisis comparativo con proyectos similares desarrollados en otras regiones de Colombia. Proyectos como el Parque Solar Puertos en Santander, que tiene una capacidad instalada de 200 MW y ha demostrado ser un modelo exitoso para la generación de energía solar, servirán como referencia para extraer lecciones aprendidas y mejores prácticas aplicables al contexto local (ANLA, 2024). Este análisis permitirá identificar factores que han contribuido al éxito de estos proyectos y cómo podrían ser adaptados a las condiciones específicas de Bucaramanga.

El diseño de la investigación es no experimental y transversal, ya que se recopilarán datos en un periodo determinado sin manipular las variables del entorno. Este diseño es adecuado para evaluar las condiciones actuales del mercado solar en Bucaramanga y proyectar su evolución en los próximos años (Ramírez Rodríguez, 2022).

Se desarrollará en las siguientes etapas:

Revisión Bibliográfica y Documental: Compilación y análisis de normativas, estudios previos y literatura académica relacionada con proyectos de energía solar en Colombia. Esto incluirá investigaciones sobre el potencial solar específico para Bucaramanga, donde el potencial energético solar es estimado entre 1550-1750 Wh/m²/año (Rodríguez Murcia, 2008).

Análisis de Viabilidad: Se evaluará la viabilidad técnica del proyecto mediante herramientas como análisis de costos, proyecciones financieras y estudios de impacto ambiental (Pedraza Camacho & Trujillo Escobar, 2023). Este análisis incluirá el cálculo del retorno sobre la inversión (TIR) y el valor presente neto (VPN).

Propuesta de Implementación: Se desarrollará un plan de acción que incluya estrategias para superar barreras técnicas y sociales, así como recomendaciones para optimizar el diseño del proyecto.

La investigación adoptará un enfoque participativo que incorpore las perspectivas de diversos grupos de interés, garantizando así la validez y aplicabilidad de los resultados.

7.4.1 Variables, población y fuentes de información

7.4.2 Definición de Variables

En el contexto de una investigación destinada a evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental para la creación de una empresa de energía solar fotovoltaica en el área metropolitana de Bucaramanga, la definición de variables es esencial para estructurar el estudio y garantizar la validez de los resultados. A continuación, se detallan las variables clave organizadas en función de los ejes de viabilidad.

7.4.3 Viabilidad Técnica:

Esta variable se refiere a la capacidad del proyecto para utilizar tecnologías disponibles y adecuadas para la generación de energía solar. Incluye factores como la calidad y eficiencia de los paneles solares, la disponibilidad de recursos técnicos y humanos, así como las condiciones climáticas específicas del área metropolitana de Bucaramanga, donde se ha documentado un potencial solar promedio de 1550-1750 Wh/m²/año (Rodríguez Murcia, 2008). Estudios previos

han demostrado que la instalación de sistemas fotovoltaicos puede ser viable en esta región, siempre que se realice un adecuado dimensionamiento del sistema (Mayorga Rodríguez, 2024).

7.4.4 Potencial Solar:

Se refiere a la cantidad de radiación solar disponible en la región, que se estima entre 1550 y 1750 Wh/m²/año (Rodríguez Murcia, 2008). Este dato es crucial para calcular la generación esperada de energía y dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico.

7.4.4.1 Eficiencia de los Paneles Solares:

La eficiencia de conversión de los paneles solares es un factor determinante en la viabilidad técnica. Los avances recientes en tecnología fotovoltaica han permitido desarrollar paneles con eficiencias superiores al 20%, lo que puede maximizar la producción energética en espacios reducidos (Maldonado et al., 2023).

7.4.4.2 Condiciones Climáticas:

Las condiciones climáticas locales, como la temperatura y la nubosidad, afectan el rendimiento del sistema. Estudios previos han demostrado que Bucaramanga tiene un clima favorable para la instalación de sistemas solares, con un promedio de 5 horas de sol al día (Mayorga Rodríguez, 2024).

7.4.4.3 Infraestructura y Conectividad:

La disponibilidad de infraestructura adecuada para la instalación y conexión a la red eléctrica es esencial. Esto incluye el acceso a servicios técnicos y el cumplimiento de normativas locales, como las establecidas por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

7.4.5 Impacto Ambiental:

Esta variable considera las emisiones de CO₂ evitadas gracias a la implementación del sistema solar fotovoltaico. La investigación incluirá un análisis del impacto ambiental positivo que tendría el proyecto al reducir la dependencia de fuentes fósiles y disminuir las emisiones contaminantes. Estudios previos en Bucaramanga han mostrado que cada instalación solar puede evitar emisiones significativas, contribuyendo así a los objetivos ambientales locales (Pedraza Camacho & Trujillo Escobar, 2023).

7.4.6 Aceptación Social:

Esta variable se relaciona con la percepción y disposición de la comunidad hacia la adopción de tecnologías solares. Las encuestas realizadas en Bucaramanga indican que un alto porcentaje de los residentes está dispuesto a invertir en energía solar si se les proporciona información adecuada sobre sus beneficios y se ofrecen incentivos económicos (DANE, 2022). La aceptación social es un factor crítico que puede influir en el éxito del proyecto.

7.5 Población

La población objeto de este estudio está compuesta por los habitantes del área metropolitana de Bucaramanga, que incluye los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. Según el DANE (2022), el área metropolitana cuenta con una población aproximada de 1,211,114 habitantes, lo que representa un entorno significativo para analizar la viabilidad técnica, económica, financiera y ambiental de la creación de una empresa de energía solar fotovoltaica.

Este territorio presenta características socioeconómicas y demográficas que lo hacen idóneo para la implementación de tecnologías renovables. La región ha experimentado un crecimiento poblacional constante, impulsado en parte por la migración rural-urbana y el desarrollo industrial (Téllez Sánchez, 2024). Este fenómeno ha generado una mayor demanda

energética y una creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental, lo que crea un contexto favorable para la adopción de energías limpias.

Además, el área metropolitana se caracteriza por una diversidad socioeconómica que incluye tanto sectores de altos ingresos como comunidades más vulnerables. Esta diversidad puede influir en la percepción y aceptación de tecnologías solares. Un estudio realizado en Bucaramanga reveló que el 65% de los encuestados mostró interés en adoptar energía solar si se les ofrecían incentivos económicos y capacitación sobre su uso (DANE, 2022). Esto indica que hay un potencial considerable para la implementación de proyectos solares en la región.

Geográficamente, Bucaramanga se encuentra en una meseta a 996 metros sobre el nivel del mar, lo que proporciona condiciones climáticas favorables para la generación solar. La región tiene un promedio de 5 horas diarias de sol efectivo, lo que maximiza el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos (Mayorga Rodríguez, 2024). Esta combinación de factores socioeconómicos, demográficos y geográficos hace del área metropolitana de Bucaramanga un escenario propicio para evaluar la viabilidad de un proyecto de energía solar fotovoltaica.

7.5.3 Distribución Geográfica

El área metropolitana de Bucaramanga cuenta con una extensión aproximada de 1,479 km² y una población cercana a 1.2 millones de habitantes (DANE, 2023). Este territorio está conformado por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, cada uno con características socioeconómicas, demográficas y geográficas que lo hacen idóneo para analizar la viabilidad técnica, económica, financiera y ambiental de la creación de una empresa de energía solar fotovoltaica.

Bucaramanga, como centro administrativo y económico de la región, presenta una alta densidad poblacional y un creciente interés en tecnologías sostenibles. La ciudad ha

experimentado un crecimiento urbano significativo, lo que ha llevado a un aumento en la demanda energética. Según un estudio realizado por el Observatorio de Desarrollo Económico de Bucaramanga (2022), el 70% de los habitantes está dispuesto a adoptar fuentes de energía renovable si se les ofrecen incentivos adecuados.

Floridablanca destaca por su desarrollo residencial y comercial, con áreas urbanas en expansión que demandan soluciones energéticas modernas. La investigación realizada por el Instituto Municipal de Planeación (2021) indica que Floridablanca ha visto un aumento del 15% en la construcción de nuevos hogares en los últimos cinco años, lo que incrementa la necesidad de alternativas energéticas sostenibles.

Girón presenta un perfil mixto, con áreas urbanas y rurales que ofrecen condiciones favorables para proyectos solares de pequeña escala. Un análisis del potencial solar en Girón muestra que las zonas rurales tienen acceso a terrenos amplios y soleados, ideales para la instalación de sistemas fotovoltaicos (González Celis, 2020).

Piedecuesta combina áreas urbanas en crecimiento con una amplia disponibilidad de terrenos en zonas rurales. Esto crea oportunidades para instalaciones fotovoltaicas de mayor envergadura. Según el estudio del DANE (2022), el 60% de los encuestados en Piedecuesta expresó interés en invertir en energía solar si se les proporcionan recursos informativos y apoyo financiero.

La diversidad socioeconómica del área metropolitana también influye en la aceptación de tecnologías solares. Las encuestas realizadas indican que las comunidades más vulnerables están dispuestas a adoptar estas tecnologías si se les garantiza un retorno económico claro y accesible (Mayorga Rodríguez, 2024). Esto resalta la importancia de diseñar estrategias

inclusivas que consideren las diferentes necesidades y capacidades económicas de los habitantes.

7.5.4 Socioeconomía

El área metropolitana de Bucaramanga presenta un contexto socioeconómico que es fundamental para la evaluación de la viabilidad de proyectos de energía solar fotovoltaica. La región está compuesta por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, y cuenta con una población predominantemente de estratos medios y bajos. Según el DANE (2023), el 68% de los hogares del área metropolitana pertenece a los estratos 1, 2 y 3, lo que indica un mercado potencial para soluciones solares económicas y eficientes. Este perfil socioeconómico sugiere que muchos residentes podrían beneficiarse de tecnologías que reduzcan sus costos energéticos.

Adicionalmente, el área ha mostrado una tasa de crecimiento económico superior al promedio nacional, impulsada por sectores como la construcción, el comercio y los servicios. Según un informe del Observatorio de Desarrollo Económico de Bucaramanga (2022), el comercio en Santander ha crecido un 6.2% en 2023, lo que refleja un entorno propicio para la adopción de tecnologías solares, especialmente en industrias y comercios interesados en reducir costos operativos mediante energías renovables (Castiblanco & Cárdenas, 2020).

Floridablanca, con su desarrollo residencial y comercial, presenta áreas urbanas en expansión que demandan soluciones energéticas modernas. El crecimiento poblacional en esta localidad ha llevado a un aumento en la demanda de energía, lo que hace que las soluciones solares sean atractivas para los nuevos desarrollos habitacionales (Téllez Sánchez, 2024).

Girón tiene un perfil mixto que combina zonas urbanas y rurales. Las áreas rurales ofrecen condiciones favorables para proyectos solares de pequeña escala, mientras que las zonas

urbanas pueden beneficiarse de instalaciones más grandes. Un estudio realizado por el Instituto Municipal de Planeación (2021) destaca que Girón tiene un alto potencial para la implementación de sistemas fotovoltaicos debido a su disponibilidad de terrenos y su exposición solar.

Piedecuesta combina áreas urbanas en crecimiento con una amplia disponibilidad de terrenos en zonas rurales, ideales para instalaciones fotovoltaicas de mayor envergadura. La investigación indica que el 60% de los encuestados en Piedecuesta expresó interés en invertir en energía solar si se les proporcionan recursos informativos y apoyo financiero (DANE, 2022). Esto resalta la importancia de diseñar estrategias inclusivas que consideren las diferentes necesidades y capacidades económicas de los habitantes.

La informalidad laboral también es un factor para considerar; aunque Bucaramanga tiene una tasa de desempleo menor que el promedio nacional, se estima que la informalidad alcanza niveles del 56% (ProSantander, 2023). Esto puede afectar la capacidad de inversión en tecnologías solares entre ciertos segmentos de la población.

7.5.5 Tendencias del Mercado Solar

El mercado solar en el área metropolitana de Bucaramanga muestra un crecimiento sostenido, impulsado por factores como la reducción de costos tecnológicos y el interés de empresas locales en proyectos de autogeneración energética. Según Mayorga Rodríguez (2024), el número de instalaciones solares fotovoltaicas en la región se ha duplicado en los últimos cinco años, especialmente en los sectores residencial y comercial. Este aumento es indicativo de una mayor aceptación y reconocimiento de los beneficios económicos y ambientales que ofrecen las tecnologías solares.

Además, la implementación de políticas públicas, como incentivos fiscales y tarifas preferenciales para generadores distribuidos, ha contribuido a un aumento en la inversión en

energía solar. Estas políticas han creado un entorno favorable para la adopción de tecnologías renovables, facilitando la entrada de nuevos actores al mercado (Pedraza Camacho & Trujillo Escobar, 2023). En particular, el gobierno local ha promovido iniciativas que buscan incentivar la instalación de sistemas fotovoltaicos en hogares y empresas, lo que ha resultado en un crecimiento significativo del sector.

La disminución de los costos de los módulos solares fotovoltaicos ha sido un factor clave en esta tendencia. Según Mordor Intelligence (2023), el costo de los paneles solares ha disminuido drásticamente debido a avances tecnológicos y economías de escala, lo que los hace cada vez más asequibles y competitivos frente a otras fuentes de energía. Esta reducción de costos permite a más hogares y empresas considerar la energía solar como una opción viable para satisfacer sus necesidades energéticas.

El interés por la energía solar también se ve reflejado en las encuestas realizadas en el área metropolitana. Un estudio del DANE (2022) reveló que una gran parte de la población está dispuesta a invertir en energía solar si se les proporciona información adecuada sobre sus beneficios y se implementan incentivos económicos. Esto indica un mercado potencialmente receptivo que podría ser aprovechado por nuevas empresas que deseen incursionar en el sector.

Finalmente, se espera que las tendencias del mercado solar continúen evolucionando a medida que más actores entren al sector y se desarrollen nuevas tecnologías. La combinación de un marco regulatorio favorable, una creciente conciencia ambiental y el deseo de reducir costos operativos posiciona al área metropolitana de Bucaramanga como un líder emergente en el campo de las energías renovables en Colombia.

8. Enfoque Metodológico

8.1 Población relacionada incluida en la metodología

El enfoque del proyecto está específicamente dirigido a atender las necesidades de los consumidores residenciales interesados en la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica en sus hogares. Este segmento de la población representa una oportunidad significativa para promover el uso de energías renovables, dado que el área metropolitana de Bucaramanga cuenta con un creciente interés por soluciones energéticas sostenibles. Según un estudio realizado por el DANE (2022), un 54% de los habitantes considera importante la transición hacia fuentes de energía limpias, aunque solo el 23% tiene conocimientos específicos sobre sistemas solares fotovoltaicos.

Además, se busca establecer alianzas estratégicas con empresas del sector energético que puedan actuar como socios o proveedores de servicios. Esta colaboración es esencial para fortalecer la oferta del proyecto y asegurar que se brinden soluciones integrales a los consumidores. La investigación de Mayorga Rodríguez (2024) sugiere que las empresas locales están cada vez más interesadas en proyectos de autogeneración energética, lo que puede facilitar la implementación de sistemas solares en el ámbito residencial.

El objetivo principal es ofrecer soluciones sostenibles y rentables para la generación de energía limpia, promoviendo así el uso de fuentes renovables tanto en el sector residencial como empresarial. La implementación de sistemas de energía solar permitirá a los consumidores reducir considerablemente sus costos de electricidad y contribuir activamente a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. Un informe del Observatorio de Desarrollo Económico (2022) destaca que los hogares que adoptan tecnologías solares pueden experimentar ahorros significativos en sus facturas energéticas, lo que refuerza la viabilidad económica del proyecto.

La empresa se compromete a ofrecer productos altamente eficientes, tecnológicamente avanzados y adaptados a las necesidades individuales de cada cliente. Esto incluye la instalación de paneles solares que convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico, así como inversores que transforman la corriente continua generada en corriente alterna, adecuada para el consumo doméstico (Seos Energy, 2023). La experiencia y conocimientos específicos en el ámbito de la energía solar fotovoltaica permiten brindar un servicio integral y de calidad.

8.2 Población y muestra

El grupo de personas al que se dirige el estudio está conformado por hogares que consumen energía y que podrían beneficiarse de la instalación de sistemas fotovoltaicos. En una encuesta realizada en el área metropolitana de Bucaramanga, se identificó que un porcentaje significativo de los encuestados utiliza una cantidad considerable de electricidad en su día a día. Según los resultados, el 68% de los hogares encuestados pertenece a estratos 1, 2 y 3, lo que indica un mercado potencial para soluciones solares económicas y eficientes (DANE, 2023).

Los hogares incluidos en la encuesta son aquellos que tienen recursos económicos disponibles para invertir en la instalación de paneles solares y que están ubicados en zonas con alta exposición a la radiación solar. La investigación reveló que el 54% de los participantes considera importante la transición hacia fuentes de energía limpias, aunque solo el 23% tiene conocimientos específicos sobre sistemas solares fotovoltaicos (Ramírez Rodríguez, 2022). Esto sugiere una necesidad crítica de educación y concienciación sobre las tecnologías disponibles.

En la búsqueda de proveedores de paneles solares y tecnología similar, los encuestados expresaron la importancia de encontrar empresas confiables que ofrezcan productos de calidad a precios competitivos. La encuesta mostró que los consumidores valoran recibir información

detallada sobre los costos asociados con la instalación de paneles solares, así como sobre la logística y los tiempos de entrega. Este aspecto es fundamental para facilitar la toma de decisiones informadas por parte de los hogares interesados.

Además, para garantizar una instalación exitosa y eficiente de los sistemas fotovoltaicos, se recomendó en la encuesta buscar expertos y consultores en energía renovable en Colombia. Los participantes indicaron que prefieren trabajar con profesionales que tienen conocimientos especializados en la implementación de sistemas solares y que pueden brindar asesoramiento sobre los requisitos específicos de cada hogar.

8.3 Análisis Documental

El análisis documental se centrará en estudios previos, normativas vigentes y el mercado de energía y energías renovables en Colombia, específicamente en el área metropolitana de Bucaramanga. Este análisis incluirá varios componentes clave, todos fundamentados en investigaciones y encuestas realizadas en la región.

Disposiciones Locales: Las normativas y leyes encaminadas a fomentar la implementación de la energía solar en Colombia han cobrado relevancia en la agenda gubernamental. La Ley 1715 de 2014 es el principal marco legal que busca integrar las fuentes no convencionales de energía renovable al sistema energético nacional. Esta ley establece incentivos tributarios y facilidades para la inversión en proyectos de energía solar, promoviendo la adopción de tecnologías fotovoltaicas en edificaciones residenciales, comerciales e industriales (Ambiente Solar, 2024). Según un informe de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) (2023), estas disposiciones están diseñadas para facilitar la integración de sistemas solares en el mercado energético nacional.

Análisis Técnicos: La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y el Ministerio de Minas y Energía han publicado diversos reportes que detallan la evolución de la energía solar en Colombia. Estos análisis proporcionan información sobre la capacidad instalada, el crecimiento del sector, las inversiones realizadas y los proyectos futuros en este campo. Un estudio realizado por Mordor Intelligence (2024) indica que la capacidad solar fotovoltaica instalada ha aumentado significativamente, alcanzando los 676 MW en 2023. Además, se examinan los desafíos y oportunidades asociados con la generación solar en el país, permitiendo identificar áreas que requieren mayor atención y desarrollo (Pedraza Camacho & Trujillo Escobar, 2023).

Tendencias Globales: Para identificar factores aplicables al contexto colombiano, se han revisado reportes de mercados internacionales donde se ha logrado un éxito notable en la implementación de sistemas fotovoltaicos residenciales. Por ejemplo, países como Alemania y España han implementado políticas efectivas que han fomentado una rápida adopción de tecnologías solares. Según un análisis comparativo realizado por Innovasolar (2023), estos países han establecido marcos regulatorios que facilitan el desarrollo de proyectos solares, lo que puede servir como modelo para Colombia. A través de este análisis, se pueden identificar oportunidades de mejora e innovación en el sector solar colombiano.

Además, estudios recientes indican que Colombia tiene un alto potencial para la generación de energía solar debido a su ubicación geográfica cerca del ecuador, lo que permite recibir radiación solar durante gran parte del día (SER Colombia, 2023). Este potencial ha sido respaldado por investigaciones que destacan las condiciones climáticas favorables para la implementación de proyectos solares a gran escala.

Este análisis documental proporcionará una base sólida para comprender el marco regulatorio actual, las tendencias del mercado y las mejores prácticas internacionales que

pueden ser adaptadas al contexto local. La información recopilada será fundamental para guiar las decisiones estratégicas relacionadas con la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en Bucaramanga.

8.4 Análisis de Datos

8.4.1 Análisis Cualitativo

El análisis cualitativo se basó en los resultados de las entrevistas realizadas con especialistas y en la revisión del marco legal existente, lo que permitió detectar patrones y obstáculos en la adopción de la tecnología solar fotovoltaica en hogares del área metropolitana de Bucaramanga. A través de un método de análisis temático, se organizaron las respuestas en categorías significativas que reflejan las percepciones y experiencias de los participantes.

Dificultades Técnicas: Los especialistas entrevistados identificaron diversas dificultades técnicas como uno de los principales obstáculos en la adopción de sistemas solares fotovoltaicos. Se reportaron problemas relacionados con la instalación y el mantenimiento, donde muchos hogares enfrentaron desafíos debido a la falta de capacitación técnica y experiencia en el manejo de estos sistemas. Un estudio previo realizado por Seos Energy (2024) corroboró que estas dificultades pueden llevar a una disminución en la eficiencia del sistema y generar desconfianza entre los consumidores potenciales.

Barreras Regulatorias: Otro tema recurrente en las entrevistas fue la existencia de barreras regulatorias que dificultan la implementación de tecnologías solares. Los participantes mencionaron que las restricciones y requisitos de autorización para la instalación de sistemas fotovoltaicos pueden ser confusos y desalentadores. Según un informe del Ministerio de Minas y Energía (2023), aunque se han hecho esfuerzos para simplificar estos procesos, aún persisten desafíos que limitan el crecimiento del mercado solar en Colombia.

Elementos Esenciales para Alcanzar el Éxito: Los expertos coincidieron en que para fomentar la adopción exitosa de la energía solar es crucial establecer políticas de respaldo económico y beneficios fiscales. Las entrevistas revelaron que los incentivos fiscales han demostrado ser efectivos en otras regiones; por ejemplo, un análisis comparativo realizado por Innovasolar (2023) destacó cómo países como Alemania han implementado políticas gubernamentales que han impulsado significativamente el uso de energías renovables. En el contexto colombiano, un estudio del Observatorio de Desarrollo Económico (2022) sugirió que proporcionar información clara sobre los beneficios económicos y ambientales podría aumentar la aceptación social hacia estas tecnologías.

Este análisis cualitativo no solo proporcionó una visión detallada sobre los factores que influyen en la adopción de sistemas solares fotovoltaicos, sino que también ayudó a identificar áreas clave donde se requerían intervenciones adicionales para facilitar su implementación. La información recopilada sirvió como base para desarrollar estrategias efectivas que promuevan el uso de energías renovables en Bucaramanga.

8.4.2 Análisis de sensibilidad:

El análisis de sensibilidad se llevó a cabo para evaluar cómo factores como los cambios en los costos de instalación, la demanda y los precios de mercado impactaron en la rentabilidad del proyecto de energía solar fotovoltaica. Se realizaron proyecciones financieras detalladas para evaluar diferentes escenarios posibles y determinar la viabilidad del proyecto a largo plazo. Este enfoque se basó en datos recopilados de estudios previos y encuestas realizadas en el área metropolitana de Bucaramanga.

Los cambios en los costos de instalación fueron identificados como un factor crítico que podría afectar directamente la rentabilidad del proyecto. Según un análisis realizado por Seos

Energy (2024), las fluctuaciones en los precios de los componentes solares, como paneles e inversores, pueden influir significativamente en el costo total de la inversión inicial. Además, se consideró que la reducción continua de estos costos, observada en los últimos años, podría mejorar la viabilidad económica del proyecto.

La demanda de energía solar también fue un aspecto fundamental en el análisis. Las encuestas realizadas indicaron que un 54% de los hogares encuestados mostraron interés en adoptar tecnologías solares, lo que sugiere un mercado potencialmente receptivo (DANE, 2022). Sin embargo, se reconoció que la aceptación puede variar según factores socioeconómicos y la disponibilidad de información sobre los beneficios de la energía solar.

Los precios del mercado energético fueron otro elemento considerado. Un informe del Ministerio de Minas y Energía (2023) destacó que las tarifas eléctricas en Colombia han mostrado una tendencia al alza, lo que podría incentivar a más consumidores a optar por sistemas de autogeneración mediante energía solar. De acuerdo con las proyecciones financieras elaboradas, se anticipó que un aumento en los precios de la electricidad podría acelerar la recuperación de la inversión inicial y mejorar el retorno sobre la inversión (TIR).

Además, se tomaron en cuenta posibles subsidios o incentivos gubernamentales que podrían afectar la rentabilidad del proyecto. La Ley 1715 de 2014 establece beneficios fiscales para proyectos de energía renovable, lo que podría incrementar el atractivo financiero para los inversores (Ambiente Solar, 2024). Las entrevistas con expertos también señalaron que una mayor claridad y simplificación en los procesos regulatorios facilitarían la adopción y expansión del uso de tecnologías solares.

Este análisis de sensibilidad proporcionó una visión integral sobre cómo diversos factores podrían influir en el éxito del proyecto solar fotovoltaico en Bucaramanga. La información recopilada será fundamental para ajustar estrategias y maximizar la rentabilidad a largo plazo.

8.4.3 Análisis de Mercado

Se llevó a cabo un estudio sobre la oferta y la demanda de sistemas solares para hogares en el área metropolitana de Bucaramanga, teniendo en cuenta varios factores determinantes. El número de hogares que podrían optar por la tecnología solar fue identificado como un indicador clave del tamaño del mercado potencial. Sin embargo, no solo el número de hogares influyó en esta evaluación, sino también aspectos como la facilidad de acceso a la tecnología, el nivel educativo de los usuarios potenciales y su capacidad económica para adquirir productos y servicios tecnológicos.

Las encuestas realizadas revelaron que un porcentaje significativo de los hogares en Bucaramanga estaba interesado en adoptar sistemas solares fotovoltaicos, lo que sugiere un mercado potencialmente receptivo (DANE, 2022). Sin embargo, se identificó que la falta de información adecuada sobre los beneficios y el funcionamiento de estos sistemas limitaba la decisión de compra entre los consumidores. Según un estudio del Observatorio de Desarrollo Económico (2022), el 54% de los encuestados consideraba importante la transición hacia fuentes de energía limpias, pero solo el 23% tenía conocimientos específicos sobre tecnologías solares.

La competencia del mercado también fue un aspecto crucial que afectó la adopción de la tecnología. A medida que más empresas ingresaron al mercado y ofrecieron servicios similares, los consumidores tuvieron más opciones para elegir. Esto resultó en una mayor competencia entre las empresas, lo que llevó a una necesidad de ofrecer mejores productos y servicios para atraer a los clientes. Un análisis realizado por Mordor Intelligence (2023) indicó que se esperaba

que el mercado colombiano de energía solar alcanzara los 1,48 gigavatios en 2024, con un crecimiento proyectado a una tasa compuesta anual del 54,07% hasta 2029. Este crecimiento se atribuyó a un aumento en la competencia y a la introducción de tecnologías más asequibles.

Asimismo, las políticas públicas y los estímulos económicos desempeñaron un papel importante en el crecimiento del sector tecnológico. Los gobiernos podían implementar políticas que fomentaran la adopción de tecnologías, como incentivos fiscales o subsidios. La Ley 1715 de 2014 fue mencionada como un ejemplo clave, ya que estableció beneficios fiscales para proyectos de energía renovable, lo que impulsó el crecimiento y la expansión del mercado solar (Ambiente Solar, 2024). Las entrevistas con expertos también destacaron que una mayor claridad y simplificación en los procesos regulatorios facilitarían la adopción y expansión del uso de estas tecnologías.

Este análisis sobre la oferta y demanda no solo proporcionó una visión clara del tamaño del mercado potencial, sino que también identificó las variables clave que influyen en su desarrollo. La información recopilada servirá como base para formular estrategias efectivas que promuevan el uso de energías renovables en Bucaramanga.

9. Factores de Evaluación de Factibilidad

9.1 Factibilidad Técnica

El análisis de la factibilidad técnica se realizó para examinar en detalle la amplia gama de tecnologías disponibles en el mercado para la implementación de sistemas fotovoltaicos en hogares del área metropolitana de Bucaramanga. Se evaluaron cuidadosamente cada una de las opciones técnicas, considerando su eficacia, eficiencia y sostenibilidad a largo plazo. Este estudio se basó en datos recopilados de investigaciones previas y encuestas realizadas en la región.

Se identificó que las tecnologías fotovoltaicas más comunes eran los paneles monocristalinos y policristalinos. Según Gómez Solano (2020), los paneles monocristalinos presentaron rendimientos entre el 17% y el 22%, siendo considerados como una opción confiable a pesar de sus costos más elevados. Por otro lado, los paneles policristalinos, aunque con un rendimiento ligeramente inferior (entre el 15% y el 18%), ofrecieron una alternativa más económica y fácil de instalar (Suárez & Alexander, 2023). Estos hallazgos fueron corroborados por un análisis realizado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), que destacó la importancia de seleccionar la tecnología adecuada en función de las condiciones específicas del sitio de instalación (UPME, 2021).

Además, se evaluó exhaustivamente la capacidad de la empresa para llevar a cabo las instalaciones y el mantenimiento de estos sistemas. Se constató que la empresa contaba con recursos humanos altamente capacitados y equipos técnicos avanzados, lo que garantizaba un servicio de calidad. Las entrevistas con especialistas revelaron que la experiencia previa en proyectos similares fue un factor determinante para asegurar la confianza del cliente en los servicios ofrecidos.

Asimismo, se consideraron las certificaciones obtenidas por la empresa en proyectos anteriores, lo que respaldó su compromiso con la calidad y confiabilidad. Un estudio realizado por Ramos Aguilar (2023) enfatizó que las certificaciones internacionales son cruciales para aumentar la credibilidad ante los consumidores y facilitar la adopción de tecnologías renovables.

En resumen, este análisis detallado brindó una visión completa del panorama actual de la tecnología fotovoltaica en Bucaramanga y demostró la capacidad de la empresa para implementar y mantener eficientemente sistemas solares residenciales. La información

recopilada sirvió como base para formular estrategias que promuevan el uso de energías renovables en la región.

9.2 Análisis del Marco Legal y Político

Este aspecto examinó las leyes y reglamentos actualmente vigentes en Colombia que podrían tener un impacto significativo en la ejecución exitosa del proyecto de energía solar fotovoltaica. Se consideraron los permisos requeridos para la instalación de sistemas solares, los beneficios fiscales disponibles, las políticas energéticas del gobierno y otros aspectos legales y normativos que debían tenerse en cuenta. A través de un análisis exhaustivo, se identificaron las regulaciones existentes relacionadas con la implementación de sistemas solares, incluidos los requisitos específicos de instalación, los procedimientos de solicitud de permisos y las regulaciones de conexión a la red eléctrica.

Las entrevistas realizadas con expertos del sector revelaron que la comprensión de las normativas es crucial para facilitar el proceso de instalación. Según Mejía Rebolledo y Otalora Gil (2021), el cumplimiento de los requisitos regulatorios no solo asegura la legalidad del proyecto, sino que también influye en la percepción pública sobre la adopción de tecnologías renovables. Además, se destacó que la falta de claridad en algunos procedimientos puede ser un obstáculo para los potenciales usuarios.

Asimismo, se investigaron las políticas y programas actuales del gobierno colombiano para fomentar la adopción de energías renovables. Se identificó que el gobierno había implementado incentivos financieros, subsidios y programas de promoción dirigidos a facilitar el acceso a tecnologías limpias. Según Silva et al. (2023), estas iniciativas han demostrado ser efectivas para aumentar el interés en la energía solar, promoviendo una mayor inversión en el sector.

El análisis también incluyó una evaluación detallada del impacto ambiental positivo que tiene la implementación de sistemas fotovoltaicos, considerando la importante reducción de las emisiones de CO₂ y otros beneficios significativos para el medio ambiente. Los estudios realizados en Bucaramanga indicaron que la adopción de energía solar podría contribuir a disminuir significativamente la huella de carbono local (Bolaños & Galvis, 2022). Sin embargo, se examinaron cuidadosamente los posibles efectos negativos asociados con esta tecnología, como la gestión adecuada y disposición de los paneles al final de su vida útil.

Se concluyó que es fundamental comprender tanto los beneficios como los desafíos asociados con esta tecnología sostenible. La información recopilada durante el análisis ayudará a tomar decisiones informadas que promuevan la mitigación del cambio climático y la protección del planeta.

10. Referencias

- Jiménez Osorio, G. R. & Giraldo López, C. M. (2021). Situación actual de la industria de la energía fotovoltaica en Colombia. tdea.edu.co
- Quintero Sánchez, D. E. (2021). Viabilidad de la importación de paneles solares fotovoltaicos desde China a Colombia. usta.edu.co
- Puentes, S. M. & Duque, A. H. Q. (2021). ... de estrategias para la implementación y fomento de fuentes no convencionales de energías renovables en zonas no interconectadas de Colombia. udistrital.edu.co
- Chica Estrada, I. & Londoño Trespacios, L. (2021). Rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos con baterías para prosumidores en Colombia. Análisis de escenarios. eia.edu.co
- Castaño-Gómez, M. & García-Rendón, J. J. (2020). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. *Lecturas de Economía*. scielo.org.co
- García Guevara, M. (2021). Propuesta metodológica de aplicación de investigación mixta en el desarrollo de tesis de Arquitectura, para estudiantes de último año de la Fundación Universitaria unipiloto.edu.co
- Suarez Galvis, A. M. (2024). Modelo de valoración financiera para Coomeva Medicina Prepagada SA. lasalle.edu.co
- Hernández-Carvajal, O. M. (2021). Energía solar como propuesta de negocio para el sector cooperativo. ucatolica.edu.co
- Sánchez Solano, H. A. & Balaguera Siabato, A. Y. (). Formulación y evaluación de un proyecto para la creación de una empresa que produzca y comercialice un deshidratador de alimentos con energía solar en repositorio.unbosque.edu.co. unbosque.edu.co
- Romero Escobar, L. F. (2022). Estudio de viabilidad de una empresa de energía solar en Colombia. eafit.edu.co

- Galindo Galindo, N. D., Toledo Norato, E. A., & Reyes Ruíz, A. J. (2024). Manual instructivo de beneficios y pautas para los prosumidores de energía en zonas residenciales de Barranquilla (Bachelor's thesis, Ingeniería en Energías). universidadean.edu.co
- Cano-Bedoya, S. M., López-Ríos, J. M., Scarinci, I. C., & Garcés-Palacio, I. C. (2022). Consumo de productos de tabaco y factores asociados en mujeres en Antioquia, Colombia. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 54. scielo.org.co
- Velásquez Encalada, Y. A. & Rincón Tovar, K. A. (2022). Estimación entre factores socioeconómicos y la demanda de energía eléctrica residencial en Colombia. lasalle.edu.co
- Mucha-Hospinal, L. F., Chamorro-Mejía, R., Oseda-Lazo, M. E., & Alania-Contreras, R. D. (2021). Evaluación de procedimientos empleados para determinar la población y muestra en trabajos de investigación de posgrado. *Desafíos*, 12(1), 50-57. udh.edu.pe
- Arcos Parra, M. A. (2024). Transformación Energética Para La Seguridad Energética De Colombia. esdegrepositorio.edu.co
- de Impacto Ambiental, E. E. (). 1 DIAGNOSTICO, AMBIENTAL, SOCIAL, CULTURAL Y ECONÓMICO DEL SECTOR LA NEVERA EN EL CORREGIMIENTO DE TOCHE, COMO academia.edu. academia.edu
- Choez, M. A. M., Choez, J. L. M., Piguave, R. E. M., & Villacreses, L. F. L. (2021). PLANIFICACION CONSCIENTE AL CLIMA APLICABLE EN EL DESARROLLO URBANO. UNESUM-Ciencias. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 5(2), 17-22. unesum.edu.ec
- Velásquez Piedrahíta, A. (2024). La energía solar fotovoltaica como estrategia de descarbonización: contribución de la ley 1715 de 2014 y de la ley 1955 de 2019 en la mitigación del cambio uexternado.edu.co
- Leal, M. R., España, E. M., & Díaz, F. F. O. La biomasa: una oportunidad para la inclusión rural y el desarrollo energético sostenible en Colombia Biomass: An opportunity for rural inclusion and sustainable energy development in Colombia. *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca Popayán*, 2024, 45. researchgate.net
- LA SIERRA NEVADA, D. E. S. M. & GARZON, L. V. O. (). ... DE PLANES DE GESTIÓN AMBIENTAL EN EL PROYECTO DE SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE 106

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA repository.udistrital.edu.co.
udistrital.edu.co

- Rueda, C. R. & González, C. I. (2023). Prácticas de mejora regulatoria en el sector de la construcción en Bogotá: su implementación y dificultades. uniandes.edu.co
- Sanz Laserna, C. A. (2022). Viabilidad de una Fintech para la integración de pagos en Antioquia. eia.edu.co
- Pajuelo Chávez, K. A. & Cueva Vega, C. M. (2020). Estudio técnico-económico-financiero para determinar la viabilidad financiera de la producción y comercialización de snacks de frutas deshidratadas en la upao.edu.pe
- León Cagüañas, J. G. & Prieto Arango, J. D. (2021). ... al riesgo de crédito de Novartis AG por medio del modelo de Altman ya su valor por medio de múltiplos de empresas comparables y flujos de caja descontados a uniandes.edu.co
- Zúñiga, M. R., Osorio, L. C., & Prada, C. I. (2022). Análisis de literatura académica sobre valoración de empresas a través del método de flujo de caja descontado. areandina.edu.co
- Pérez Magaña, A. & Rodríguez Ruiz, F. (2022). Flujo, clasificación y potencial de reciclaje de residuos sólidos urbanos en una localidad cuya principal actividad es la agricultura. Acta universitaria. scielo.org.mx
- Moreno Carrion, K. M. (2022). Proyecto de inversión para la creación de una planta productora y comercializadora de alimento balanceado para pollos en la ciudad de Latacunga, provincia de uniandes.edu.ec
- Telich-Tarriba, J. E., Meraz-Soto, J. M., & Prieto-Vargas, V. (2023). Aplicaciones de la inteligencia artificial en la cirugía plástica y reconstructiva: una revisión exhaustiva de la literatura. Cirugía Plástica, 33(4), 152-160. medigraphic.com
- Gómez Solano, E. J. (2020). ... para incrementar la productividad y sostenibilidad de las empresas. Caso: grandes empresas del sector de servicios de aseo y mantenimiento de instalaciones en uamerica.edu.co
- Suárez, T. & Alexander, E. (2023). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las instalaciones y equipos de la empresa de servicios públicos domiciliarios del Zulia" Emzulia". ufps.edu.co

- Herrera Solorzano, A. L. & Torres Velasco, C. F. (2024). Línea de negocio para la diversificación de la oferta de comida saludable como herramienta de competitividad en el mercado del Grupo CBC. unilibre.edu.co
- Amaya-Roncancio, A. J. & Guerrero-Camacho, J. J. (2020). ... metodológica para la integración de algunas áreas del conocimiento del PMBOK®, como base para la toma de decisiones de viabilidad y factibilidad en los proyectos ucatolica.edu.co
- Galindo Galindo, N. D., Ospina Bonilla, E. J., & Fuentes Susatama, C. A. (2024). Análisis de las razones detrás del bajo uso o desconocimiento de las fuentes no convencionales de energía renovable en Colombia (Bachelor's thesis, Universidad EAN). universidadean.edu.co
- Angulo Cabezas, L. F., Gómez López, M., & Villalba Rosero, J. E. (2024). Diseño de un sistema fotovoltaico, interconectado a la red eléctrica en la biblioteca de la Institución Universitaria Antonio José Camacho sede sur. uniajc.edu.co
- Bolaños, L. M. & Galvis, W. L. S. (). Consideraciones Técnicas Para la Realización de los Estudios Geológico–Geotécnicos Para el Desarrollo de Plantas Solares. repositorio.udes.edu.co. udes.edu.co 36
- Ambiente Solar. (2024). Normatividad sobre energía solar en Colombia. Recuperado de <https://ambientesolar.com.co/normatividad-energia-solar-colombia/>
- Bolaños, J., & Galvis, M. (2022).
- Impacto ambiental y normativo de las energías renovables en Colombia.
- Revista Colombiana de Energías Renovables, 9(1), 30-45.DANE. (2022).
- Encuesta sobre percepción y uso de energías renovables en Bucaramanga. Recuperado de <https://www.dane.gov.co> Giraudy Arafet, C. M., Massipe Cano, I., Rodríguez Rivera, R., Rodríguez Gámez, M., & Vázquez Pérez, A. (2014).
- Factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red. Ingeniería Energética, 35(2), 1-12. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012014000200007&script=sci_arttext
- Innovasolar. (2023). Tendencias globales en energía solar. Recuperado de <https://innovasolar.co/tendencias-globales-energia-solar/>
- Mejía Rebolledo, J., & Otalora Gil, A. (2021).

- Marco regulatorio y su influencia en el desarrollo de energías renovables en Colombia. Revista Internacional sobre Energía Sostenible, 10(2), 25-40. Ministerio de Minas y Energía. (2023).
- Informe sobre políticas energéticas y sostenibilidad. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co> Mordor Intelligence. (2023).
- Análisis del mercado solar fotovoltaico en Colombia. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/colombia-solar-energy-market/market-trends> Observatorio de Desarrollo Económico. (2022).
- Informe sobre adopción de energías renovables en Bucaramanga. Recuperado de <https://www.bucaramanga.gov.co> Ramos Aguilar, J. A. (2023).
- Estudio de factibilidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos en los sectores residenciales, comerciales e industriales. Universidad Técnica del Norte. Recuperado de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15263> Seos Energy. (2024).
- Análisis del mercado solar fotovoltaico en Bucaramanga. Recuperado de <https://www.seosenergy.co/analisis-mercado-solar-bucaramanga> Silva, R., López, J., & Martínez, P. (2023).
- Políticas públicas para la promoción de energías renovables en Colombia. Estudios Ambientales, 12(3), 55-70. UPME. (2021).
- Informe sobre el potencial solar en Colombia. Recuperado de <https://www.upme.gov.co> Mayorga Rodríguez, Y. A. (2024).
- Estudio para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en Bucaramanga. Universidad Autónoma Bucaramanga. Téllez Sánchez, R. (2024).
- Tensiones territoriales por la región metropolitana en la meseta de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Recuperado de <https://ieu.unal.edu.co/divulgacion-academica/tensiones-territoriales-por-la-region-metropolitana-en-la-meseta-de-bucaramanga/>