



**Universidad del
Rosario**

Escuela de Administración

Graduate School of Business (Rosario GSB)

Maestría en Administración (MBA)

Estudio de la prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaico en una institución educativa de

Bogotá

Presentado por:

Oscar Javier Buitrago Bolivar,

Erick Otoniel Cala Laguna

Gorky Julián Muñoz Trujillo

Bogotá, D.C. 20 de noviembre de 2023



Escuela de Administración

Graduate School of Business (Rosario GSB)

Maestría en Administración (MBA)

Estudio de la prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaico en una institución educativa de
Bogotá

Modalidad: Solución a Problemática Empresarial

Presentado por:

Oscar Javier Buitrago Bolivar,

Erick Otoniel Cala Laguna

Gorky Julián Muñoz Trujillo

Bajo la dirección de:

Liliana Martinez

Bogotá, D.C. 20 de noviembre de 2023

Tabla de Contenido

Agradecimientos	5
Dedicatoria.....	6
Declaración de originalidad y autonomía	7
Declaración de exoneración de responsabilidad.....	8
Lista de tablas	9
Lista de figuras.....	10
Resumen.....	11
Abstract.....	13
1. Introducción	15
2. Problema de investigación	21
2.1. Descripción del problema.....	21
2.2. Formulación del problema de investigación	23
2.3. Justificación de la investigación.....	23
2.4. Objetivos	25
2.4.1. Objetivo general.....	25
2.4.2. Objetivos específicos.....	26
3. Marco de referencia	27
3.1. Marco teórico	27
3.1.1. Energía solar	27
3.1.2. Sistemas fotovoltaicos	28
3.1.3. Desarrollo, usos y beneficios de los sistemas solares fotovoltaicos.....	32
3.1.4. Estudios de prefactibilidad	34
3.2. Marco legal y regulatorio de las energías renovables	37
3.3. Marco regulatorio del sistema educativo.....	40
3.4. Marco de referencia en el que se desarrolla el estudio.....	44
4. Diseño metodológico	47
4.1. Factibilidad técnica.....	47
4.2. Viabilidad económica.....	49
5. Presentación y análisis de resultados	51
5.1. Prefactibilidad técnica	51
5.2. Irradiación solar.....	59
5.3. Equipos.....	61
5.4. Prefactibilidad financiera	64
5.4.1. Alternativa de sistema solar fotovoltaico.....	64
5.4.2. Alternativa de subestación eléctrica	64
5.4.3. Análisis de estrés financiero	65
5.4.4. Tasa interna de retorno y valor presente neto	66

5.5.	Análisis económico	68
5.5.1.	Fortalezas del proyecto	68
5.5.2.	Debilidades del proyecto	68
5.5.3.	Oportunidades del proyecto	69
5.5.4.	Amenazas para el proyecto	69
5.5.5.	Tasa de oportunidad.....	69
6.	Conclusiones y recomendaciones	70
6.1.	Conclusiones	70
6.2.	Recomendaciones	71
6.3.	Limitaciones de la investigación	71
6.4.	Proyecciones e implicaciones.....	72
7.	Referencias bibliográficas.....	73
8.	Anexos	83

Agradecimientos

A mis compañeros de tesis por ser el complemento ideal durante el tiempo que trabajamos juntos.

Gorky Julian Muñoz Trujillo

A la Universidad del Rosario y sus docentes del GSB por el conocimiento brindado, a ARPRO por motivarme y permitirme volver a las aulas, a mis compañeros de tesis por su valiosa colaboración y apoyo para que este proyecto sea un éxito y a mi familia quienes son el motor de mi vida.

Erick Otoniel Cala Laguna

Agradezco a mi tutora, compañeros de tesis y docentes de la Universidad del Rosario GSB que contribuyeron a este trabajo de grado de MBA. Un agradecimiento especial a mi familia por su apoyo incondicional y paciencia. Este logro es resultado de la colaboración y respaldo de quienes han sido parte fundamental de mi viaje académico.

Oscar Javier Buitrago Bolívar

Dedicatoria

A Dios, a mi hija que es el motor de mi vida y a mis padres, quienes han sido mi mayor ejemplo e inspiración para cumplir mis sueños.

Gorky Julian Muñoz Trujillo

A mi esposa, mis tres hijos y mis padres, quienes son mi mayor apoyo, razón de ser y constante inspiración.

Erick Otoniel Cala Laguna

Dedico este trabajo de grado a mi esposa, hijos y padres cuyo amor, apoyo y sacrificios han sido la fuerza impulsora detrás de mi éxito académico. Este logro es suyo tanto como mío, y esta dedicación refleja mi profundo agradecimiento por ser mi constante fuente de inspiración.

Oscar Javier Buitrago Bolívar

Declaración de originalidad y autonomía

Declaramos bajo la gravedad del juramento, que hemos) escrito el presente Proyecto Aplicado Empresarial (PAE), en la propuesta de solución a una problemática en el campo de conocimientos del programa de Maestría por nuestra propia cuenta y que, por lo tanto, su contenido es original.

Declaramos que hemos indicado clara y precisamente todas las fuentes directas e indirectas de información y que este PAE no ha sido entregado a ninguna otra institución con fines de calificación o publicación.

Oscar Javier Buitrago Bolívar

Erick Otoniel Cala Laguna

Gorky Julian Muñoz Trujillo

Firmado en Bogotá, D.C. el 20 de noviembre de 2023

Declaración de exoneración de responsabilidad

Declaro(amos) que la responsabilidad intelectual del presente trabajo es exclusivamente de su(s) autor(es). La Universidad del Rosario no se hace responsable de contenidos, opiniones o ideologías expresadas total o parcialmente en él.

Oscar Javier Buitrago Bolívar

Erick Otoniel Cala Laguna

Gorky Julian Muñoz Trujillo

Firmado en Bogotá, D.C. el 20 de noviembre de 2023

Lista de tablas

Tabla 1. Leyes relacionadas al sector eléctrico y las FNCER	38
Tabla 2. Decretos relativos a la ejecución de FNCER.....	38
Tabla 3. Resoluciones relativas a la ejecución de FNCER.....	39
Tabla 4. Otras reglamentaciones con aplicaciones de energía solar fotovoltaica.....	39
Tabla 5. Áreas de cada módulo después de la ampliación.....	55
Tabla 6. Cálculo de la potencia.....	56
Tabla 7. Cuadro de cargas.....	57
Tabla 8. Alternativas de red de baja tensión.....	57
Tabla 9. Alternativas de paneles para el sistema fotovoltaico.....	61
Tabla 10. Costos de los paneles tradicionales y de los paneles ultraligeros.....	63
Tabla 11. Costos en el escenario favorable.....	65
Tabla 12. Costos en el escenario ácido.....	66
Tabla 13. Cifras para la tasa interna de retorno en el escenario ácido.....	67
Tabla 14. Cifras para la tasa interna de retorno en el escenario favorable.....	67

Lista de figuras

Figura 1. Fuentes de energía eléctrica en Colombia	18
Figura 2. Evolución de la población del planeta.....	21
Figura 3. Componentes de un sistema fotovoltaico de energía	30
Figura 4. Localización del Colegio Bilingüe Hispanoamericano Conde Ansúrez	45
Figura 5. Secuencia del proceso de investigación	50
Figura 6. Facturas de Codensa	51
Figura 7. Vista aérea del colegio.....	52
Figura 8. Construcción del restaurante	52
Figura 9. Interior del restaurante.....	53
Figura 10. Remodelación Asturias.....	53
Figura 11. Áreas que integran la construcción del colegio	54
Figura 12. Fachada actual del edificio Asturias.....	55
Figura 13. Costos directos de las dos alternativas de la red de baja tensión (\$miles)	58
Figura 14. Media diaria del nivel de radiación solar	60
Figura 15. Edificio seleccionado para instalar los paneles solares	62

Resumen

Según un estudio del IDEAM en Colombia, se estima que la radiación solar en Bogotá alcanza un promedio de alrededor de 4,8 kWh/m² diariamente, lo que representa un potencial significativo para la generación de energía solar. Esta disponibilidad solar puede ser aprovechada en instituciones educativas para reducir la dependencia de fuentes convencionales de energía y promover un enfoque más sostenible y educativo en el uso de recursos energéticos.

La eficiencia energética puede disminuir considerablemente los gastos relacionados con el consumo de energía. Al implementar medidas como la instalación de iluminación LED, sistemas de calefacción y refrigeración eficientes, o paneles solares, se pueden reducir las facturas de electricidad y combustible. Aunque la inversión inicial pueda ser significativa, las mejoras de eficiencia energética suelen ofrecer un retorno de la inversión (ROI) a largo plazo, ya que los ahorros en costos operativos pueden compensar los gastos iniciales.

En este documento se evalúan las viabilidades en lo técnico, lo económico y lo ambiental de implementar unas instalaciones para el suministro de energía solar fotovoltaica en una institución educativa de Bogotá, para lo cual se desarrolla la fase de prefactibilidad técnica del proyecto solar fotovoltaico a partir de la demanda de energía de la institución educativa, con el fin de dimensionar los equipos necesarios, se define el área necesaria para poder abastecerse de una fuente de energía solar propia, y se presenta su evaluación económica de viabilidad, con base en los costos identificados, los gastos y la inversión inicial que ocasiona su desarrollo.

Como resultado de dicha investigación se destaca que, una vez identificadas las especificaciones de los equipos requeridas, requerimientos de ampliación de la actual subestación de baja tensión para asegurar su conectividad al sistema interconectado, dada la regulación legal

existente. Se evidencia que las condiciones de irradiación solar existentes en Bogotá y las dimensiones de la institución educativa permiten emplear un sistema solar fotovoltaico mediante paneles solares tanto tradicionales como ultralivianos; para obtener un costo más bajo por Watio generado. Se evidencia una recuperación de la inversión en los cinco primeros años de vida del proyecto, con una adecuada rentabilidad y ventaja comparativa para la institución frente a la generalidad de instituciones educativas de la ciudad, que carecen de este tipo de instalaciones.

Palabras claves: Energía solar, Prefactibilidad, Viabilidad técnica, Colegio, Sistema fotovoltaico.

Abstract

According to a study by IDEAM in Colombia, it is estimated that the solar radiation in Bogotá reaches an average of around 4.8 kWh/m² daily, representing a significant potential for solar energy generation. This solar availability can be harnessed in educational institutions to reduce dependence on conventional energy sources and promote a more sustainable and educational approach to the use of energy resources.

Energy efficiency can significantly reduce expenses related to energy consumption. By implementing measures such as installing LED lighting, efficient heating and cooling systems, or solar panels, electricity and fuel bills can be reduced. Although the initial investment may be significant, energy efficiency improvements often yield a long-term return on investment (ROI), as the savings in operational costs can offset the initial expenses.

This paper analyzes the technical, economic, and environmental feasibility of implementing a solar photovoltaic system in an educational institution in Bogotá. The study first develops a technical feasibility study of the solar photovoltaic system, based on the energy consumption of the institution. This study identifies the specifications of the required equipment. The study then determines the size of the installations required by the school to be able to supply itself with its own solar energy source. Finally, the study develops an economic feasibility analysis of the photovoltaic system required by the institution, by identifying the costs, expenses, and investments incurred by the project.

As a result of this research, it is highlighted that, once the required equipment specifications are identified, expansion requirements for the current low-voltage substation are needed to ensure its connectivity to the interconnected system, in accordance with existing legal regulations. It is evident that the existing solar irradiation conditions in Bogotá and the dimensions of the

educational institution allow for the use of a photovoltaic solar system using both traditional and ultralight solar panels to achieve a lower cost per generated watt. A return on investment is evident within the first five years of the project's life, with adequate profitability and a comparative advantage for the institution compared to the majority of educational institutions in the city that lack such installations.

Keywords: Solar energy, Pre-feasibility, Technical feasibility, School, Photovoltaic system.

1. Introducción

La necesidad de energía eléctrica en la humanidad se originó a partir del desarrollo tecnológico y las crecientes demandas de la sociedad. A lo largo de la historia, varios factores contribuyeron al surgimiento de la necesidad de energía eléctrica; con el tiempo, la humanidad ha desarrollado tecnologías cada vez más complejas que requieren fuentes de energía más eficientes y versátiles. La revolución industrial, en particular, marcó un cambio significativo con la introducción de maquinaria impulsada por motores eléctricos (González et al., 2021).

La invención de la bombilla eléctrica por Thomas Edison en el siglo XIX fue un hito importante; la electricidad proporcionó una forma más segura y eficiente de iluminación en comparación con las fuentes tradicionales como las velas y las lámparas de aceite. El desarrollo de las telecomunicaciones, como el telégrafo y posteriormente el teléfono, dependía de la electricidad para la transmisión de señales a larga distancia.

La electrificación también ha sido fundamental en el desarrollo de sistemas de transporte, desde trenes hasta automóviles y, más recientemente, vehículos eléctricos. La industria moderna utiliza una gran cantidad de energía eléctrica para alimentar maquinaria, procesos de fabricación y operaciones. Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, que son esenciales para el confort en hogares y lugares de trabajo, a menudo dependen de la electricidad (Garrido, 2022). En resumen, la creciente complejidad de la sociedad y los avances tecnológicos han llevado a una creciente dependencia de la energía eléctrica para satisfacer las necesidades diarias, tanto en el ámbito doméstico como en el industrial.

El aumento constante de la demanda de energía ha sido satisfecho principalmente mediante fuentes que, lamentablemente, han causado daños significativos al medio ambiente, algunos de los cuales son irreparables. La quema masiva de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y

el gas natural, ha sido una de las principales causas de la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático y a la degradación ambiental.

Estas prácticas no solo han afectado el clima global, sino que también han resultado en la contaminación del aire, el suelo y el agua, con consecuencias negativas para la salud humana y la biodiversidad. La explotación irresponsable de recursos naturales para la generación de energía ha llevado a la degradación de ecosistemas, la pérdida de hábitats y la extinción de especies.

En este contexto, la necesidad urgente de abordar el impacto ambiental de nuestras fuentes de energía se ha convertido en un imperativo. La transición hacia fuentes de energía renovable y prácticas sostenibles es esencial para mitigar los efectos negativos en el medio ambiente y garantizar un futuro más sostenible para las generaciones venideras.

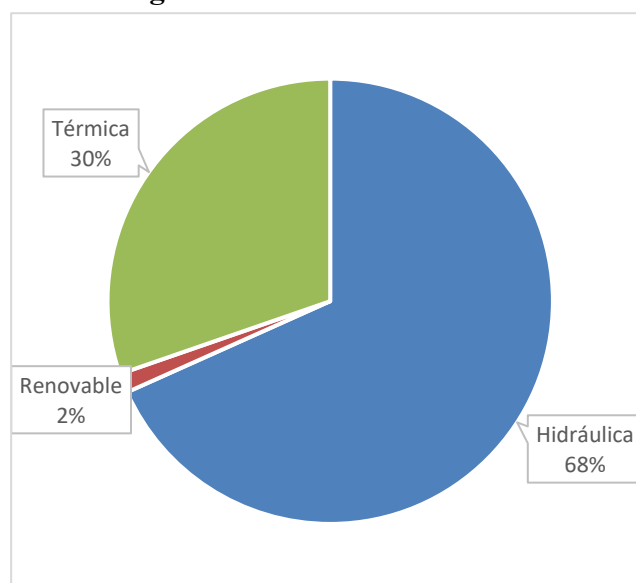
Es así como a partir del protocolo de Kyoto se establecieron disposiciones concretas, enfocadas en la reducción de los Gases de Efecto Invernadero GEI (COP3-Kyoto, 1998). En el mismo sentido la Conferencia de la ONU se definieron los principios sobre Biodiversidad COP15, que derivó en acuerdo de Copenhague en 2009 y en 2015 se ratificaron esas metas del COP21 por medio del acuerdo de París, definiendo el horizonte de acción global de una reducción de 1,5°C en las temperaturas del planeta frente a lo que sucedía hasta ese momento (Naciones Unidas, 2015). Cada país que participó en la COP21 presentó sus contribuciones nacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a los impactos del cambio climático. Estas contribuciones son conocidas como Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés).

Colombia se comprometió en el marco del Acuerdo de París a llevar a cabo acciones para mitigar el cambio climático y adaptarse a sus impactos. Algunos de los compromisos específicos de Colombia incluyen reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un porcentaje

específico en comparación con un año base, aumentar la participación de las energías renovables en su matriz energética para disminuir la dependencia de combustibles fósiles y reducir las emisiones asociadas, implementar medidas para la conservación y restauración de los bosques, reconocidos como sumideros de carbono cruciales para la mitigación del cambio climático, y adaptarse a los impactos inevitables del cambio climático, como eventos climáticos extremos y cambios en los patrones de precipitación (PNUD, 2021).

Desde que entró en vigor el Acuerdo de París en noviembre de 2016, la cuestión de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ganó terreno a nivel mundial. Como resultado de esa dinámica, la mayoría de los países deben presentar e implementar contribuciones determinadas a nivel nacional en un esfuerzo por abordar este problema; por ejemplo, se espera que países como Corea del Sur reduzcan las emisiones de GEI en un 37% con respecto a los niveles habituales para 2030. Sin embargo, los objetivos de reducción presentados por algunos países son actualmente más bajos que la meta global de mantener un aumento térmico inferior a 2° C por encima de los niveles previos (WWF, 2018).

La alta demanda de energía a nivel global hizo que en 2018 la electricidad representara el 22,1% de consumo de energía final en el mundo (Pastor y otros, 2018), y generara el 40% de CO₂ emitido a la atmósfera (Mardones & Muñoz, 2019). La matriz de generación eléctrica de Colombia se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Fuentes de energía eléctrica en Colombia

Nota: elaboración propia con base en los datos de Escobar (2020)

La escasa participación de energías renovables deja en evidencia que en el país se está desaprovechando la ventaja energética derivada de su localización en la Zona Tórrida. La radiación solar en esta zona es intensa y constante a lo largo del año; esto proporciona una fuente abundante de energía solar, lo que hace que la generación de electricidad a través de paneles solares sea altamente eficiente y rentable. Además de la energía solar, en algunas regiones de la zona tórrida se pueden encontrar vientos constantes, lo cual crea condiciones propicias para la generación de energía eólica, ya que la velocidad del viento es un factor clave para la eficiencia de las turbinas eólicas (El Hammoumi et al., 2022). En síntesis, la abundancia de recursos renovables en la zona tórrida permite a los países diversificar sus fuentes de energía. Esto no solo reduce la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también contribuye a la resiliencia del sistema energético, lo que se deriva en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y facilidad para que su desarrollo sea sostenible.

En respuesta al contexto descrito, en este trabajo se evalúa la situación de un colegio que presta sus servicios en la ciudad de Bogotá y se plantea un proyecto de eficiencia energética mediante la instalación de un sistema fotovoltaico que permita soportar la demanda de energía. El tema reviste especial interés debido a que se desarrolla en una institución educativa, lo cual no solo beneficiará las finanzas de la institución, sino que servirá como ejemplo tangible para los estudiantes e inclusive para los docentes, en el sentido de que todos ellos experimentarán de forma directa los beneficios de este tipo de instalación y podrán utilizar los equipos con propósitos didácticos.

Al seleccionar este tema como el objeto de este trabajo se tuvo en cuenta que en este colegio se presenta una situación coyuntural, dado que la institución educativa afronta la necesidad de ampliar sus instalaciones para poder atender la demanda creciente de sus servicios. Esa ampliación física implica necesariamente un mayor consumo de energía eléctrica, por lo que el empleo de energía solar puede ser la solución para que esa mayor demanda de energía se pueda dar respetando las políticas de responsabilidad social que se ha impuesto el colegio.

El trabajo busca servir de referente para otras instituciones educativas y otras empresas que también pueden estar interesadas en adquirir este tipo de servicio, debido a los beneficios que genera no solo desde el punto de vista económico, sino por su contribución al logro de un modelo de vida que sea amigable con el medio ambiente, con lo cual se busca garantizar que las generaciones futuras puedan seguir disfrutando de un planeta viable para la vida humana, en múltiples aspectos; por tratarse de una fuente de energía renovable, no se agota con el uso y es prácticamente inagotable, dado que el sol emite una cantidad enorme de energía cada día, y aprovechar esta radiación solar permite generar electricidad y calor de manera sostenible.

En la evaluación económica se utilizan la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN) que son clasificados como métodos tradicionales para evaluar proyectos de inversión en generación energética (Santos y otros, 2014) Sin embargo, en este trabajo se tienen en cuenta otros criterios además del financiero, como son el aspecto ambiental y técnica, dado que se busca que el proyecto sea sostenible en estas dimensiones.

El estudio consta de cinco capítulos, y en el número uno se delimita el problema a investigar, incluyendo la formulación del objetivo general y de los específicos. El marco referencial es objeto del capítulo siguiente, y comprende los antecedentes investigativos, y el marco teórico, el legal y el de referencia; en el capítulo tercero se determina la metodología a utilizar para desarrollar los objetivos. El capítulo cuatro comprende la presentación y el análisis de los objetivos planteados, mientras que en el quinto se sintetizan las conclusiones, se hacen las recomendaciones que se derivan de este trabajo, se describen las limitaciones enfrentadas y se plantean las proyecciones e implicaciones identificadas a partir de los hallazgos.

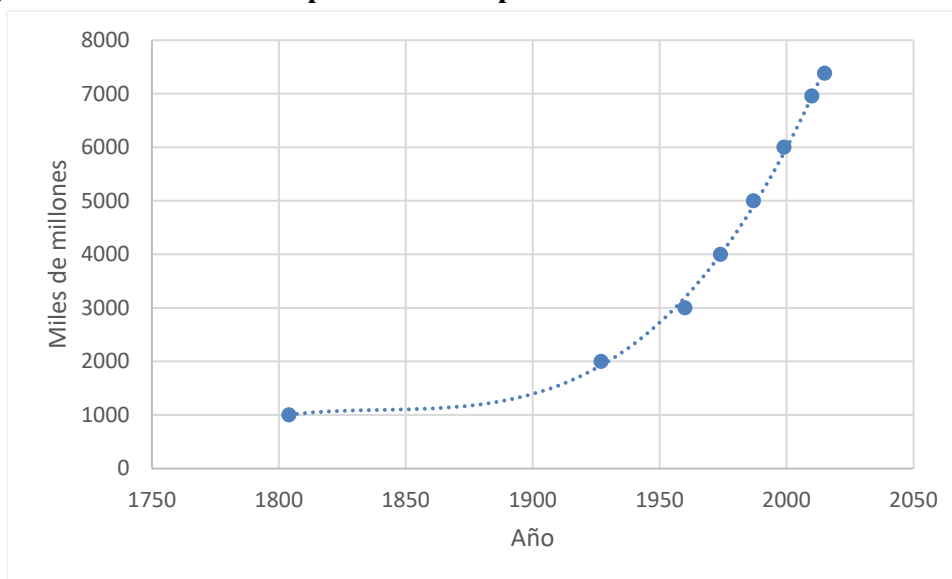
De esta manera se busca no solamente poner en práctica los conocimientos adquiridos en el programa académico cursado, sino contribuir al avance de soluciones prácticas que permitan materializar el propósito de hacer que, a mediano plazo, ciudades como Bogotá puedan ser habitadas en condiciones de sostenibilidad tridimensional, es decir, tanto desde el punto de vista ambiental, como social y económico.

2. Problema de investigación

2.1. Descripción del problema

La evolución de la población mundial desde 1800 hasta la actualidad ha experimentado cambios significativos, marcados por un crecimiento acelerado en el último siglo. Durante el siglo XIX, la población mundial experimentó un crecimiento moderado; se estima que en 1800 la población mundial era de aproximadamente 1 mil millones de personas. A principios del siglo XX, la tasa de crecimiento de la población aumentó considerablemente debido a mejoras en la salud, la nutrición y la atención médica, así como a la reducción de la mortalidad infantil. Para mediados del siglo, la población mundial alcanzó los 2.5 mil millones de personas (ver Figura 2).

Figura 2. Evolución de la población del planeta



Fuente de los datos: Naciones Unidas. (2017)

El periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial presenció una explosión demográfica. Avances en la medicina, la agricultura y la tecnología aumentaron la esperanza de vida y redujeron las tasas de mortalidad. La población mundial llegó a los 6 mil millones a fines del siglo XX.

Aunque la población mundial sigue creciendo, la tasa de crecimiento ha disminuido en comparación con las décadas anteriores. En 2021, la población mundial supera los 7.8 mil millones de personas.

Esa explosión demográfica de la segunda mitad del Siglo XX hizo que se desplazara la frontera agrícola, en perjuicio de las especies que habitan en los bosques y demás ecosistemas rurales. A esto se suma el incremento de la demanda de alimentos y de energía, situación que también se ha presentado en Colombia, de acuerdo con las estadísticas oficiales publicadas por el DANE (2019).

El consumo actual en el mundo de energías renovables en relación con el total de la utilización y generación no sobrepasa el 20%; entre tanto, el requerimiento de energía aumenta con creces, lo que ha hecho que se haya hecho urgente la búsqueda de alternativas de sustitución de energía por medio de soluciones sostenibles (Kannan & Vakeesan, 2016). Ahora bien, el concepto de sostenibilidad involucra las dimensiones social, ambiental y económica, por lo que los proyectos de sustitución de energía deben evaluarse en esos mismos tres aspectos (Alcívar y otros, 2022).

Es por esa razón que el Objetivo 7 de Desarrollo Sostenible de la ONU se propone garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todas las personas, e incluye como metas concretas para el 2030, alcanzar de manera universal el acceso al servicio de energía de forma asequible, fiable y moderna, multiplicar por dos la tasa mundial de mejoramiento de la eficiencia energética, incrementar la cooperación entre los países para hacer más fácil que las personas accedan a investigaciones y tecnologías relacionadas con energías limpias, extender la infraestructura y lograr mejoras tecnológicas para la prestación de servicios de energía con modernidad y sostenibilidad para todos los habitantes de naciones en vías de

desarrollo (PNUD, 2021). El presente trabajo está entonces alineado con este objetivo que se han propuesto las Naciones Unidas para la presente década.

Algunas instituciones educativas se han planteado la opción de utilizar sistemas fotovoltaicos para el abastecimiento de la energía que requieren sus actividades. Sin embargo, esa decisión se debe tomar sin que implique sobrecostos que alejarían al colegio del mercado de estudiantes de Bogotá a los que tradicionalmente ha atendido.

Esa relevancia de realizar una evaluación integral de este tipo de proyectos, los autores optaron por aprovechar la oportunidad de dar respuesta a la pregunta de investigación que se formula a continuación, lo que constituye el propósito de la presente investigación.

2.2. Formulación del problema de investigación

¿Bajo qué condiciones se puede lograr la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico de energía solar en una institución educativa de Bogotá?

2.3. Justificación de la investigación

La justificación para llevar a cabo esta investigación destinada a establecer las condiciones para la viabilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en una institución educativa de Bogotá puede basarse en varios fundamentos clave. En primer lugar, la transición hacia fuentes de energía renovable, como la solar fotovoltaica, es crucial para mitigar el impacto ambiental negativo asociado con la generación de energía a partir de combustibles fósiles; reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover prácticas sostenibles es esencial para combatir el cambio climático.

Adicionalmente, la implementación de un sistema solar fotovoltaico puede generar ahorros significativos a lo largo del tiempo al reducir las facturas de electricidad. Aunque la inversión inicial puede ser sustancial, los beneficios económicos a largo plazo, como el ahorro en costos operativos, pueden justificar la inversión inicial. Así mismo, la instalación de un sistema solar en una institución educativa puede servir como una valiosa herramienta educativa. Los estudiantes podrán aprender sobre energía renovable, sostenibilidad y tecnologías limpias directamente en su entorno, fomentando la conciencia ambiental desde una edad temprana.

La generación de energía a través de fuentes renovables proporciona una mayor independencia energética. La institución educativa podría reducir su dependencia de la red eléctrica convencional y tener un suministro de energía más confiable y sostenible. Como ya se mencionó, Colombia, al igual que muchos países, puede tener objetivos y compromisos ambientales relacionados con la reducción de emisiones y la promoción de fuentes de energía limpia, por lo que la implementación de un sistema solar puede contribuir al cumplimiento de estas normativas y compromisos. La adopción de tecnologías solares puede tener un impacto positivo en la comunidad, mostrando el compromiso de la institución educativa con la sostenibilidad y sirviendo como ejemplo para otros.

Dado que se necesitan equipos relativamente costosos, se recomienda evaluar en detalle esa decisión, lo que implica en primer lugar evaluar la prefactibilidad técnica del sistema que requiere el colegio, de acuerdo con sus proyecciones de ampliación de sus instalaciones. Una vez se haya establecido la viabilidad técnica, se debe confirmar también que los costos del sistema, tanto por concepto de su instalación inicial como por concepto de su operación, son iguales o inferiores de los que ocasionaría la conexión al sistema interconectado de energía eléctrica que actualmente utiliza el colegio.

El desarrollo del trabajo también busca contribuir a mejorar la situación ambiental de la ciudad de Bogotá, en donde las emisiones de efecto invernadero que ocasionan tanto las industrias como los diferentes medios de transporte han llevado no solo a la necesidad de restringir la movilidad vehicular, sino a promover proyectos de reforestación y a implantar programas de reciclaje y compostaje (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020).

El tema es de especial interés cuando se habla de una institución educativa, dado que, además de los beneficios técnicos y económicos que se espera obtener, el hecho de que la experiencia pueda ser vivida de forma directa por estudiantes de primaria y bachillerato hará que ellos, en su futuro personal y profesional, puedan recurrir a su testimonio directo para sustentar los diferentes efectos que se obtienen cuando se hace uso de esta fuente de energía. Es de esperarse que, como consecuencia de usar de forma cotidiana la energía solar, para estos estudiantes resulte muchos más sencillo hacer tránsito al uso de energías sostenibles en lugar de las tradicionales fuentes de energía convencionales, lo que les permitirá no solo tener confianza en ella, sino inclusive recomendarla en donde quiera que se desempeñen después de terminar su proceso educativo.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en una institución educativa de Bogotá.

2.4.2. Objetivos específicos

- Realizar la evaluación técnica preliminar del sistema de energía solar fotovoltaica acorde con la demanda de energía de la institución educativa, para determinar las características de los equipos necesarios.
- Dimensionar las instalaciones que requiere el colegio para poder abastecerse de una fuente de energía solar propia.
- Analizar la viabilidad económica del sistema fotovoltaico para la institución educativa con base en los costos, los gastos y la inversión que ocasiona el proyecto.

3. Marco de referencia

3.1. Marco teórico

El acceso a la energía eléctrica es esencial para el progreso humano (Valer et al., 2016). Actualmente, la producción de energía eléctrica depende en gran medida de los recursos fósiles disponibles y de la viabilidad de acceder a la red eléctrica. Durante mucho tiempo, el desarrollo de las sociedades ha estado vinculado principalmente a la capacidad de utilizar combustibles fósiles para obtener energía, lo que ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente debido a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera (Ben & Ben, S., 2016). Esta problemática ambiental ha dado lugar al concepto de "Economía Verde", el cual ha ganado importancia entre los académicos encargados de formular políticas relacionadas con la generación de energía (Cao et al., 2017).

Las energías eólica, hidroeléctrica, bioenergética y solar son las que menor impacto ambiental generan, como se describe a continuación.

3.1.1. Energía solar

La energía solar se puede aprovechar mediante paneles fotovoltaicos para generar electricidad de manera sostenible y reducir la contaminación ambiental de varias maneras. Los paneles fotovoltaicos están compuestos por celdas solares, generalmente hechas de silicio, que absorben la radiación solar. Cuando la luz solar incide sobre estas celdas, los fotones de luz liberan electrones en el material semiconductor, generando una corriente eléctrica (Rathore et al., 2021).

La corriente eléctrica generada por las celdas solares se recoge y se convierte en electricidad utilizable. Los paneles fotovoltaicos están diseñados para captar la luz solar y

convertirla directamente en electricidad de corriente continua. La electricidad generada inicialmente es de corriente continua (CC), pero la mayoría de los dispositivos y la red eléctrica utilizan corriente alterna (CA). Por lo tanto, se utiliza un inversor para convertir la corriente continua en corriente alterna. La electricidad generada por los paneles solares se puede utilizar para alimentar dispositivos y electrodomésticos en un hogar, o bien, puede ser inyectada en la red eléctrica local. En este último caso, se puede recibir compensación económica o créditos por la electricidad generada mediante esquemas como la medición neta que algunos lugares implementan (Dambhare et al., 2021).

Al utilizar la energía solar, se evita la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad; esto reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a combatir el cambio climático y mejorando la calidad del aire. La energía solar es una fuente de energía renovable y sostenible. A diferencia de los combustibles fósiles, el sol es una fuente inagotable de energía, y su aprovechamiento no agota los recursos naturales. Si bien la producción y operación de los paneles solares pueden generar ciertos impactos ambientales, pero en comparación con otras fuentes de energía, como los combustibles fósiles, el impacto es generalmente menor. Además, la tecnología de los paneles solares continúa mejorando para reducir aún más estos impactos.

3.1.2. Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas que aprovechan la radiación solar para generar electricidad. Pueden variar en tamaño y complejidad, desde pequeños sistemas utilizados para cargar dispositivos electrónicos hasta grandes instalaciones a escala de servicios públicos (Hernández et al., 2019).

Una estructura de montaje sostiene y orienta los paneles solares para maximizar la captación de luz solar; puede ser montaje en el suelo, en tejados o estructuras especiales según la

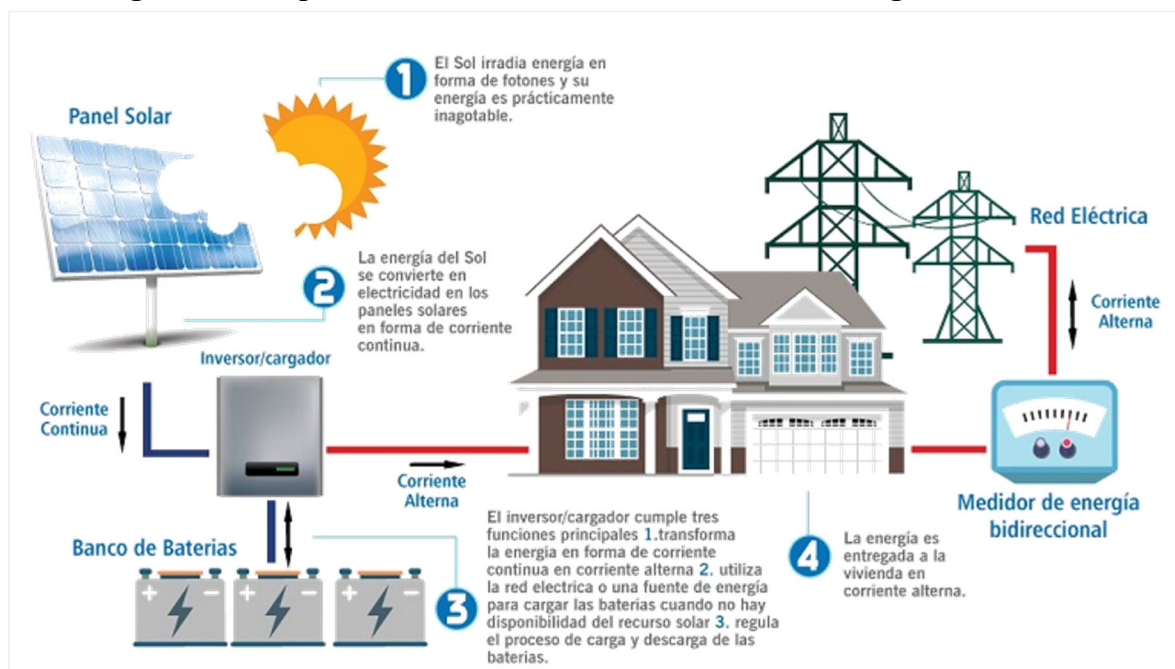
aplicación. Además de los paneles que ya se describieron y de los inversores, las baterías almacenan la electricidad generada para su uso durante períodos sin luz solar, como durante la noche o en días nublados; no todos los sistemas fotovoltaicos necesitan baterías, especialmente aquellos conectados a la red eléctrica.

A su vez, el sistema de monitoreo y control supervisa el rendimiento del sistema y proporciona información sobre la generación de energía, el estado de las baterías (si se utilizan), y otros parámetros importantes. Una caja de conexiones y el cableado conectan todos los componentes eléctricos del sistema, asegurando una conexión segura y eficiente (Feldman et al., 2021).

Existen diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos. Los sistemas conectados a la red están conectados directamente a la red eléctrica. La electricidad generada se utiliza en el lugar o se inyecta en la red, y el propietario puede recibir compensación económica o créditos por la energía generada. Los sistemas autónomos no están conectados a la red eléctrica y utilizan baterías para almacenar la electricidad generada; son comunes en áreas remotas donde no hay acceso a la red eléctrica. A su vez, los sistemas híbridos combinan la energía solar con otras fuentes de energía, como generadores diésel o turbinas eólicas, para proporcionar una fuente de energía más constante y confiable. También están los sistemas de bombeo solar, que se utilizan para bombear agua en áreas sin acceso a la red eléctrica, como sistemas de riego agrícola o suministro de agua potable (Panigrahi et al., 2020).

En la Figura 3 se muestran los diferentes componentes de un sistema fotovoltaico. En ese caso, se trata de un sistema híbrido, dado que, además de los paneles solares, el sitio está conectado a la red eléctrica convencional.

Figura 3. Componentes de un sistema fotovoltaico de energía



Nota: tomado de HG Ingeniería y Construcciones (2021)

Puede observarse que, además de los paneles, el sistema requiere de un inversor y un banco de baterías. El panel capta la energía solar y la transforma en energía eléctrica continua que se almacena en las baterías; el inversor transforma la energía continua en energía alterna, para abastecer los diferentes dispositivos que se conecten a la red interna del inmueble, ya sea que se trate de una vivienda o una industria.

El sistema fotovoltaico es una colección de componentes eléctricos interconectados, que pueden generar electricidad a partir de la luz solar y satisfacer los requisitos energéticos; según los requisitos de carga y la intensidad de la radiación en el sitio, se deben especificar los componentes del sistema. Los paneles fotovoltaicos generan electricidad a partir de la luz solar es el componente principal de un sistema fotovoltaico; la corriente y el voltaje generados dependen del área de la celda. Un panel solar es la colección de células fotovoltaicas básicas que se puede llamar células solares (Khatibi y otros, 2019).

Para cumplir con los requisitos de energía de un sistema en particular, se conectan varios paneles en serie (para aumentar el voltaje) o en paralelo (para aumentar la corriente); sus combinaciones forman una matriz fotovoltaica solar. La batería de almacenamiento es vital en un sistema fotovoltaico independiente, y permite almacenar energía durante las horas de sol y suministrar corriente durante las horas en que no hay sol. Estas pueden estar pueden ser de plomo ácido, batería con ácido de plomo regulado por válvula (más conocida como Valve-regulated lead acid VRLA), batería de iones de litio, entre otras (Perdomo y otros, 2022).

El controlador de carga se utiliza para regular y controlar el flujo de corriente entre el conjunto fotovoltaico y la batería. La función principal del controlador de carga solar es limitar el flujo al que se agrega o extrae corriente eléctrica de las baterías; previene la sobrecarga y protege la batería de la fluctuación de voltaje. El inversor también se conoce como unidad de acondicionamiento de energía. La mayoría de las aplicaciones en un edificio generalmente usan corriente alterna, mientras que el módulo fotovoltaico y el banco de baterías son fuentes de energía de corriente continua. El inversor convierte la energía de CC en energía de CA en un sistema fotovoltaico (Palanisamy y otros, 2019).

También están los dispositivos de protección, los diodos de bloqueo y derivación, el sistema de protección contra rayos, los fusibles, la barra colectora y el cableado. Estos componentes son necesarios para proteger el sistema de manera eficiente. El tamaño del cable debe elegirse de tal manera que se minimice la caída de voltaje o la pérdida del cable.

Todos estos componentes permiten la operación de las unidades de consumo de energía, que son carga para el sistema fotovoltaico que se va a planificar. Las cargas resistivas no requieren ninguna sobretensión significativa cuando se activan, como bombillas, calentadores eléctricos, etc. En cambio, la carga inductiva requiere una gran cantidad de sobrecorriente cuando se activa por

primera vez, que equivale a varias veces los requisitos de energía normales, como sucede con los ventiladores y los motores eléctricos, entre otros (Hernaz, 2019).

3.1.3. Desarrollo, usos y beneficios de los sistemas solares fotovoltaicos

Los sistemas solares fotovoltaicos han experimentado un significativo desarrollo a lo largo de los años, impulsado por avances tecnológicos, mejoras en la eficiencia y la reducción de costos. La investigación continua en materiales semiconductores, diseño de paneles solares y técnicas de fabricación ha llevado a la creación de sistemas más eficientes y accesibles. Además, el crecimiento de la conciencia ambiental y el impulso hacia fuentes de energía renovable han contribuido a la expansión y adopción de los sistemas solares fotovoltaicos a nivel mundial (Zambrano, 2020).

Estos sistemas solares fotovoltaicos se utilizan comúnmente en hogares para generar electricidad. Los paneles se instalan en techos o en terrenos cercanos, y la electricidad generada puede usarse directamente en el hogar o inyectarse en la red eléctrica. Muchas empresas e industrias han adoptado sistemas solares fotovoltaicos para reducir sus costos de electricidad y su huella de carbono. Grandes instalaciones en tejados o en terrenos industriales generan energía para alimentar procesos de fabricación y operaciones comerciales.

En áreas rurales o remotas, los sistemas solares fotovoltaicos se utilizan para alimentar bombas de agua, facilitando la irrigación agrícola y proporcionando acceso a agua potable. Los sistemas solares fotovoltaicos se integran en estaciones de carga de vehículos eléctricos para generar electricidad limpia y sostenible para cargar automóviles; otros sistemas alimentan luces de calles, farolas y señalización, proporcionando iluminación en áreas remotas o en lugares donde la conexión a la red eléctrica es difícil. En situaciones de emergencia o en áreas propensas a

desastres naturales, los sistemas solares fotovoltaicos proporcionan una fuente de energía confiable para mantener operativos dispositivos críticos y centros de respuesta (Mejía, 2020).

La energía solar es una fuente de energía renovable e inagotable, lo que contribuye a la sostenibilidad a largo plazo y reduce la dependencia de los combustibles fósiles. Al generar electricidad sin la quema de combustibles fósiles, los sistemas solares fotovoltaicos ayudan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigando el cambio climático y mejorando la calidad del aire. Los sistemas solares fotovoltaicos permiten a los usuarios generar su propia electricidad, lo que proporciona una mayor independencia energética y una mayor resiliencia ante cortes de energía. Al distribuir la generación de electricidad en una red descentralizada, se reducen las pérdidas de transmisión y se mejora la eficiencia del sistema eléctrico (Tawalbeh et al., 2021).

La adopción de sistemas solares fotovoltaicos impulsa la industria de energía renovable, generando empleo y contribuyendo al crecimiento económico. En resumen, los sistemas solares fotovoltaicos desempeñan un papel crucial en la transición hacia un sistema de energía más limpio y sostenible, ofreciendo beneficios económicos, ambientales y sociales. Su versatilidad y aplicaciones diversas hacen que sean una opción atractiva en diversos sectores y geografías.

La producción de energía del sistema durante el primer año se expresa en kilovatios hora generados por kilovatio pico nominal de capacidad por año y es función de:

- La cantidad de luz solar que recibe el sitio del proyecto en un año.
- Cómo está montado y orientado el sistema, es decir, plano, inclinación fija, seguimiento, etc.
- El espacio entre los paneles fotovoltaicos expresado en términos de relación de cobertura de suelo del sistema.

- La cosecha de energía del panel fotovoltaico, es decir, sensibilidad de rendimiento a altas temperaturas, sensibilidad a luz baja o difusa, etc.
- Pérdidas del sistema por suciedad, transformadores, inversores e ineficiencias de cableado.
- Disponibilidad del sistema impulsada en gran medida por el tiempo de inactividad del inversor (Agyekum, 2021).

Para calcular la cantidad de energía producida en años futuros, se aplica una tasa de degradación del sistema al rendimiento inicial del sistema para reflejar el desgaste de los componentes del sistema. La degradación del sistema, que en gran parte es función del tipo de panel fotovoltaico y la calidad de fabricación, así como y su previsibilidad es un factor importante en los costos del ciclo de vida, ya que determina el nivel probable de flujos de efectivo futuros. Finalmente, el plazo de financiamiento del sistema determinará la duración de los flujos de efectivo y afectará la evaluación del valor residual del sistema.

3.1.4. Estudios de prefactibilidad

Un estudio de prefactibilidad es un análisis preliminar que se realiza antes de llevar a cabo un proyecto o una inversión importante, con el objetivo principal de evaluar la viabilidad y el probable éxito del proyecto antes de asignar recursos sustanciales a su desarrollo integral. Durante la evaluación de prefactibilidad, se examinan diversos aspectos del proyecto, incluyendo los técnicos, financieros, económicos, legales y ambientales. Estos análisis proporcionan información clave que permite determinar si el proyecto es factible y viable desde diferentes perspectivas (Raharjo, 2022).

Algunos elementos que suelen considerarse en un estudio de prefactibilidad son el análisis técnico, financiero, económico, legal y regulatorio y ambiental. Para examinar la viabilidad técnica del proyecto, se consideran aspectos como la disponibilidad de recursos, la tecnología requerida, la capacidad de producción, los proveedores y los requisitos de infraestructura. Paralelamente, en el análisis financiero, se efectúa una evaluación preliminar de los costos estimados y los beneficios anticipados del proyecto, según lo indicado por McLeod (2021). Esto abarca estimaciones de inversión inicial, costos operacionales, proyecciones de ingresos y un estudio de rentabilidad.

A su vez, en el análisis económico se evalúan los aspectos económicos del proyecto, como la demanda del mercado, la competencia, el impacto en el empleo y los beneficios económicos generados, mientras que el análisis legal y regulatorio abarca temas como la legislación y las regulaciones aplicables al proyecto, así como los permisos y licencias necesarios para su desarrollo. Entre tanto, en el análisis ambiental se evalúa el impacto ambiental potencial del proyecto, considerando los aspectos relacionados con la conservación de recursos naturales, la gestión de residuos y la sostenibilidad.

Al finalizar el estudio de prefactibilidad, se obtiene una evaluación global del proyecto que permite tomar una decisión informada sobre su continuidad. Dependiendo de los resultados, se puede optar por avanzar hacia un estudio de factibilidad más detallado o descartar la idea por completo (Raharjo, 2022). Es decir que una evaluación preliminar, conocida como estudio de prefactibilidad, desempeña un papel determinante al analizar la viabilidad y el posible éxito de un proyecto antes de comprometer recursos sustanciales en su desarrollo integral.

Un estudio de prefactibilidad y un estudio de factibilidad son dos etapas diferentes de evaluación de proyectos que se realizan en momentos distintos del ciclo de vida del proyecto. A

continuación, se presentan las diferencias clave entre ambos en relación con su objetivo, alcance, nivel de detalle, recursos requeridos y la toma de decisiones (Muneer y otros, 2021).

El objetivo principal de un estudio de prefactibilidad es determinar la viabilidad preliminar de un proyecto y evaluar su potencial éxito antes de realizar inversiones importantes. Por otro lado, un estudio de factibilidad se realiza una vez que se ha determinado que el proyecto es viable en términos generales y tiene como objetivo evaluar de manera más detallada todos los aspectos técnicos, financieros, económicos y operativos del proyecto. Un estudio de prefactibilidad es un análisis preliminar que proporciona una visión general del proyecto, evaluando aspectos clave, pero de manera más superficial. Por el contrario, un estudio de factibilidad es más exhaustivo y detallado, y aborda aspectos específicos del proyecto en mayor profundidad.

En cuanto al nivel de detalle, un estudio de prefactibilidad se basa en datos preliminares y estimaciones aproximadas, mientras que un estudio de factibilidad utiliza información más precisa y detallada, mientras que un estudio de factibilidad requiere la realización de análisis más rigurosos, estudios de mercado más completos, evaluaciones financieras más precisas y un plan operativo más detallado. Así mismo, un estudio de prefactibilidad se realiza generalmente con un nivel de inversión de recursos más bajo en comparación con un estudio de factibilidad. Debido a su naturaleza preliminar, el estudio de prefactibilidad se enfoca en la recopilación de información de manera eficiente y en la evaluación de aspectos clave con datos disponibles. En cambio, un estudio de factibilidad implica una mayor inversión de recursos, tanto en términos de tiempo como de dinero, para llevar a cabo análisis más detallados y exhaustivos (Muneer y otros, 2021).

Finalmente, la conclusión de un estudio de prefactibilidad puede ser una recomendación para avanzar hacia un estudio de factibilidad completo, realizar modificaciones al proyecto o descartar la idea por completo. Por otro lado, el estudio de factibilidad proporciona información

más precisa y detallada para tomar decisiones finales sobre la implementación del proyecto, incluyendo la aprobación de financiamiento, el diseño final y la planificación detallada.

Se puede resumir diciendo que un estudio de prefactibilidad es una evaluación preliminar que se realiza antes de invertir recursos significativos en un proyecto, mientras que un estudio de factibilidad es una etapa más avanzada y detallada que se lleva a cabo para evaluar todos los aspectos del proyecto antes de su implementación final.

3.2. Marco legal y regulatorio de las energías renovables

El marco legal y regulatorio colombiano sobre energía renovable es el siguiente. Las leyes principales son la Ley 1715 de 2014, que establece medidas para la promoción de las energías renovables no convencionales en Colombia y define los criterios y condiciones para la integración de estas fuentes de energía en el sistema energético nacional. La Ley 697 de 2001 establece el régimen para la promoción del uso de fuentes no convencionales de energía, incluyendo las energías renovables, y fija las condiciones para la conexión de estas fuentes al sistema de transmisión nacional.

Entre las regulaciones adicionales está la Resolución CREG 030 de 2012: La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) emitió esta resolución para establecer las condiciones de conexión de las fuentes no convencionales de energía al Sistema Interconectado Nacional (SIN) en Colombia. La Resolución CREG 097 de 2012 establece los criterios técnicos y económicos para la conexión de proyectos de generación de energía no convencional al SIN. Así mismo, la Resolución CREG 151 de 2012 emitida por la CREG busca establecer las condiciones para la compra de energía generada por fuentes no convencionales por parte de los comercializadores y usuarios no regulados.

Adicionalmente, Colombia ha implementado varios incentivos para promover el desarrollo de energías renovables. Existen exenciones tributarias para equipos e infraestructuras relacionadas con energías renovables y se han implementado programas de subsidios y apoyos financieros para proyectos de energías renovables, facilitando el acceso a financiamiento. Colombia ha expresado su compromiso con la promoción de las energías renovables como parte de sus objetivos nacionales y en línea con acuerdos internacionales sobre cambio climático.

En seguida, por medio de las tablas 1 hasta la 4, se describen las leyes, decretos y resoluciones de mayor relevancia en esta materia.

Tabla 1. Leyes relacionadas al sector eléctrico y las FNCER

No.	Descripción
142 de 1994	Ley 142 (1994) y la Ley 143 (1994) fijaron lineamientos generales relacionados con el suministro de energía eléctrica como servicio público domiciliario, así como el marco legislativo que aplica para la construcción de la regulación de ese sector, a cargo de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)
143 de 1994	
629 de 2000	Para minimizar emisiones de gases de efecto invernadero(2000).
697 de 2001	A través de la ley 697 (2001) se señaló el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público.
1715 de 2014	La ley 1715 (2014), constituye un avancen en cuanto a la reglamentación para la puesta en marcha de energías no convencionales, fundamentalmente las de energía renovable.

Fuente: Preciado y Hurtado (2018)

La reglamentación de estas normas se realizó mediante los decretos que se muestran en la Tabla 2

Tabla 2. Decretos relativos a la ejecución de FNCER

No.	Descripción
2492 de 2014	Este decreto (2014) define disposiciones para ejecutar mecanismos de respuesta a la demanda, en el marco del Sistema Interconectado Nacional.
2469 de 2014	A través de este Decreto se fijaron pautas relacionadas con la disposición de excedentes provenientes de proyectos autogeneradores de gran tamaño.
2143 de 2015	Sobre incentivos definidos en la Ley 1715 para el fomento en proyectos de energías alternativas(2015); fija procedimientos de acceso a esos beneficios.

No.	Descripción
348 de 2017	Este decreto (2017) especifica aspectos de medición de niveles de eficiencia y su puesta en funcionamiento.

Fuente: Preciado y Hurtado (2018)

Los anteriores decretos fueron complementados con resoluciones mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3. Resoluciones relativas a la ejecución de FNCER

No.	Año	Descripción
084	1996	Esta resolución (1996) reglamenta la autogeneración para usuarios regulados y no regulados.
086	1996	La resolución 086 (1996) aplica a plantas de menos de 20 MW conectadas al SIN.
0281	2015	La resolución 0281 (2015) define el límite máximo que aplica para autogenerar energía a escala mínima.
024	2015	La resolución 024 (2015) define la potencia de autogeneración en gran escala.
045	2016	La resolución 045 (2016) establece especificaciones para tramitar certificaciones de beneficio ambiental que dan acceso a incentivos definidos en la ley 1715 (2014).
030	2018	La resolución 030 (2018) reglamenta la integración de los autogeneradores a pequeña escala y de la generación distribuida al SIN.

Fuente: Preciado y Hurtado (2018)

La Tabla 3 muestra que en el año 2015 se establecieron distinciones legales entre los niveles de autogeneración, especificando categorías para los generadores de pequeña y gran escala. Es importante destacar que los generadores de gran escala pueden tener un impacto significativo en el mercado, a diferencia de sus contrapartes de pequeña escala.

De forma específica, en la Tabla 4 se describen las normas de orden técnico aplicables en los sistemas de energía solar fotovoltaica.

Tabla 4. Otras reglamentaciones con aplicaciones de energía solar fotovoltaica

Norma técnica	Tema
NTC 2050 (1998)	Código eléctrico nacional de Colombia
NTC 4405 (1998)	Sobre la metodología para evaluar la eficiencia de proyectos fotovoltaicos y sus elementos.
NTC 1736 (2005)	Se definen los conceptos de nivel general y la numeración que se aplica en normas aplicables a la energía solar.
NTC 2883 (2006)	Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para uso en tierra. Evaluación de su diseño y validación según tipos

Norma técnica	Tema
NTC 5549 (2007)	Sistema fotovoltaico en tierra. Generación de potencia. Aspectos y directrices generales
NTC 5725 (2009)	Generadores aéreos, requerimientos para diseñar aerogeneradores de pequeña escala
NTC 5710 (2009)	Sistemas para proteger sobretensiones en sistemas fotovoltaicos
NTC 5513 (2010)	Dispositivos fotovoltaicos: mediciones de corriente y tensión
NTC 2412 (2013)	Generadores aéreos: medición y valoración de especificaciones de calidad de generación de potencia de generadores aéreos que se conectan a la red
RETIE (2013)	Anexo general del RETIE con sus modificaciones

Fuente: Preciado y Hurtado (2018)

Como lo muestra la Tabla 4, los sistemas fotovoltaicos se deben ajustar a especificaciones técnicas precisas. Por esa razón, las empresas que como El Colegio Bilingüe Hispanoamericano estén interesadas en este tipo de instalaciones, se deben asegurar de que todos los insumos se ajusten a esas normas técnicas.

3.3. Marco regulatorio del sistema educativo

Las referencias de la Constitución y la ley a través que dan sustento legal al sistema educativo en Colombia son los siguientes. En primer lugar, la Constitución Política de Colombia (1991) establece que el país es un Estado social de derecho en donde la autonomía universitaria está garantizada, lo que implica que estas instituciones se pueden dar sus directivas y definir sus propios estatutos, de acuerdo con la ley.

Dentro de la Constitución Política de 1991, la educación se considera un derecho de carácter fundamental y un servicio público que tiene una función social, mientras que hacen parte de los derechos de los niños la vida, la integridad física, la salud y la seguridad social, la alimentación equilibrada, su nombre y nacionalidad, tener una familia y no ser separados de ella, el cuidado, el amor, la educación y la cultura, la recreación y la libre expresión de su opinión.

También define que la educación deberá formar en el respeto a los derechos humanos, a la democracia y a la paz, así como la práctica de la recreación y el trabajo, orientados al mejoramiento de la cultura, la ciencia, la tecnología y la protección ambiental; señala como responsables de la educación al Estado, la familia y la sociedad, y establece que la educación tendrá carácter obligatorio entre los 5 y los 15 años de edad y al menos debe incluir un año de preescolar y 9 de educación básica.

A lo anterior se suma que la educación será gratuita en las instituciones del Estado y corresponde al mismo Estado regular y ejercer la suprema inspección y vigilancia de la educación con el fin de velar por su calidad, por el cumplimiento de sus fines y por la mejor formación moral, intelectual y física de los educandos. Aunque la educación dentro de la Constitución pertenece a los Derechos Sociales Económicos y Culturales (DESC), es considerada en la categoría de derechos fundamentales, como se refleja en los artículos constitucionales 1, 2, 5 y 13. En esa medida, es un derecho que se debe garantizar sin discriminar a ninguna persona, lo que a mediano plazo redundará en una sociedad próspera.

De manera adicional, el artículo 67 de la misma Constitución hace alusión específica a la educación en materia de derechos humanos, junto con la práctica laboral y las actividades recreativas como pasos hacia una mejor cultura, y los avances en ciencia, tecnología y cuidado ambiental; esta última se considera un deber tanto estatal como social y familiar.

En Colombia, según la Ley General de Educación (1994) los niveles educativos son: i) Preescolar un grado (Grado 0); Básica nueve grados (5 primaria y 4 de secundaria) y Educación Media dos grados (Grados 10º y 11º). El artículo 73 de esa misma ley establece que cada establecimiento educativo debe elaborar y poner en práctica un Proyecto Educativo Institucional, en el cual se deben determinar aspectos tales como sus principios y fines, los recursos docentes y

didácticos, la estrategia pedagógica, el reglamento para docentes y estudiantes y el sistema de gestión. A lo anterior se debe sumar el Plan de Mejoramiento Institucional, que se basa en el seguimiento permanente de los resultados para formular nuevos objetivos, metas y estrategias a corto y mediano plazo (Ministerio de Educación Nacional, 2006).

Entre tanto, en la denominada Ley de Juventudes los jóvenes son considerados actores de la sociedad, capaces de intervenir. Dávila y Silva (2012) advierten al respecto que la política juvenil busca generar escenarios en donde ellos se puedan realizar, mientras que pueden participar para configurar las sociedades en las que viven. Adicionalmente, el Estado Colombiano ampara a la familia como institución básica de la sociedad, lo que implica protegerla y asistirle para garantizar la unidad de esa familia, sin importar su situación. En coherencia con esa garantía, cada estado se debe abstener de actos que rompan esa unidad y, en cambio, debe propiciarla o recuperarla en caso de que se haya roto. Es así como el artículo 22 del Código de Infancia y Adolescencia señala que *“Los niños, niñas y los adolescentes tienen derecho a tener y crecer en el seno de la familia, a ser acogidos y no ser expulsados de ella”* (Congreso de la República, 2006).

En consideración de las condiciones que se deben crear para una adecuada gestión de las problemáticas que afectan a la familia y especialmente a los menores, durante 2006 se tramitó la Ley 1098, por medio de la cual se introdujeron modificaciones a lo que considera como un menor en situación de irregularidad que había sido definida por la norma precedente, es decir, el decreto 2737 de 1989. Lo que se buscó fue aproximarse a la teoría de la “protección integral” desarrollada mediante tratados de alcance internacional. Esos cambios tuvieron como punto de partida la identificación de la responsabilidad que comparten la familia, el Estado y toda la sociedad frente a esa integralidad de la protección a los menores.

La citada ley empieza por fijar en cabeza del Estado la responsabilidad de garantía del derecho de protección integral que tienen niños y niñas. Con el fin de lograr ese propósito, la ley define líneas de acción a nivel de políticas, planes y acciones, además de que define las fuentes de financiación y los recursos humanos requeridos, a partir de cuatro principios de carácter general; en primer lugar, reconoce a los niños, niñas y adolescentes su carácter de sujetos de derechos que requieren cumplimiento y garantía, mediante la protección integral de esos derechos. En segundo lugar, establece que esos derechos han de prevalecer sobre los demás integrantes de la sociedad, por lo que les reconoce un nivel superior de interés. Viene en tercer lugar el principio de corresponsabilidad, según el cual la familia, la sociedad y el Estado comparten la responsabilidad de atender, proteger y cuidar a esa población. Como cuarto y último de estos principios está la perspectiva de género, que hace referencia a las condiciones etarias, de etnia, de cultura, así como las sociales y psicológicas propia de niños niñas y adolescentes.

Puede observarse que el sistema educativo colombiano se basa en la Constitución y la Ley General de Educación. La educación es un derecho fundamental y servicio público, gratuita en instituciones estatales y regulada por el Estado para asegurar su calidad y formación integral de los estudiantes. La Ley General de Educación define niveles educativos y requiere que cada institución tenga un Proyecto Educativo Institucional. También existen leyes que protegen los derechos de los jóvenes y menores, buscando su desarrollo integral con responsabilidad compartida entre familia, Estado y sociedad.

A lo anterior se agrega que el actual gobierno viene promoviendo lo que ha denominado el Programa Nacional de Educación Ambiental “que busca fortalecer las competencias ciudadanas para el cuidado de todas las formas de vida, generar conocimiento y reconocer el saber de los pueblos, con el propósito de contribuir a territorios sostenibles y en armonía con la naturaleza”

(Ministerio de Educación, 2023). En este programa participan los ministerios de Educación y de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por lo que el presente proyecto para proveer de energía solar a una institución educativa en Bogotá se enmarca no solamente dentro de las políticas educativas en general, sino particularmente en el interés de promover el uso de energías alternativas y de servir, al mismo tiempo, de escenario para evidenciar por medio de la experiencia directa los beneficios de este sistema.

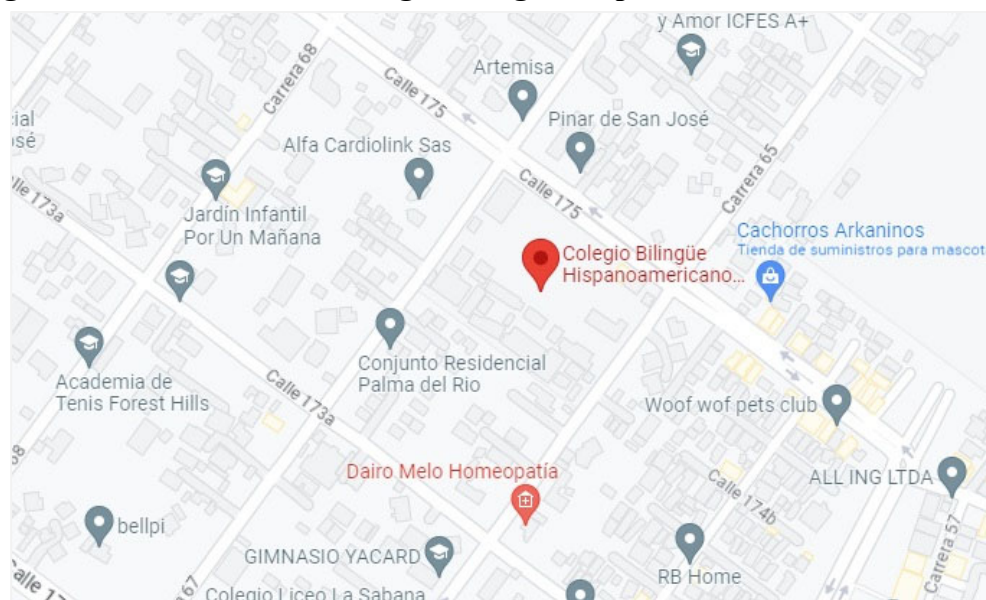
3.4. Marco de referencia en el que se desarrolla el estudio

La institución educativa en donde se desarrollará el estudio de prefactibilidad del sistema fotovoltaico es el Colegio Bilingüe Hispanoamericano Conde Ansúrez; la institución es presentada como:

Un colegio Cambridge International School con un enfoque educativo integral, innovador y valioso, centrado en el desarrollo de las dimensiones del ser, hacer y saber. Esto permitirá a los estudiantes tener una formación completa y prepararlos para el mundo globalizado actual de manera efectiva. (Colegio Bilingüe Hispanoamericano, 2023, pág. 1).

Fue fundado en 1959 por educadores españoles, en 1970 se trasladó al sector de San José de Bavaria, como se observa en el mapa de la Figura 4.

Figura 4. Localización del Colegio Bilingüe Hispanoamericano Conde Ansúrez



Nota: Tomado de Google Maps

Al iniciar el actual milenio fue objeto de un proceso de planeación estratégica con base en el modelo belga EFQM-European Foundation Quality Management (Yousaf & Bris, 2019). En 2009 inició un proceso tendiente a internacionalizar su currículo, lo que implicó hacer énfasis en la interculturalidad y el multilingüismo.

La misión institucional es la siguiente:

Somos un colegio caracterizado por una educación multilingüe y personalizada enfocado hacia la calidad y el mejoramiento continuo, que cuenta con el mejor talento humano y los recursos adecuados, para formar líderes con alto sentido de responsabilidad social, calidad humana y académica, que están en capacidad de responder a los entornos cambiantes y afrontar los retos y exigencias del mundo actual, asumiendo el aprendizaje, la convivencia, la sostenibilidad con ética y compromiso (Colegio Bilingüe Hispanoamericano, 2023, pág. 3).

A su vez, se ha fijado la siguiente visión:

En el año 2024, seremos una institución reconocida por cumplir con estándares internacionales, caracterizada por alta calidad en su talento humano, recursos de aprendizaje y liderazgo en proyectos de responsabilidad social, que a través del desarrollo cultural, personal y social de la comunidad educativa y de una educación basada en currículos interdisciplinarios e interculturales, forma personas integras e integrales, capaces de actuar responsablemente para servir y transformar (Colegio Bilingüe Hispanoamericano, 2023, pág. 3).

Se puede observar que para esta institución es importante la formación en responsabilidad social, lo que implica una cultura de sostenibilidad. Este énfasis se alinea con el propósito de emplear un sistema solar fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica. La infraestructura física del colegio está integrada por diferentes bloques, como se explicará durante la evaluación técnica del proyecto.

4. Diseño metodológico

Dado que los objetivos del trabajo incluyen tanto la evaluación de variables numéricas como de categorías de análisis, se recurre al método mixto; este método busca aprovechar las fortalezas de ambos enfoques, el cuantitativo y el cualitativo, con lo que permite obtener una comprensión más completa y profunda del fenómeno estudiado (Muñoz y otros, 2019). A continuación se describen los procesos que se seguirán para desarrollar los objetivos específicos definidos previamente.

4.1. Factibilidad técnica

De acuerdo con Tushar y otros (2021) Existen varios pasos que se pueden seguir para viabilizar un proyecto de energía para cualquier espacio, como son la identificación de las necesidades energéticas de ese espacio, evaluar las opciones de energía renovable de acuerdo con las características del espacio específico en donde se vaya a instalar, evaluar la financiación del proyecto, así como sus requerimientos y costos de operación.

La identificación de las necesidades energéticas implica comprender el uso actual de energía del espacio, así como las áreas donde se puede mejorar la eficiencia o ampliar la capacidad instalada disponible (Moreno y otros, 2022). Ahora bien, existe una variedad de opciones de energía renovable disponibles, incluyendo energía solar, energía eólica, energía geotérmica e hidroeléctrica. Es importante evaluar las opciones de energía renovable que sean apropiadas para el espacio y que puedan satisfacer sus necesidades energéticas (Tushar y otros, 2021). En este caso se seleccionó la energía solar dado que en el colegio no se dispone de corrientes de aire suficientes para mover las hélices de un sistema de energía eólica, o corrientes de agua para mover turbinas

para generación hidroeléctrica; así mismo, en el mercado existen pocas ofertas de soluciones de energía geotérmica, mientras que sí se cuenta con la radiación natural para instalar paneles solares.

Los proyectos de energía renovable pueden ser costosos, por lo que es importante obtener financiamiento para el proyecto; existe una variedad de fuentes de financiamiento disponibles, incluyendo préstamos gubernamentales, subvenciones y créditos fiscales, así como los recursos propios del propietario del proyecto (Esparza, 2023). Una vez que el proyecto esté implementado, es necesario operarlo y mantenerlo adecuadamente. Esto incluye realizar el mantenimiento regular del equipo de energía renovable y monitorear el uso de energía del espacio para asegurarse de que el proyecto está funcionando de manera eficiente. Al seguir los pasos descritos, se puede viabilizar un proyecto de energía para cualquier espacio.

Con el fin de evaluar la viabilidad técnica del sistema propuesto, se compararán las demandas energéticas de la institución con la capacidad potencial de paneles solares instalados en el terreno. Este proceso implica determinar la carga energética consumida por la entidad y examinar la capacidad de generación necesaria por parte de los paneles para satisfacer la demanda actual del Colegio Bilingüe Hispanoamericano El Colegio Bilingüe Hispanoamericano para su operación.

La manera más precisa de determinar esta carga implica extraer directamente la información de la factura de energía que actualmente recibe la institución educativa de la empresa Codensa, proveedora actual de electricidad a través de la red pública de interconexión. En dicha factura, se detallan la potencia instalada y el consumo de los últimos meses, datos esenciales para determinar la capacidad que debe garantizarse con la configuración que tenga el proyecto de energía solar

Para determinar la capacidad de suministro de energía solar, se considerarán dos variables clave. En primer lugar, se analizará la radiación solar en la ubicación específica del colegio, en la ciudad de Bogotá, basándose en la información oficial proporcionada por el IDEAM. Por otro lado, se valora la capacidad de los paneles para absorber energía, así como los requerimientos de los acumuladores que se consiguen en el mercado.

. La capacidad de absorción de energía solar por metro cuadrado será el criterio fundamental para determinar tanto la cantidad de paneles solares necesarios como el área requerida para generar la potencia equivalente a la suministrada por el proveedor local de servicios de energía eléctrica.

A su vez, en caso de que se vayan a utilizar, la capacidad de almacenamiento de los acumuladores o baterías determina su cantidad, con el propósito de garantizar la disponibilidad de energía eléctrica suficiente para cubrir la operación de la institución, inclusive en temporadas de baja radiación solar y en horario nocturno.

Al concluir esta fase inicial, se obtendrán las especificaciones técnicas fundamentales necesarias para la instalación de energía solar en el colegio. Este proceso se caracteriza principalmente por un enfoque cuantitativo para recabar la información necesaria.

4.2. Viabilidad económica

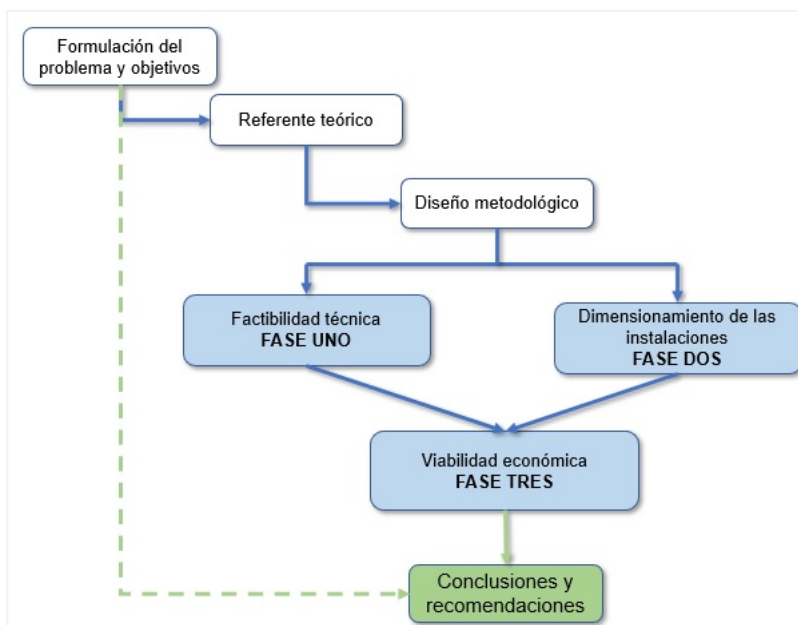
Una vez que la estación de energía solar esté instalada y operativa, el Colegio Bilingüe Hispanoamericano dejará de pagar o, al menos, verá reducido el valor que actualmente debe cancelarle a la empresa Codensa por la energía suministrada. No obstante, antes de que este escenario se materialice, la entidad debe realizar las inversiones indispensables para adquirir los equipos, llevar a cabo su instalación y ponerlos en funcionamiento. Por lo tanto, la valoración

económica de viabilidad se debe sustentar en comparar la amortización contable de la inversión inicial y la reducción derivada de la energía eléctrica que se deja de pagar.

La incidencia contable de la depreciación en la inversión tiene repercusiones tanto en el estado de resultados como en el estado de situación financiera de la entidad durante un periodo determinado (Titman & Martin, 2019). Al proyectar estos valores, se posibilita determinar la tasa interna de retorno del proyecto y de su valor presente neto, ambos criterios esenciales para determinar la viabilidad económica (Aponte et al., 2017). Esta etapa se caracteriza por ser del todo cuantitativa, y las fuentes primarias de información son los proveedores de los equipos empleados en este tipo de obras.

La ejecución de esas fases del proyecto de investigación se representa de forma visual en la Figura 5.

Figura 5. Secuencia del proceso de investigación



Fuente: Elaboración propia

Como se observa, las especificaciones definidas de los equipos en la fase 1 son la base para el desarrollo de las otras tres fases del trabajo. A su vez, las conclusiones incluirán aspectos ambientales, económicos y técnicos.

5. Presentación y análisis de resultados

5.1. Prefactibilidad técnica

Como punto de partida para el análisis técnico se estudia la información de la instalación actual de suministro de energía eléctrica que el Colegio está recibiendo de la firma Codensa; el sistema eléctrico de la institución se encuentra conectado a la red de la empresa por medio de dos redes, cada una con un contador independiente.

En la Figura 6 se muestran los dos recibos de la empresa proveedora.

Figura 6. Facturas de Codensa



Nota: elaboración propia.

Una de las acometidas se localiza en la carrera 67 y se identifica como la cuenta N° 0760268-5, que tiene una potencia instalada de 67 kW; la otra acometida está localizada en la carrera 65, su número de cuenta es N° 1778937-0 y su potencia instalada es de 33 kW. Ambas acometidas son clasificadas por Codensa como de servicio comercial.

Una vista aérea de las instalaciones del Colegio se presenta en la Figura 7.

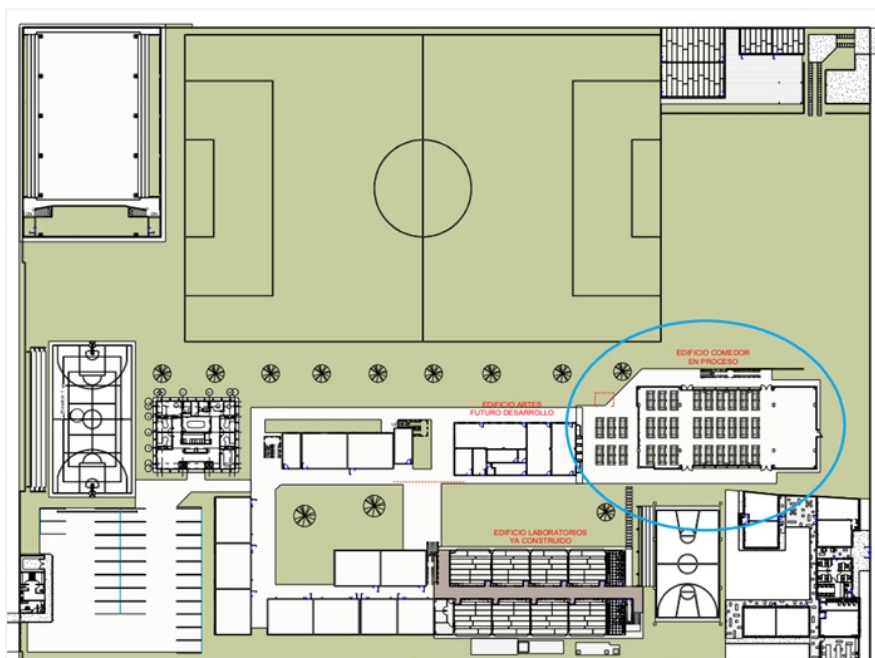
Figura 7. Vista aérea del colegio



Nota: elaboración propia

El colegio proyecta realizar la ampliación de dos áreas; la primera corresponde al comedor, conocido como edificio Valencia, como se observa en el plano de la Figura 8.

Figura 8. Construcción del restaurante



Nota: elaboración propia

La configuración interna del restaurante se presenta en la Figura 9.

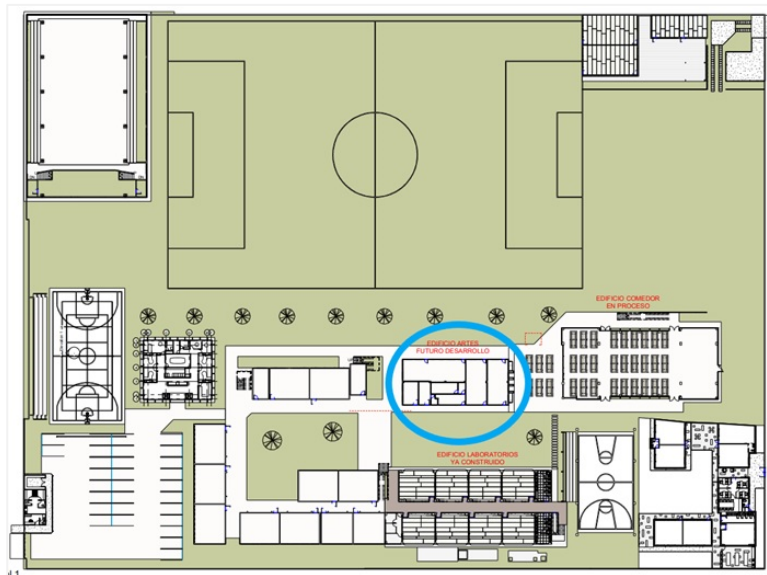
Figura 9. Interior del restaurante



Nota: elaboración propia

La segunda área de intervención es un área de salones de clase, conocido como edificio Asturias, cuyo plano de localización aparece en la Figura 10.

Figura 10. Remodelación Asturias



Nota: elaboración propia

Las instalaciones constan de diversos módulos, como muestra la

Figura 11; cada módulo tiene el área que se describe en la Tabla 5.

Figura 11. Áreas que integran la construcción del colegio

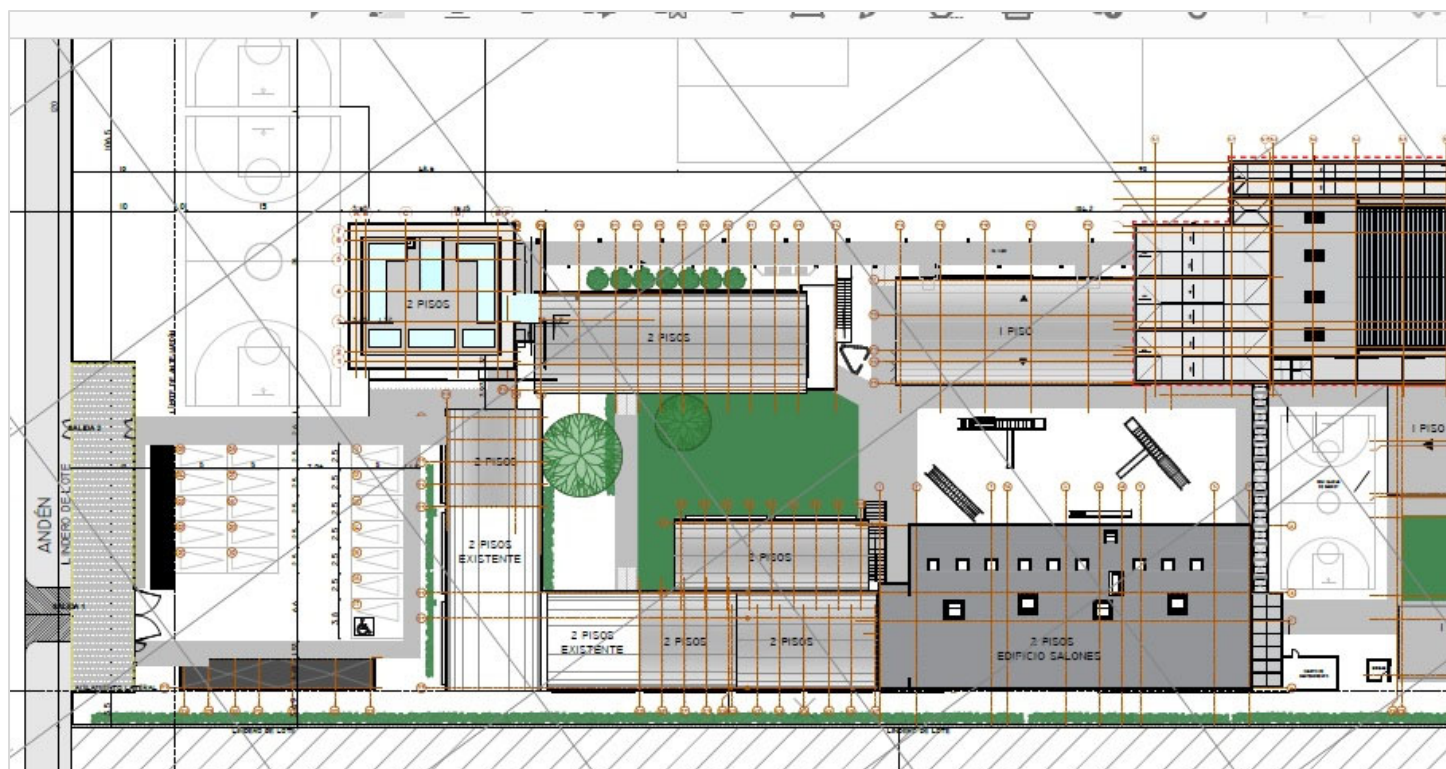


Tabla 5. Áreas de cada módulo después de la ampliación

Módulo	Área (m ²)
Módulo 1	481,28
Módulo 2	345,94
Módulo 3	1206,21
Módulo 4	509,21
Módulo 5	329,99
Módulo 6	1369,26
Módulo 7	240,98
Módulo 8	513,97
Módulo 9	53,74
Cuarto de reciclaje	0
Depósito	4,96
Cuanto de mantenimiento	15,33
Módulo 10 (administración)	384,52
Total	5.455,39

Nota: elaboración propia

Así mismo, la Figura 12 muestra una vista exterior de la situación del edificio Asturias.

Figura 12. Fachada actual del edificio Asturias

Nota: elaboración propia

Con el propósito de establecer la potencia que consumirá el colegio cuando se realice la ampliación, se calculó tanto la potencia nominal como la potencia diversificada de todas las instalaciones, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Cálculo de la potencia

Tablero	Potencia (kVA)	Potencia diversificada	Corriente nominal (A)		
			R	S	T
UPS	3	2,25	25	0	0
Iluminación	7,77	3,88	17,4	32,1	15,2
TAE - 1	8,99	6,74	25	25	25
TAE - 2	0,11	0,08	-	-	0,9
TAE - 3	0,11	0,08	0,9	-	-
Comedor	31,21	16,08	94,1	80,1	85,9
Cocina	85,54	45,03	242,2	234,8	237
T-GEN	45,03	-	125	125	125
Medidor	54,03	-	150	150	150
Totales	235,79	74,14	679,6	647	639

Nota: elaboración propia

En este cuadro, la potencia diversificada corresponde a la máxima potencia que puede ser requerida por un circuito a un grupo de dispositivos. Esta potencia es menor que la suma de las potencias individuales de los dispositivos, ya que es poco probable que todos los dispositivos estén funcionando al máximo al mismo tiempo (Amador, 2020). El factor de diversidad es la relación entre la potencia diversificada y la suma de las potencias individuales de los dispositivos.

Por otro lado, el colegio desea contar con una subestación capaz de suministrar la carga total que requieren sus instalaciones, de manera que pueda conectarse al sistema interconectado, en caso de necesidad, para poder así garantizar su operación normal. Esa decisión implica la construcción y dotación de esa subestación, la cual debe ser aprobada por la compañía Enel.

Los cálculos para la correspondiente solicitud incluyen un margen de seguridad con respecto a la potencia diversificada que se mostró en la Tabla 6; ese margen de seguridad busca cubrir las potenciales necesidades de futuras ampliaciones adicionales de las instalaciones del colegio y se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Cuadro de cargas

Bodega/Local	Carga (kVA)
Cargas asociadas al medidor existente en la carrera 65, cuenta N° 1778937-0	4,5
Cargas asociadas al medidor existente en la carrera 67, cuenta N° 0760268-5	23,8
Área en ampliación Cocina – Comedor	56,8
Ampliaciones futuras (bombas, ampliación en equipamiento tecnológico, etc.)	22,4
Total (kVA)	107,5

Nota: elaboración propia

En el trámite que se presente a Enel debe tenerse en cuenta que esa empresa establece unos tamaños estandarizados de transformadores, por lo que no es factible instalar un transformador y la correspondiente subestación para los 107.5 kVA que arrojó el cálculo de la Tabla 7; el tamaño inmediatamente superior que ofrece Enel es de 112.5 kVA y luego uno de 150 kVA.

Se procedió entonces a comparar los costos de esas dos opciones de transformadores y subestaciones para la red de baja tensión del colegio, cuyos resultados se muestran en la Tabla 8 y en la Figura 13.

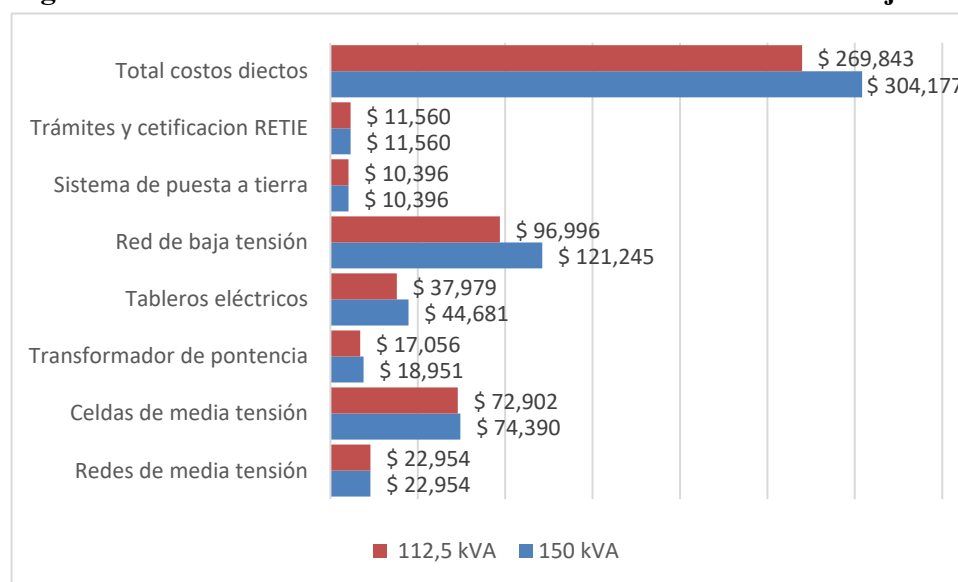
Tabla 8. Alternativas de red de baja tensión

	Descripción	150 kVA	112,5 kVA
1	Redes de media tensión	\$ 22'953.978	\$ 22'953.978
2	Celdas de media tensión	\$ 74'390.000	\$ 72'902.200
3	Transformador de potencia	\$ 18'950.913	\$ 17'055.822
4	Tableros eléctricos	\$ 44'680.688	\$ 37'978.585
5	Red de baja tensión	\$ 121'245.036	\$ 96'996.029

	Descripción	150 kVA	112,5 kVA
6	Sistema de puesta a tierra	\$ 10'395.890	\$ 10'395.890
7	Trámites y certificación RETIE	\$ 11'560.000	\$ 11'560.000
	Costos directos totales	\$ 304'176.505	\$ 269'842.504
	Administración	\$ 24'334.120	\$ 21'587.400
	Imprevistos	\$ 6'083.530	\$ 5'396.850
	Utilidad	\$ 30'417.651	\$ 26'984.250
	IVA	\$ 5'779.354	\$ 5'127.008
	Valor total	\$ 370'791.160	\$ 328'f938.012

Nota: elaboración propia

Figura 13. Costos directos de las dos alternativas de la red de baja tensión (\$miles)



Nota: elaboración propia

Para la estimación de estos costos se acudió a la asesoría de Dicta S.A.S., una firma especializada en este tipo de instalaciones, y los resultados indican que la opción de 112,5 kVA permite una reducción de costos de cercad \$42 millones, por lo que el Colegio decidió emplear esa alternativa.

Con base en la anterior información se puede establecer que el sistema de energía solar debe diseñarse para una capacidad instalada de al menos 74.14 kVA de potencia diversificada y

que, para efectos del análisis económico global del proyecto, se debe tener en cuenta el costo de la red de baja tensión de 112.5 kVA.

5.2. Irradiación solar

La radiación solar es la potencia de la radiación solar por unidad de área, es decir, es la magnitud que mide la cantidad de energía solar incidente en una superficie durante un tiempo determinado (Corral, 2020). Se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2) en unidades del sistema internacional.

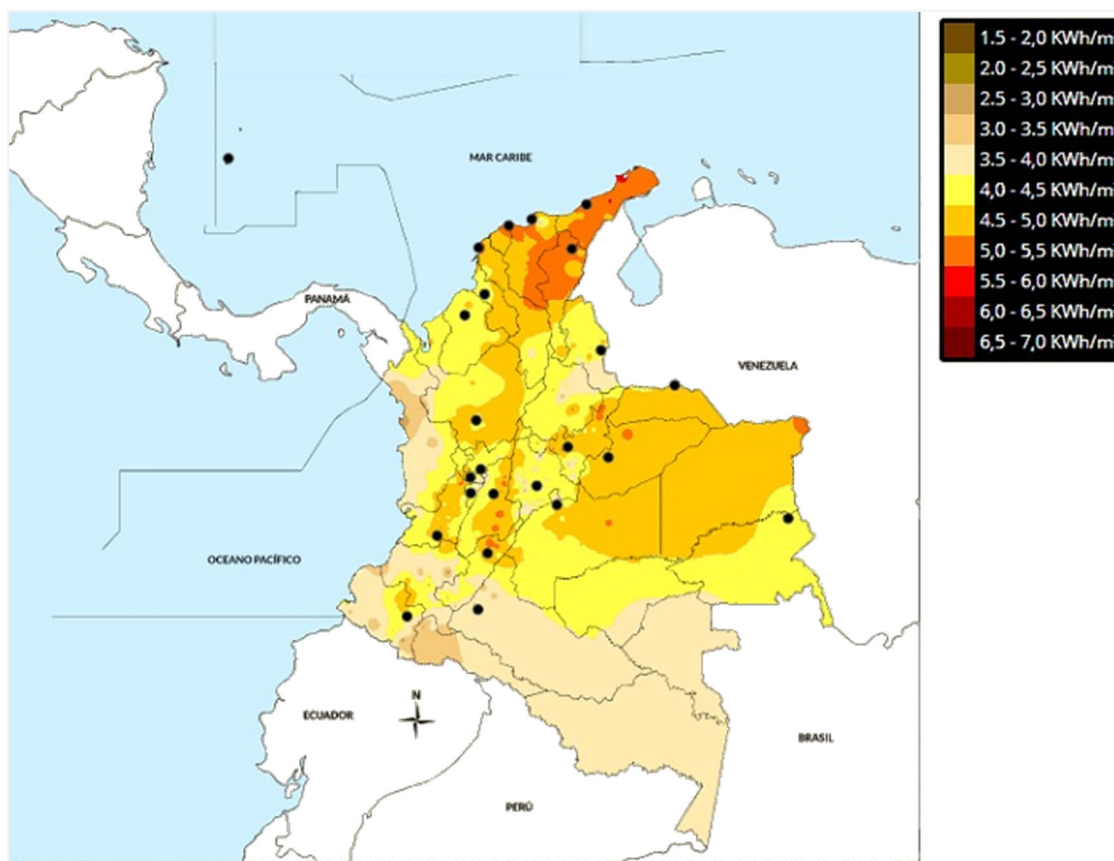
La radiación solar es una variable importante en la meteorología, la climatología y la energía solar. En meteorología, se utiliza para calcular la temperatura del aire, la evaporación y la precipitación. En climatología, se utiliza para estudiar el clima de la Tierra. En energía solar, se utiliza para estimar la cantidad de energía solar que se puede generar con paneles solares (Benavides & Manso, 2021).

La radiación solar varía en función de la hora del día, la latitud, la época del año y las condiciones meteorológicas. En general, la irradiación solar es mayor durante el día que durante la noche, mayor en los trópicos que en los polos y mayor en verano que en invierno. La presencia de nubes también puede reducir la irradiación solar.

La irradiación solar es una fuente de energía renovable que se puede utilizar para generar electricidad, calentar agua y proporcionar iluminación. La energía solar es una fuente de energía limpia y sostenible que tiene el potencial de reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles.

El IDEAM (2021) publica el mapa con las cifras de radiación solar, cuyo comportamiento se observa en la Figura 14.

Figura 14. Media diaria del nivel de radiación solar



Nota: IDEAM (2021)

Puede verse en este mapa que en Cundinamarca la radiación solar diaria, medida en KWh/m², tiene un promedio que oscila entre 4.0 y 4.5.

Para efectos del cálculo del área de paneles requerida, se toma un factor de potencia de 0.9; este factor se define como la relación entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA) y se toma 0.9 debido a que en el colegio existen pocos aparatos que utilicen motores que justifiquen el empleo de un factor de potencia más bajo, dado que la mayoría de dispositivos son de alumbrado u otros sistemas basados en resistencias eléctricas o similares (Almánzar y otros, 2020).

Con ese factor de potencia, el cálculo es el siguiente:

$$\text{kWH} = 74.14 \text{ kVA} \times 0.9 = 66.72 \text{ kWH}$$



A su vez, el área de paneles resulta de dividir esa cifra por la radiación que se presenta en Bogotá, es decir, un mínimo de 4 KWh/m², como se indicó previamente. Eso da un área de 16.68 m². En este cálculo asume que los paneles tienen una eficiencia energética de 100%, lo cual en la práctica no es posible.

Para validar este cálculo se debe tener en cuenta que el colegio también decidió no instalar un sistema de baterías para acumular la energía eléctrica que genera el sistema de paneles, lo que quiere decir que los paneles deben ser suficientes para que puedan suministrar la carga instantánea que demanda el colegio.

5.3. Equipos

En el mercado existen dos alternativas de paneles, cuyas características se presentan a continuación.

Tabla 9. Alternativas de paneles para el sistema fotovoltaico

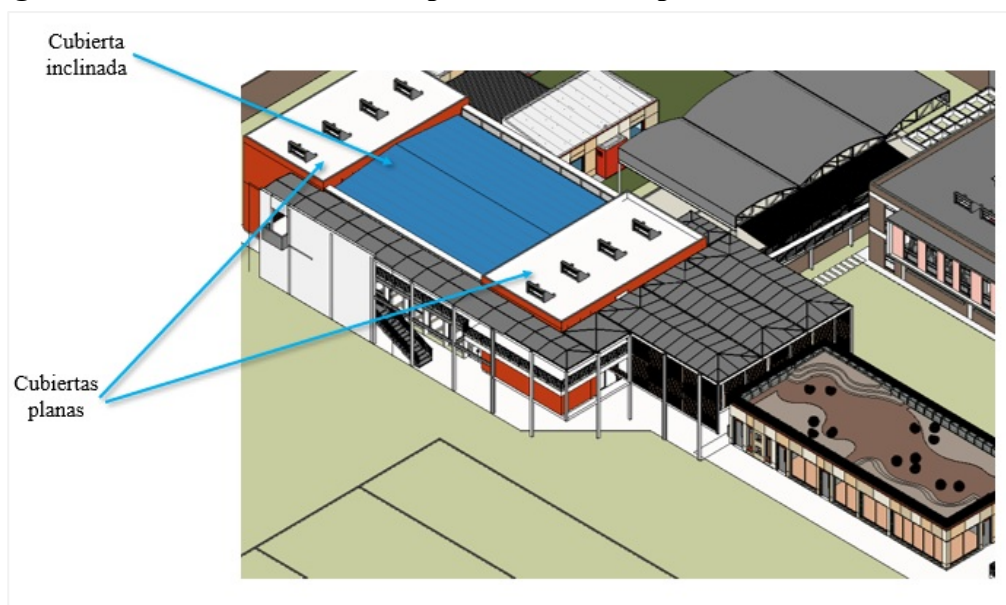
Característica	Tradicional	Ultraligero
Dimensiones (mm)	2115 x 1050 x 40	1979 x 1005 x 35
Grados de inclinación	5°	Cubierta
Peso (kg/m ²)	14	3.5
Material	Mono silicio	Mono silicio
Potencia	460W	375W
Configuración		
Costo total (\$)	\$169'833.347	\$161'488.407
Costo por área (\$/m ²)	\$805.279	\$757.735
Costo por W (\$/W)	\$3.886	\$4.486

Nota: elaboración propia

Por efectos de costos, la opción de paneles tradicionales es la más favorable, y ofrece una potencia unitaria de 460W. Sin embargo, existe una restricción que se debe considerar y es la distancia entre los paneles solares que se instalen y la subestación de energía que se instalará en el colegio; esa distancia debe ser la mínima posible con el propósito de reducir los costos de cableado. Se seleccionó entonces el edificio con mejores condiciones de cubiertas que se encuentra cerca de la subestación, el cual se muestra en la Figura 15.

Como se observa, el edificio tiene dos tipos de cubierta, dos cubiertas planas y una cubierta inclinada, a dos aguas. Las cubiertas planas son de concreto, por lo que pueden resistir paneles más pesados y tienen un área total de 234 m²; entre tanto, la cubierta inclinada está hecha en material plástico, por lo que pueden soportar solamente el peso de los paneles ultraligeros. Esta cubierta tiene un área de 226 m².

Figura 15. Edificio seleccionado para instalar los paneles solares



Nota: elaboración propia

Teniendo en cuenta las dimensiones de cada panel, cada panel tradicional tiene un área de 2.22075 m², y en las cubiertas planas se pueden instalar en total 105 paneles tradicionales, capaces de generar un total de 48.300 W, dado que cada uno puede generar 460W, como se mostró en la Tabla 9. A su vez, cada panel ultraligero tiene un área de 1,988895 m², y en la cubierta inclinada se pueden instalar 113 de esos paneles, que pueden generar 42.375 W, dada la potencia unitaria que muestra en la misma Tabla 9.

En la Tabla 10 se presenta el cálculo del costo de las dos opciones de paneles.

Tabla 10. Costos de los paneles tradicionales y de los paneles ultraligeros

	Unidad	Tradicionales	Ultralivianos
Largo	m	2,115	1,979
Ancho	m	1,05	1,005
Área unitaria	m ²	2,22075	1,988895
Área disponible	m ²	234	226
Cantidad a instalar	#	105	113
Potencia unitaria	W	460	375
Potencia total	W	48.300	42.375
Costo por área	\$/ m ²	805.279	757.735
Coto total	\$	\$ 187'773.951	\$ 170'297.255
Costo por W	\$/W	3.887,66	4.018,81

Nota: elaboración propia

Los precios de estos equipos se establecieron en el segundo semestre de 2021, al igual que los demás costos, al igual que las tarifas de energía y demás información necesaria para la evaluación económica y financiera del proyecto. Todo esto se hizo con la intención de garantizar que la comparación sea válida, por ser datos obtenidos de forma simultánea.

Además de lo anterior, debe tenerse en cuenta que cada tipo de paneles utiliza un sistema de conexión diferente. El total de la potencia máxima que son capaces de suministrar todos los 218 paneles es de 90.675 W; si se tiene en cuenta que la potencia diversificada es de 74.14 W como se

muestra en la Tabla 6, no se necesita instalar todos los 218 paneles. Se recomienda entonces instalar solamente los 105 paneles tradicionales, dado que, a pesar de que tienen un costo total superior, generan un costo más bajo por cada Watio que generan, como se observa en la última fila de la Tabla 10. Con esta decisión se busca que la rentabilidad del proyecto a largo plazo sea más alta que si se utilizaran los paneles ultraligeros.

5.4. Prefactibilidad financiera

Para establecer la prefactibilidad económica se deben comparar tanto el valor presente neto como la tasa interna de las dos alternativas con las que cuenta la institución educativa, como son el sistema solar fotovoltaico y la subestación eléctrica. Esas cifras se calculan y se comparan en esta sección.

5.4.1. Alternativa de sistema solar fotovoltaico.

El sistema solar fotovoltaico se caracteriza por una alta inversión inicial y un mínimo costo de operación, dado que no se necesita pagarle a un tercero por el suministro de la energía solar. Como se observó en la Tabla 10, los paneles solares tradicionales tienen un costo total inicial de \$187.773.951 y generarán 48.300W.

5.4.2. Alternativa de subestación eléctrica

El costo del kWh del servicio suministrado por Codensa para el colegio es de \$955.4833 en agosto de 2023, de acuerdo con el tarifario publicado por esta empresa (Codensa, 2023). Es decir que si esa potencia de 48.300W fuera adquirida a través de Codensa, el costo mensual sería de \$3'081.049, es decir \$36.972.583 cada año. Eso equivale a decir que el costo de ese servicio en 10 años sería de \$369'725.832, que equivale a 1.96 veces el costo de los paneles solares.

Otra forma de analizarlo es que la alternativa de paneles solares resulta económicamente rentable a partir del año 5.07 de vida útil, dado que cada año de facturación de energía equivale al 19.6% del costo de los paneles solares.

5.4.3. Análisis de estrés financiero

Con el fin de establecer la sensibilidad del proyecto de paneles de energía solar a condiciones económicas cambiantes, se realiza en este apartado un análisis de estrés financiero bajo dos escenarios: uno moderado o favorable y otro ácido.

Para el escenario favorable se asume que la economía tenga un comportamiento tal que el costo de las tarifas de energía eléctrica presente una reducción de 20% con respecto a la tarifa actual y que lo mismo suceda con el costo de mantenimiento de los paneles solares. Los costos asociados a ese escenario favorable se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Costos en el escenario favorable

Concepto	Costo inicial	Mensualidad	Costo en 10 años
Paneles solares	\$187'773.951	\$320.000	\$ 226'173.951
Estación de 125 kVA	\$109'646.004	\$ 2'957.807	\$464'582.849
Diferencia			\$ 238'408.898

Nota: elaboración propia

En ambos escenarios se mantienen fijos los costos iniciales de suministro de los paneles y de la subestación, dado que lo que se quiere evaluar es el efecto de eventuales variaciones de los costos en el futuro y esos costos iniciales son una cifra cierta en la actualidad.

Para la construcción de este escenario se tuvo en cuenta que la normatividad vigente exige que la instalación cuente de todas maneras con una subestación eléctrica capaz de abastecer de energía interconectada al colegio. Se tomó entonces el valor proporcional de esa subestación como el costo inicial para la comparación, dada la capacidad de suministro de los paneles solares. A ese costo de la subestación se le agregó el costo mensual de la tarifa de energía en cada escenario.

Como se observa en la Tabla 11, en el escenario favorable la opción de paneles solares tiene a 10 años un costo de \$ 238'408.898 menos que la opción de energía eléctrica interconectada. Esta diferencia equivale a 51.3% del costo de la opción de seguir pagando el servicio a la empresa Codensa.

Los costos del escenario ácido se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Costos en el escenario ácido

Concepto	Costo inicial	Mensualidad	Costo en 10 años
Paneles solares	\$187'773.951	\$400.000	\$235'773.951
Estación de 125 kVA	\$109'646.004	\$3'697.259	\$553'317.060
Diferencia			\$317'543.109

Nota: elaboración propia

En los dos escenarios el costo mensual de los paneles solares corresponde al mantenimiento de los equipos e instalaciones, que pasa a estar a cargo del colegio, mientras que en el caso de la energía interconectada está a cargo de Codensa y se cobra a través de la tarifa. Esa tarifa mensual de mantenimiento fue suministrada por la empresa DICTA S.A.S., que suministró información técnica sobre el proyecto, como se observa en el Anexo.

Como se observa en la Tabla 12, en el escenario ácido la opción de paneles solares tiene un costo de \$317'543.109 menos que la opción de continuar conectado el colegio a la red de Codensa. Como se observa, la diferencia en los dos escenarios se debe tanto a la menor inversión de la instalación inicial de los paneles, como al hecho de que esta alternativa requiere un costo mínimo de mantenimiento, mientras que la tarifa mensual de energía eléctrica es muy superior.

5.4.4. Tasa interna de retorno y valor presente neto

Para calcular la tasa interna de retorno del escenario ácido se toman los datos de la Tabla 13.

Tabla 13. Cifras para la tasa interna de retorno en el escenario ácido

Año	Inversión inicial	Mantenimiento	Reducción de costo energía	Inversión total
0	\$ 187'773,951			-\$ 187'773,951
1		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106
2		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106
3		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106
4		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106
5		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106
6		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106
7		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106
8		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106
9		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106
10		\$ 4'800.000	\$ 44'367.106	\$ 39'567.106

Nota: elaboración propia

Con estas cifras, la tasa interna de retorno es de 16.49% en el escenario ácido. El valor presente neto en ese escenario es de \$ 9'394.954, teniendo en cuenta una tasa de descuento de 15% que es el promedio de la tasa que ofrece el sector financiero en la actualidad por depósitos a término, que es la alternativa que tiene el Colegio si no desarrolla este proyecto.

En el escenario favorable, las cifras son las mostradas en la Tabla 14.

Tabla 14. Cifras para la tasa interna de retorno en el escenario favorable

Año	Inversión inicial	Mantenimiento	Reducción de costo energía	Inversión total
0	\$ 187'773.951			-\$ 187'773.951
1		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684
2		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684
3		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684
4		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684
5		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684
6		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684
7		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684
8		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684
9		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684

10		\$ 3'840.000	\$ 35'493.684	\$ 31'653.684
----	--	--------------	---------------	---------------

Nota: elaboración propia

Esas cifras permiten establecer que en el escenario favorable la tasa interna de retorno del proyecto es de 10.83%. En este caso, el valor presente neto es negativo, con un valor de -\$ 25'140.376. Esta diferencia se debe a que el escenario favorable hace que el ahorro mensual de energía sea menor que en el escenario ácido.

5.5. Análisis económico

En este apartado se presenta el análisis de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que tiene el proyecto y también se analiza la tasa de oportunidad.

5.5.1. Fortalezas del proyecto

El proyecto se caracteriza por una alta rentabilidad en el mediano y largo plazo, debido al ahorro en la tarifa mensual de energía que el colegio paga y entrará a pagar como consecuencia de las áreas que se ampliaron dentro de sus instalaciones. Así mismo, constituye un atractivo desde el punto de vista académico, dadas las políticas oficiales para promover el uso de energías renovables y para preparar a las actuales y futuras generaciones en este tipo de educación sostenible.

5.5.2. Debilidades del proyecto

La principal debilidad del proyecto radica en la necesidad de hacer una inversión inicial significativa para la instalación de los paneles solares y su correspondiente cableado y puesta en marcha.

5.5.3. Oportunidades del proyecto

En la actualidad existe una significativa oferta de empresas que ofrecen tanto los insumos como los servicios de instalación y mantenimiento de este tipo de paneles, lo cual le puede permitir al Colegio obtener precios más favorables de los que existían en el mercado en años recientes. Así mismo, el Colegio cuenta con los recursos propios necesarios para hacer la inversión, por lo cual se evita incurrir en costos de financiación.

5.5.4. Amenazas para el proyecto

En el futuro cercano no se vislumbran amenazas importantes para el proyecto. Sin embargo, existe una mínima posibilidad de que los niveles de radiación solar que se presentan en la ciudad de Bogotá decrezcan de sus niveles históricos, lo cual podría hacer que la instalación no sea capaz de suministrar toda la potencia para la cual se diseñó. También se recomienda tomar las medidas necesarias para reducir el riesgo de hurto de los paneles físicos, dado su alto costo unitario.

5.5.5. Tasa de oportunidad

De acuerdo con los resultados obtenidos en la comparación de escenarios que se realizó para el análisis de estrés del proyecto, el Colegio tiene la oportunidad de obtener en diez años mediante el desarrollo de este proyecto una reducción mínima de \$238'408.898 y máxima de \$317'543.109 en los costos de energía eléctrica mediante una inversión inicial de \$187'773.951. Traída esa cifra a valor presente, la oportunidad es de \$ 9'394.954, que corresponde al valor presente neto de escenario ácido. Esa cifra corresponde a la diferencia que puede obtener el colegio en comparación con invertir el mismo dinero en un certificado de depósito a término, con una tasa anual de 15%.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

El desarrollo de los objetivos de este trabajo permitió identificar las siguientes conclusiones frente a cada uno de los objetivos específicos. En primer lugar, la evaluación preliminar de la factibilidad técnica del sistema fotovoltaico requerido para suministrar la energía eléctrica que demanda la institución educativa, permitió identificar las especificaciones de los equipos requeridos. El análisis realizado permitió establecer que la ampliación de las instalaciones del colegio hace necesario ampliar la actual subestación de baja tensión para asegurar la conectividad del colegio a la red interconectada de distribución de energía con capacidad de 112.5 kVA, de acuerdo con las normas legales vigentes. Así mismo se pudo establecer que las condiciones de irradiación solar que se presentan en Bogotá y las características físicas de las instalaciones de la institución educativa permiten emplear paneles solares tanto tradicionales como ultralivianos.

Al combinar ese análisis técnico con el análisis económico, se estableció que los paneles tradicionales, a pesar de requerir una inversión mayor, permiten un costo más bajo por Watio generado, lo que hizo que esta sea la opción recomendada. Esta alternativa resulta rentable debido a que el valor de facturación del servicio de energía eléctrica que suministra en la actualidad Codensa al colegio equivale al 19.6% de la inversión que debe realizarse en la instalación del sistema de energía solar. El análisis de estrés financiero permite concluir que tanto en el escenario favorable como en el escenario ácido la opción de paneles solares resulta más conveniente.

La tasa interna de retorno del proyecto puede variar entre 10.83% y 15%, dependiendo de las condiciones reales que se presenten durante los 10 años de vida del proyecto, mientras que su valor presente neto puede llegar hasta \$9'394.954. El proyecto se caracteriza por su alta rentabilidad, aunque requiere de una inversión inicial considerable, y su viabilidad se debe, en

parte, a la considerable oferta de empresas que en la actualidad ofrecen este tipo de desarrollos y más aún a que existen las condiciones de irradiación necesarias para que los paneles sean capaces de generar toda la energía prevista.

De otro lado es importante mencionar que el proyecto no contempla la inversión de terceros ya que sería financiado 100% por el establecimiento educativo.

6.2. Recomendaciones

La recomendación central para la institución educativa es que adelante los diseños de ingeniería de detalle para realizar la factibilidad definitiva del proyecto, dados los resultados favorables del presente estudio de prefactibilidad. Lo anterior en consideración de que, además de las ventajas económicas y financieras, la institución tiene en este proyecto la oportunidad de ser pionera en instalar este sistema de suministro de energía en instituciones académicas. Dado el creciente interés por los asuntos relacionados con la sostenibilidad en el país, esta decisión puede ser bien recibida por los estudiantes, los padres de familia y la comunidad educativa en general, lo que se sumará a los beneficios económicos o incluso puede potenciarlos.

6.3. Limitaciones de la investigación

El desarrollo del trabajo no presentó limitaciones importantes que se constituyeran en un obstáculo significativo para el logro de los objetivos previstos. Hubo, sin embargo, un desafío que logró resolverse adecuadamente como fue lograr que tres personas diferentes, ocupadas cada una en sus actividades personales y profesionales, concurrieran y ajustaran sus agendas para avanzar de la manera que el proyecto lo exigió. El compromiso mutuo fue la clave en este aspecto.

6.4. Proyecciones e implicaciones

Desde el punto de vista de futuras investigaciones, se plantean los siguientes interrogantes: ¿de qué forma las diferentes asignaturas que hacen parte del currículo académico (especialmente física, química, matemáticas y ciencias sociales) de una institución educativa de primaria y bachillerato pueden aprovechar las ventajas de que la institución académica cuente con un sistema de suministro de energía solar propio?, ¿hasta qué punto los proyectos individuales de empresas y organizaciones en general que utilicen sistemas de energía solar pueden impactar la sostenibilidad de la autonomía energética de Colombia?

7. Referencias bibliográficas

- Agyekum, E. (2021). Techno-economic comparative analysis of solar photovoltaic power systems with and without storage systems in three different climatic regions, Ghana. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 43, 882-908.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2020). *Mejoremos nuestro medio ambiente para mejorar nuestra salud*, OMS. Obtenido de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/recomendaciones-para-mejorar-el-medio-ambiente-y-la-salud-segun-la-oms>
- Alcívar, Y., Domínguez, L., Arellano, M., & Rúaes, I. (2022). Desarrollo Sostenible y Responsabilidad Social Corporativa. *Domino de las Ciencias*, 8(3), 867-880.
- Almánzar, I., Mejía, M., Blanco, M., & Vicini, R. (2020). Compensación de reactivos en instalaciones de sistemas solares fotovoltaicos penalizadas por bajo factor de potencia. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 3(2), 39-63.
- Amador, L. (2020). Energía: Hacia un cambio de modelo energético. *Anuario Económico de Córdoba 2019*, 82-84.
- Aponte, R., Muñoz, F., & Álzate, L. (2017). La evaluación financiera de proyectos y su aporte en la generación de valor corporativo. *Ciencia y poder aéreo*, 12(1), 144-155.
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Constitución Política*. Imprenta Nacional.
- Ben, M., & Ben, S. (2016). The role of renewable energy and agriculture in reducing CO2 emissions: Evidence for North Africa countries. *Ecological Indicators*, 74, 295-301.
- Benavides, L., & Manso, M. (2021). Arquitectura neuronal para predicción de radiación solar en base a variables meteorológicas. *Proceedings 3rd Congress in Geomatics Engineering*, 97-101.

Cao, Y., Liu, C., Huang, Y., Wang, T., Sun, C., & Yuan, Y. (2017). Parallel algorithms for islanded microgrid with photovoltaic and energy storage systems planning optimization problem: Material selection and quantity demand optimization. *Computer Physics Communications*, 211, 45-53.

Codensa. (2023). *Tarifas de energía eléctrica (\$/kwh) reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) Agosto de 2023*. Codensa.

Colegio Bilingüe Hispanoamericano. (2023). *Nuestro Colegio*. Obtenido de hispanoamericano.edu.co: Obtenido de <https://hispanoamericano.edu.co/nosotros/>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (1996). *Resolución 084*. Bogotá: Por la cual se reglamentan las actividades del Autogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Congreso de Colombia. (1994). *Ley 143*. Bogotá: Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.

Congreso de Colombia. (2000). *Ley 629*. Bogotá: Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.

Congreso de Colombia. (2001). *Ley 697*. Bogotá: Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1715*. Bogotá: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Congreso de la República. (1994). *Ley 115*. Ley General de Educación.

Congreso de la República. (2006). *Ley 1098*. Bogotá: Por la cual se expide el Código de la infancia y la adolescencia. Artículo 22.

Congreso de la República de Colombia. (1994). *Ley 142*. Bogotá: Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

COP3-Kyoto. (1998). *Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Kioto-Japón: Naciones Unidas.

Corral, R. (2020). *Thermodynamic optimisation of thermosolar hybrid Brayton cycle plants*. Universidad de Salamanca.

CREG. (1996). *Resolución 086*. Por la cual se reglamenta la actividad de generación con plantas menores de 20 MW que se encuentra conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

CREG. (2015). *Resolución 024*. Bogotá: Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones.

CREG. (2018). *Resolución 030*. Bogotá: Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional.

Dambhare, M., Butey, B., & Moharil, S. (2021). Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends . *Journal of Physics: Conference Series* , 191-253.

DANE. (2019). *Censo 2018. Proyecciones demográficas* . Bogotá: DANE.

Dávila, O., & Silva, J. (2012). *Políticas de juventud y su expresión en lo local. Última Década*. Viña del Mar: Ediciones CIDPA.

- El Hammoumi, A., Chtita, S., Motahhir, S., & El Ghzizal, A. (2022). Solar PV energy: From material to use, and the most commonly used techniques to maximize the power output of PV systems: A focus on solar trackers and floating solar panels. *Energy Reports*, 11992-12010.
- Escobar, C. (2020). *Rol de la energía solar y eólica en la transición energética en Colombia: actualidad, perspectivas y retos*. Bogotá: Universidad Nacional Autónoma y a Distancia.
- Esparza, M. (2023). *Análisis de los retos y soluciones en la financiación de las pequeñas empresas*. Universitat Politècnica de València.
- Feldman, D., Ramasamy, V., Fu, R., Ramdas, A., Desai, J., & Margolis, R. (2021). US solar photovoltaic system and energy storage cost benchmark. *National Renewable Energy Lab.(NREL)*, 21-40.
- Garrido, M. (2022). La electrificación industrial en Chile: 1895-1955. . *América Latina en la historia económica*, 29(1).
- González, I., Armas-Alvarez, B., Coronel, M., Maldonado, N., Vergara, O., & Granillo, R. (2021). El desarrollo tecnológico en las revoluciones industriales. *Ingenio Y Conciencia Boletín Científico De La Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 8(16), 41-52.
- Hernández, L., Gallardo, S., & Alonso, V. (2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, 426-440.
- Hernaz, A. (2019). *Simulación de los efectos sobre un transformador eléctrico de potencia del contenido armónico en la corriente*. Universidad de Valladolid.
- HG Ingeniería. (2021). *Sistema Solar Fotovoltaico*. Obtenido de HG Ingeniería: <https://hgingeneria.com.co/sistema-solar-fotovoltaico/>

- ICONTEC. (2005). *NTC 1736*. Bogotá: Define los términos generales y nomenclatura utilizada en normas relativas a energía solar.
- ICONTEC. (2006). *NTC 2883*. Bogotá: Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de Tipo.
- ICONTEC. (2007). *NTC-5549*. Bogotá: Sistemas fotovoltaicos (FV) terrestres. Generadores de potencia. Generalidades y guía.
- ICONTEC. (2009). *NTC-5710*. Bogotá: Protección contra las sobreteniones de los sistemas fotovoltaicos (FV) productores de energía.
- ICONTEC. (2009). *NTC-5725*. Bogotá: Aerogeneradores, Requisitos de diseño para aerogeneradores pequeños.
- ICONTEC. (2010). *NTC-5513*. Bogotá: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 1: Medida de la característica corriente-tensión de dispositivos fotovoltaicos.
- ICONTEC. (2013). *NTC-5412*. Bogotá: Aerogeneradores. Medida y evaluación de las características de la calidad de suministro de potencia de aerogeneradores conectados a la red.
- IDEAM. (2021). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Obtenido de ideam.gov.co: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas. (1998). *NTC 4405*. Bogotá: Eficiencia energética. Evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes.
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: A review. *Renewable and Sustainable Energy Review*(62), 1092-1105.

- Khatibi, A., Razi, F., & Ahmadi, M. (2019). Generation and combination of the solar cells: A current model review. *Energy Science & Engineering*, 7(2), 305-322.
- Mardones, C., & Muñoz, T. (2019). Impuesto al CO₂ en el sector eléctrico chileno: efectividad y efectos macroeconómicos. *Economía chilena*, 20, 28-42.
- McLeod, S. (2021). Feasibility studies for novel and complex projects: Principles synthesised through an integrative review. *Project Leadership and Society*, 2, 100022, 100-121.
- Mejía, J. (2020). *Aproximación al uso de sistemas solares fotovoltaicos en el sector terciario o comercial*. Escuela de Arquitectura y Diseño.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (1998). *NTC 2050*. Bogotá: Código Eléctrico Colombiano.
- Ministerio de Educación. (2 de noviembre de 2023). *El Programa Nacional de Educación Ambiental beneficiará a más de 5.000 instituciones educativas y 13 territorios priorizados en el país*. Obtenido de Mineducación.gov.co: <https://www.mineducacion.gov.co/portal/salaprensa/Comunicados/415740:El-Programa-Nacional-de-Educacion-Ambiental-beneficiara-a-mas-de-5-000-instituciones-educativas-y-13-territorios-priorizados-en-el-pais>
- Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Guía No. 34 Ruta del Mejoramiento*. Bogotá: MEN.
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*. Bogotá: Anexo general del RETIE Resolución 9 0708 de Agosto 30 de 2013 con sus ajustes.
- Moreno, A., Lopez, J., Laverty, D., Martinez, J., Morrow, D., & Foley, A. (2022). Effective identification of distributed energy resources using smart meter net-demand data. *IET Smart Grid*, 5(2), 120-135.

- Muneer, F., Hovmalm, H., Svensson, S., Newson, W., Johansson, E., & Prade, T. (2021). Economic viability of protein concentrate production from green biomass of intermediate crops: A pre-feasibility study. *Journal of Cleaner Production*, 294, 1263, 12-40.
- Muñoz, L., Curado, C., & Galende, J. T. (2019). The triple bottom line on sustainable product innovation performance in SMEs: A mixed methods approach. *Sustainability*, 11(6), 1689, 11-30.
- Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. París: Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). *World Population Prospects 2017*. Recuperado el 14 de julio de 2017, de Obtendido de <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/>
- Palanisamy, R., Vijayakumar, K., Venkatachalam, V., Narayanan, R., Saravanakumar, D., & Saravanan, K. (2019). Simulation of various DC-DC converters for photovoltaic system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(2), 9-17.
- Panigrahi, R., Mishra, S., Srivastava, S., Srivastava, A., & Schulz, N. (2020). Grid integration of small-scale photovoltaic systems in secondary distribution network—A review. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(3), 3178-3195.
- Pastor, C., Serebrisky, T., & Suárez, A. (2018). *Impuestos a los servicios públicos domiciliarios en América Latina y el Caribe: Un análisis descriptivo de las tasas sobre los servicios de agua y electricidad*. Washington: BID.
- Perdomo, B., Guerrero, J., & Parra, P. (2022). Comparación de la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica en los paneles solares para estaciones meteorológicas en diferentes zonas del Ecuador. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 6(45), 109-118.

Presidencia de la República de Colombia. (2015). *Decreto 2143*. Bogotá: Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, Decreto 1073 de 2015 en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo 111 de la Le.

PNUD. (2021). *Objetivos de desarrollo sostenible. objetivo 7: energía asequible y no contaminante*. Obtenido de undp.org: <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>

Preciado, A., & Hurtado, D. (2018). *Diseño y evaluación de un sistema solar fotovoltaico para el Aeropuerto José María Córdoba*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Presidencia de la República de Colombia. (2014). *Decreto 2469*. Bogotá: Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración.

Presidencia de la República de Colombia. (2014). *Decreto 2492*. Bogotá: Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda.

Presidencia de la República de Colombia. (2017). *Decreto 348*. Bogotá: Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala.

Raharjo, D. (2022). How Feasibility Study Guides An Execution Of Project Development. *International Journal of Business and Applied Social Science*, 8(1), 43-55.

- Rathore, N., Panwar, N., Yettou, F., & Gama, A. (2021). A comprehensive review of different types of solar photovoltaic cells and their applications. *International Journal of Ambient Energy*, 42(10), 1200-1217.
- Santos, L., Soares, I., Mendes, C., & Ferreira, P. (2014). Real Options versus Traditional Methods to assess Renewable Energy. *Renewable Energy*, 588-594.
- Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., & Alkasrawi, M. (2021). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, 759, 143-258.
- Titman, S., & Martin, J. (2019). *Valoración: el arte y la ciencia de las decisiones de inversión corporativa*. Madrid: Pearson, Prentice Hall.
- Tushar, W., Yuen, C., Saha, T., Morstyn, T., Chapman, A., Alam, M., & Poor, H. (2021). Peer-to-peer energy systems for connected communities: A review of recent advances and emerging challenges. *Applied energy*, 282, 116-131.
- UPME - MME. (2016). *Resolución 045*. Bogotá: Por la cual se establecen los procedimientos y requisitos para emitir la certificación y avalar los proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de.
- UPME-MME. (2015). *Resolución 0281*. Bogotá: Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala.
- Valer, L., Meléndez, T., Fedrizzi, M., Zilles, R., & de Moraes, A. (2016). Variable-speed drives in photovoltaic pumping systems for irrigation in Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 15, 20-26.

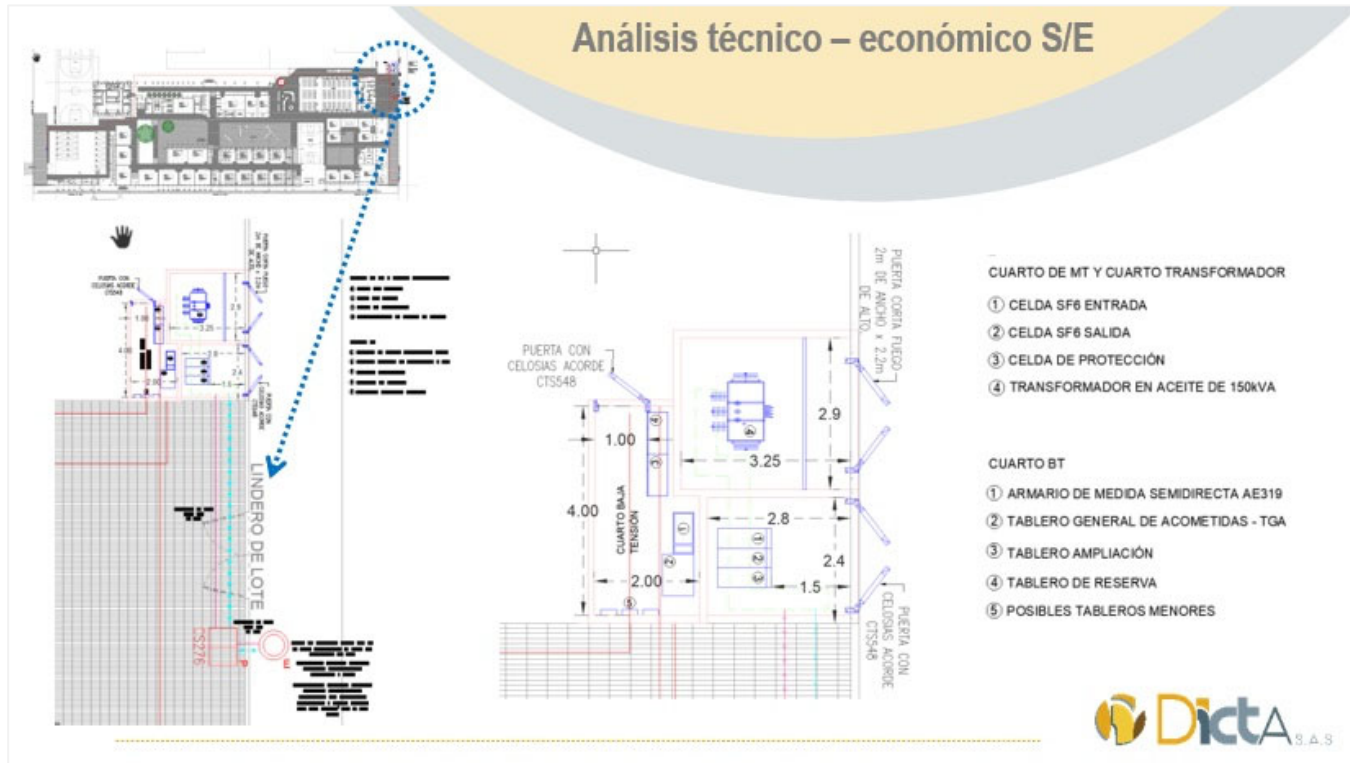
WWF. (18 de septiembre de 2018). *Glosario ambiental : ¿Sabes qué se pactó en el Acuerdo de París?* Obtenido de wwf.or.co: <https://www.wwf.org.co/?334976/Glosario-ambiental--Sabes-que-se-pacto-en-el-Acuerdo-de-Paris>

Yousaf, M., & Bris, P. (2019). A systematic literature review of the EFQM excellence model from 1991 to 2019. *International Journal of Applied Research in Management and Economics*, 2(2), 11-15.

Zambrano, D. (2020). *Desarrollo de recubrimientos multicapa antirreflectantes preparados por pulverización catódica para aplicaciones en paneles fotovoltaicos*. Universidad de Chile.

8. Anexos

Anexo A: Análisis técnico – Económico Dicta SAS



Análisis técnico – económico S/E

