

**VIABILIDAD ECONÓMICA DE INSTALACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA PARA
MEJORAR SOSTENIBILIDAD DEL CENTRO COMERCIAL EN CHÍA**

INVESTIGADORES:

Eimy Tatiana Chamorro Cortez

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA - UNIAGRARIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECATRÓNICA

BOGOTA CUNDINAMARCA

2023

**VIABILIDAD ECONÓMICA DE INSTALACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA PARA
MEJORAR SOSTENIBILIDAD DEL CENTRO COMERCIAL EN CHÍA**

INVESTIGADORES:

Eimy Tatiana Chamorro Cortez

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniera Mecatrónica**

DIRECTORES:

Valentina Reyes Martínez

Julio Alexis Zorro Pérez

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA - UNIAGRARIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECATRÓNICA

BOGOTA, CUNDINAMARCA

2023

Nota de aceptación

Jurado 1

Jurado 2

Dedicatoria

A mis queridos padres, Lilia Cortez y Iván Chamorro, quienes fueron una gran fuente de apoyo, inspiración, amor y motivación durante todo el recorrido académico. Su esfuerzo y sacrificio para brindarme esta oportunidad se reflejan en el resultado de este logro. A mi adorada hermana y mis queridos abuelos, quienes siempre me alentaron en este proyecto y brindaron su apoyo incondicional en cada parte del proceso, acompañándome en incontables momentos. Este trabajo de grado representa el esfuerzo de cada uno de ellos, y estoy eternamente agradecida por su aporte en mi camino durante este proceso. Les dedico este trabajo como muestra de mi profundo cariño y respeto.

Expreso mi gratitud hacia la Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA y a los docentes que, con su labor, generaron un mayor interés en la carrera y me motivaron a seguir estudiando y aprendiendo. A todas las personas que colaboraron de alguna manera para hacer este sueño realidad, muchas gracias.

Tabla de Contenido

1. Introducción	13
1.1 Descripción del problema.....	14
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Justificación.....	18
2. Objetivos	24
2.1. Objetivo General	24
2.2. Objetivos Específicos.....	24
3. Marco Referencial	25
3.1 Marco Teórico.....	25
3.1.1 Clasificación de generación de energía.....	25
3.1.2 Componentes del sistema energía eólica.....	25
3.1.3 Condiciones meteorológicas para la generación de energía eólica	26
3.1.4 Valor presente neto (VPN).....	28
3.1.5 Tasa interna de retorno (TIR).....	29
3.1.6 Relación beneficio/costo (B/C)	30
3.2 Marco conceptual	31
3.2.1 Energía renovable.....	31
3.2.2 Eficiencia energética	31

3.2.3 Energía solar.....	32
3.2.4 Energía eólica.....	32
3.2.5 Costo fijo.....	32
3.2.6 Costo Variable.....	32
3.2.7 Costo directo e indirecto	32
3.2.8 Tasa interna de retorno (TIR).....	33
3.2.9 Periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	33
3.2.10 Periodo de pago.....	33
3.3.11 Rentabilidad	33
3.3.12 Contrato PPA.....	33
3.3.13 Contrato Bilateral	33
3.3 Estado del arte	34
3.4 Marco Legal	37
4. Recursos Disponibles	43
5. Diseño Metodológico	44
6. Resultados	51
6.1 Desarrollo de la Fase 1: Análisis del consumo energético del centro comercial	51
6.1.1 Recopilación de datos históricos	51
6.1.2 Análisis de patrones de consumo	53
6.1.3 Identificación de Oportunidades de Optimización.....	57

6.2 Desarrollo fase 2: Evaluación de la oferta del proveedor de tecnología eólica	59
6.2.1 Selección del proveedor de tecnología eólica	59
6.2.2 Informe del proveedor	60
6.2.4 Comparación de la generación de energía eólica con el consumo energético del centro comercial	64
6.3 Desarrollo fase 3:	67
6.3.1 Costo de instalación y equipos	67
6.3.2 Garantías de los equipos y sistema de energía eólica.....	69
6.3.3 Análisis Financiero.....	70
7. Discusión de los resultados	73
8. Conclusiones	75
9. Recomendaciones y trabajo futuro	76
10. Anexos.....	77
10.1 Cronograma.....	77
11. Bibliografía.....	79

Lista de Ilustración

Ilustración 1 Mediciones con el anemómetro de velocidad de viento en el centro comercial. Fuente propia.....	60
Ilustración 2 Medición de velocidad en la parte superior de un condensador de aire acondicionado vertical.....	61

Lista de Gráficas

Gráfica 1 Consumo energético mes Marzo del 2023 Centro Comercial. Fuente: Adaptación propia.....	20
Gráfica 2 Porcentaje de consumo de marzo por subestación y solar, teniendo en cuenta la meta de reducción del 30% de consumo energético. Adaptación propia.....	21
Gráfica 3 Consumo energético & solar (kWh) mes a mes 2019 – 2023 en el Centro Comercial. Fuente Centro Comercial. Adaptación propia	51
Gráfica 4 Consumo energético del centro comercial ubicado en Chía en el año 2022. Adaptación propia	53
Gráfica 5 Porcentaje del consumo energético del centro comercial ubicado en Chía. Adaptación propia	53
Gráfica 6 Consumo energético del centro comercial ubicado en Chía en el año 2023. Adaptación propia	55
Gráfica 7 Porcentaje consumo energético 2023 del centro comercial ubicado en Chía. Adaptación propia	55
Gráfica 8 Consumo energético solar 2022-2023. Adaptación propia	58

Lista de tablas

Tabla 1 Normativa, reglamentaciones y leyes en el tema de energía eólica en Colombia	39
Tabla 2 Costos de elementos implementados. Fuente propia	43
Tabla 3 Propuesta de TAVI.....	62
Tabla 4 Costos y generación de energía eólica	63
Tabla 5 Generación mensual y anual	66
Tabla 6 Resultados de cobertura %	67
Tabla 7 Tabla de costos de instalación y equipos	67
Tabla 8 Generación de energía eólica total	68
Tabla 9 Valor en dinero de la generación eólica mínima.....	68
Tabla 10 Valor en dinero de la generación eólica máxima	69
Tabla 11 Flujo de caja anual	72
Tabla 12 Resultado VPN, TIR	73
Tabla 13 Cronograma del proyecto.....	77

Resumen

Esta monografía aborda la necesidad de mejorar la eficiencia energética en el Centro Comercial ubicado en Chía, mediante la exploración de alternativas viables para la generación de energía renovable y la reducción del consumo de energía convencional. El estudio se enfoca en dos aspectos principales: el análisis del consumo energético actual y la evaluación de la viabilidad de la energía eólica.

La metodología utilizada incluyó el análisis de datos históricos de consumo energético, la evaluación de una propuesta de un proveedor de energía eólica y la medición de la velocidad del aire en diferentes ubicaciones del centro comercial. Posteriormente, se emplearon técnicas de análisis económico, como el cálculo del Valor Presente Neto (VPN), para evaluar la rentabilidad de las opciones propuestas. Los resultados obtenidos revelaron que el consumo energético del centro comercial disminuyó debido a eventos externos como la pandemia del COVID-19 y la implementación de sistemas de energía solar. Se identificaron áreas específicas de alto consumo, de las cuales se determinaron oportunidades para mejorar la eficiencia energética.

La evaluación de la viabilidad de la energía eólica mostró un costo total \$770.000.000 para la implementación, sin embargo, el análisis económico indicó un valor negativo para el Valor Presente Neto de \$ -3.216.375.331.

No obstante, se identificó una solución alternativa prometedora al aprovechar la velocidad del aire generada por los condensadores de aire acondicionado vertical. En algunos equipos, la velocidad superó los 5 m/s (metros por segundo), lo que presenta una opción eficiente y rentable para optimizar los recursos energéticos disponibles. Este estudio también destaca la importancia de realizar una evaluación económica para mejorar la eficiencia energética.

Palabras clave: Energía eólica, sostenibilidad, rentabilidad, Centro Comercial.

1. Introducción

La energía eólica, como forma renovable de energía obtenida del viento, presenta una serie de características fundamentales que la distinguen en el panorama energético global. Entre ellas, se destaca su carácter su baja emisión de gases, su reducido impacto ambiental y sus bajos costos operativos. Aunque requiere condiciones geográficas específicas, su capacidad para adaptarse a diferentes contextos la convierte en una opción viable para diversificar la matriz energética en diversas regiones (Lopez M. , 2012).

La transición hacia fuentes de energía más sostenibles no se debe únicamente a los avances tecnológicos en energías renovables, como la eólica, sino que responde principalmente a desafíos globales críticos como el cambio climático y la seguridad energética. En este contexto, el Plan Energético Nacional (PEN) emerge como una política pública esencial. Su objetivo principal es garantizar la seguridad y confiabilidad del suministro energético del país, además de fomentar la adopción de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), impulsar el transporte sustentable, mejorar la eficiencia energética y promover el desarrollo de tecnologías y combustibles sostenibles. El PEN también busca diversificar la producción minera, promoviendo la explotación de minerales estratégicos para la transición energética y el desarrollo tecnológico, elementos clave para la economía nacional (Energetica P. , 2022).

El presente documento surge a partir de un análisis de investigación realizado en el Centro Comercial ubicado en chía, con un enfoque en la evaluación económica para la implementación de energía eólica. En este contexto, se examinan tanto los desafíos como las oportunidades que presenta la adopción de esta fuente de energía como parte integral de las estrategias energéticas.

1.1 Descripción del problema

A nivel internacional, el desarrollo de la energía eólica representa un desafío en constante aumento debido a la creciente demanda energética y a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la Comisión Europea (CE) publica informes anuales que analizan los avances políticos y los progresos realizados en la Unión Europea hacia los objetivos energéticos y climáticos para 2030. Por ejemplo, según datos del informe de la comisión al Parlamento Europeo de 2022, se evidenció la necesidad de tomar medidas concretas para abordar la crisis energética actual, la cual, ha sido exacerbada por factores como el aumento de los precios de la energía y la volatilidad en los mercados internacionales (Santamaria Arinas & Muñoz Benito, 2023).

En este sentido, el Pacto Verde Europeo ha surgido como una respuesta integral para enfrentar estos desafíos, proponiendo medidas que abordan tanto la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero como la de garantizar la seguridad del suministro energético. Por ejemplo, se han propuesto iniciativas para fomentar el ahorro energético, diversificar las fuentes de energía y aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética de la Unión Europea (UE). Estas medidas son importantes para enfrentar la crisis energética y climática, ya que contribuyen a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y a promover un desarrollo más sostenible y resiliente (Santamaria Arinas & Muñoz Benito, 2023).

Es importante destacar que la energía eólica ofrece soluciones clave a desafíos específicos como la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, ambos críticos en la lucha contra el cambio climático. Según la Agencia Internacional de Energía, 2021, la energía eólica evitó la emisión de aproximadamente 1.5

giga toneladas de CO₂ a nivel mundial, lo que equivale a casi el 3% de las emisiones globales de dióxido de carbono.

Además, su capacidad de generación ha seguido creciendo, con un incremento del 17% en la capacidad instalada en la Unión Europea solo en 2022 (Unidas, 2024). Estos avances subrayan la importancia de seguir promoviendo y expandiendo el uso de la energía eólica como parte de una estrategia integral para lograr una transición hacia un sistema energético más sostenible y resiliente (Santamaria Arinas & Muñoz Benito, 2023).

Un estudio realizado en 2021 por un grupo de estudiantes, analizó la importancia del uso de energías renovables en centros comerciales de Lima. El informe destaca que, desde 2017, establecimientos como Green Pea en Italia y Mallplaza en Chile han alcanzado un consumo del 100% de energía renovable. Este logro se ha alcanzado mediante el aprovechamiento de fuentes como la energía eólica, solar e hidráulica. Con el uso de estas fuentes de energía se puede generar hasta 3.147 millones de kWh (kilovatio-hora) al año. Este enfoque no solo reduce el impacto ambiental, sino que también ha contribuido a mejorar la imagen corporativa de estos centros comerciales como eco amigables que se refiere a productos y prácticas que respetan el medio ambiente, reduciendo residuos, ahorrando energía y utilizando materiales sostenibles (Cornejo, 2021).

La transición energética se ha convertido en una necesidad urgente a nivel internacional debido a los desafíos relacionados con la crisis climática y la seguridad energética. La dependencia de los combustibles fósiles ha exacerbado el cambio climático y ha generado preocupaciones sobre la disponibilidad futura de recursos energéticos. La transición hacia fuentes de energía renovable busca abordar estos problemas al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, diversificar las fuentes de energía y mejorar la sostenibilidad a largo plazo (IEA, 2020).

Esta transición no solo busca mitigar el cambio climático, sino también resolver problemas relacionados con la economía, la salud pública y la justicia social. Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles, se pueden crear nuevas oportunidades de empleo en el sector de las energías renovables y se puede mejorar la calidad del aire al reducir la contaminación atmosférica. Además, la transición energética puede promover la equidad al proporcionar acceso a energía limpia y asequible a comunidades que históricamente han sido marginadas o excluidas del acceso a servicios energéticos confiables (IEA, 2020).

La evolución de esta transición energética está marcada por avances significativos en políticas públicas, tecnologías y prácticas comerciales. Los países y regiones están estableciendo objetivos ambiciosos para aumentar la participación de las energías renovables en su matriz energética y están implementando incentivos para fomentar la inversión en infraestructura y tecnologías limpias. Además, se están desarrollando nuevas tecnologías y modelos de negocio que están haciendo que las energías renovables sean más competitivas en términos de costo y rendimiento (Agency, 2020).

La transición energética hacia un sistema más sostenible y descentralizado está impulsando la adopción de modelos de generación distribuida y autogeneración. La generación distribuida se refiere a la producción de energía en pequeña escala cerca del punto de consumo, utilizando fuentes de energía renovable como la solar, eólica o hidroeléctrica. Este enfoque descentralizado reduce las pérdidas en la transmisión de energía y aumenta la resiliencia del sistema al diversificar las fuentes de generación (Energy Outlook, 2023).

Por otro lado, la autogeneración implica que los consumidores produzcan su propia energía, generalmente a través de sistemas fotovoltaicos solares en techos o terrenos adyacentes. Esto les permite satisfacer parte o la totalidad de sus necesidades energéticas y, en algunos casos, vender el

exceso de energía a la red eléctrica. La autogeneración empodera a los consumidores al brindarles mayor control sobre su suministro de energía y reducir su dependencia de los proveedores tradicionales (IEA, 2020).

Ambas formas de generación descentralizada están transformando el panorama energético al promover la democratización del acceso a la energía y alentar la participación de los consumidores en la transición hacia un sistema más limpio y resiliente. Sin embargo, también plantean desafíos en términos de integración con la red eléctrica existente y la necesidad de políticas y regulaciones adecuadas para garantizar un equilibrio entre la autogeneración y el suministro centralizado (UU, 2024).

En el contexto de la transición energética, el enfoque en el consumo es fundamental para lograr una mayor eficiencia y reducir la huella ambiental. Esto implica una serie de medidas orientadas a la optimización de los recursos energéticos, la implementación de tecnologías más eficientes y la promoción de prácticas sostenibles entre los consumidores. Un ejemplo clave es la mejora de la eficiencia energética en edificaciones, que implica el uso de sistemas de iluminación y climatización más eficientes, junto con mejores técnicas de construcción que minimizan el consumo de energía. Otras estrategias incluyen el fomento del transporte público y la adopción de hábitos de consumo responsables. Además, la sensibilización y educación son cruciales para fomentar un cambio de comportamiento hacia patrones de consumo energético más sostenibles (IEA, 2020).

Un ejemplo de éxito en este ámbito es el Centro Comercial ubicado en Chía, que ha implementado innovadoras estrategias de ahorro energético. A través de estrategias de eficiencia energética y la implementación de un sistema fotovoltaico de 30,000 kilovatios al mes, ha logrado reconocimientos y premios por su compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia energética. Es

por ello, que las directivas de este Centro Comercial tienen como objetivo reducir el consumo de energía en un 30% como se evidencia en el consumo de energía en el mes de marzo por subestación y solar, para lograrlo, se requiere el uso de nuevas fuentes de energía que permitan cumplir dichas metas.

El caso del Centro Comercial ilustra claramente los desafíos asociados con el alto consumo energético en instalaciones comerciales. Estos desafíos incluyen el uso intensivo de electricidad para iluminación, climatización, y el funcionamiento continuo de equipos electrónicos, así como la dificultad de mantener operaciones eficientes en términos energéticos en grandes espacios que requieren climatización constante. A esto se suma la necesidad de garantizar la sostenibilidad sin comprometer la comodidad de los visitantes ni la funcionalidad del centro. Para enfrentar estos desafíos, es fundamental implementar estrategias de eficiencia energética, como la optimización de los sistemas de iluminación y climatización, la incorporación de tecnologías energéticamente eficientes, y la generación de energía renovable. Estas medidas no solo permiten reducir los costos operativos a largo plazo, sino que también contribuyen significativamente a la mitigación del cambio climático, además de mejorar la imagen corporativa del centro comercial como un actor comprometido con la sostenibilidad.

1.2. Formulación del problema

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación busca responder a la siguiente pregunta del problema central ¿Cuál sería la opción más costo-efectiva para cubrir el 30% del consumo energético del centro comercial mediante el uso de energía eólica?

1.3. Justificación

Este análisis es fundamental porque explora la incorporación de la energía eólica como una solución viable para complementar la generación de energía en el Centro Comercial. Dado que la

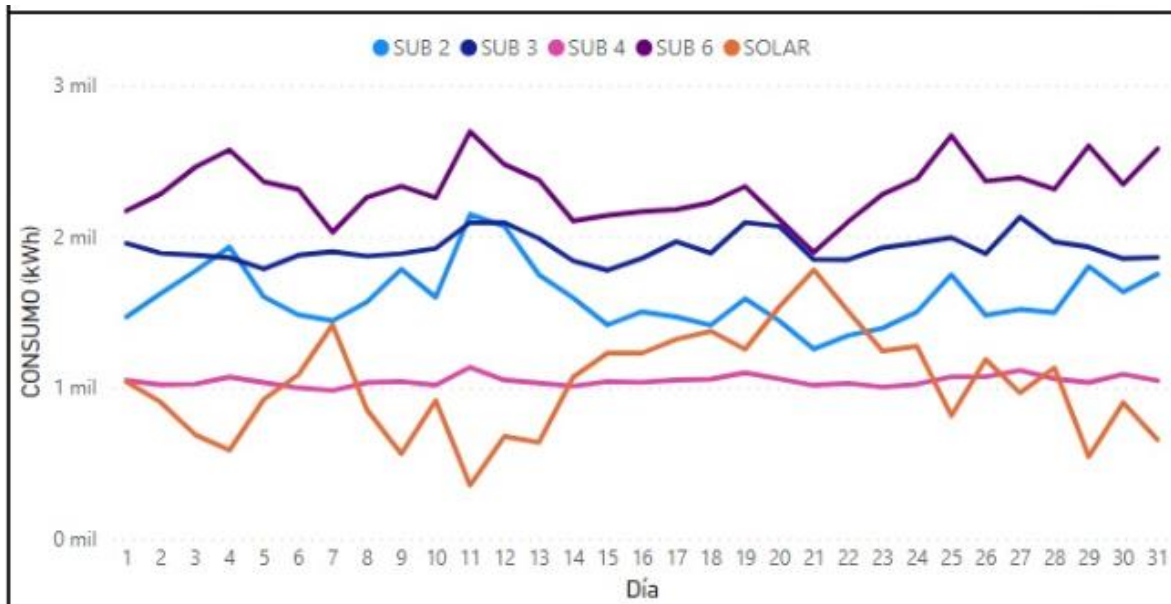
energía solar instalada actualmente es insuficiente para cubrir toda la demanda energética del establecimiento, es necesario considerar fuentes adicionales. La implementación de energía eólica permitiría no solo reducir la dependencia de fuentes convencionales, sino también mejorar la sostenibilidad del centro comercial y disminuir su impacto ambiental. Además, la investigación busca demostrar que la integración de energía eólica podría ofrecer beneficios económicos a largo plazo, al reducir los costos operativos relacionados con el consumo energético.

Según Cornejo (2021), la adopción de energía renovable, con la energía eólica, ofrece beneficios significativos a largo plazo. La integración de fuentes de energía sostenibles puede disminuir los costos energéticos, ya que, a diferencia de los combustibles fósiles, las fuentes renovables como el viento tienen costos operativos mucho menores una vez instaladas. De acuerdo con un informe de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2020), la energía eólica puede reducir los costos de electricidad en un 30% en comparación con los combustibles fósiles, debido a la ausencia de costos de combustible y las economías de escala en la operación. Además, el uso de energía renovable contribuye a una mayor estabilidad en los costos energéticos, minimizando la volatilidad de los precios asociados con fuentes no renovables. Asimismo, la implementación de tecnologías limpias puede mejorar la imagen corporativa de una empresa al evidenciar su compromiso con la sostenibilidad y el medio ambiente. Este enfoque no solo atrae a clientes y empleados preocupados por las cuestiones ambientales, sino que también puede proporcionar una ventaja competitiva en el mercado (Cornejo, 2021).

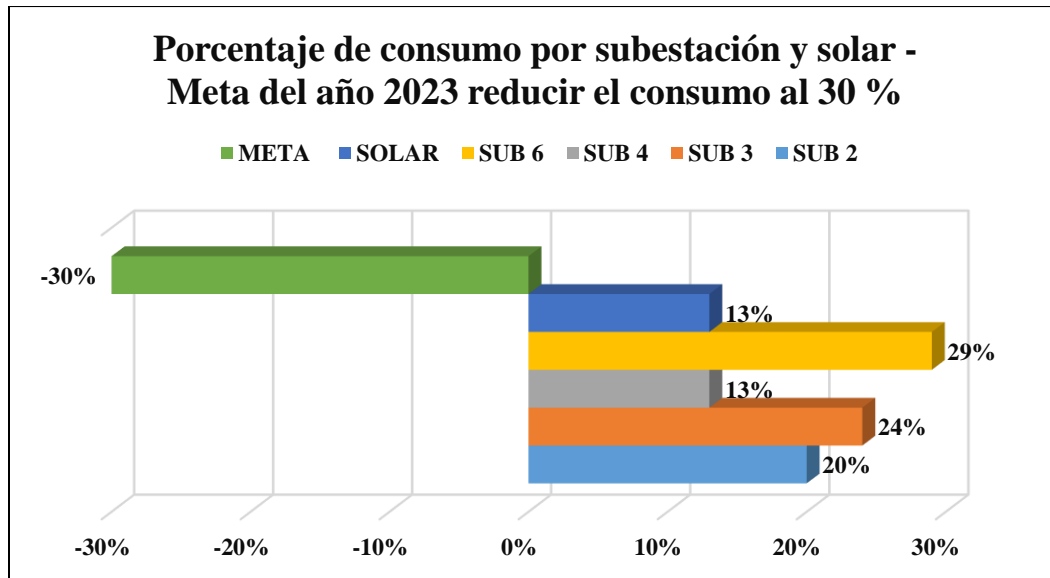
La integración de la energía eólica también puede facilitar el cumplimiento de las normativas vigentes y aprovechar los incentivos fiscales y financieros establecidos por la legislación colombiana, como la Ley 1715 de 2014, modificada por la Ley 2099 de 2021. Esta legislación establece incentivos para la generación de energía eléctrica con fuentes no

convencionales (FNCE) y la gestión eficiente de la energía. Por ejemplo, los obligados a declarar renta que realicen inversiones en este sentido tendrán derecho a deducir el 50% del total de la inversión realizada de su renta durante un período de hasta 15 años, ampliando así el alcance de la producción de energía renovable y fomentando el desarrollo sostenible en Colombia.

La ubicación de las conexiones de las subestaciones energéticas en los 3 pisos y el sótano del centro comercial. La energía solar suministra la iluminación, las oficinas administrativas y los equipos de la central de monitoreo.



Gráfica 1 Consumo energético mes Marzo del 2023 Centro Comercial. Fuente: Adaptación propia



Gráfica 2 Porcentaje de consumo de marzo por subestación y solar, teniendo en cuenta la meta de reducción del 30% de consumo energético. Adaptación propia

Adicionalmente, la evaluación del consumo energético a través de dos representaciones gráficas ofrece una perspectiva detallada de la situación actual en el Centro Comercial, que se observan en las gráficas 1 y 2. La primera gráfica lineal muestra que, durante el mes de marzo de 2023, las subestaciones 6 y 3 se destacan como las principales consumidoras de energía, lo que subraya la urgencia de abordar la eficiencia energética en estas áreas. Esta tendencia se confirma aún más en la segunda gráfica de barras, donde se evidencia la constante demanda energética de estas subestaciones a lo largo del mes. Adicionalmente, proporciona una distribución detallada del consumo, mostrando que la subestación 6 es responsable del 29% del consumo total, seguida por la subestación 3 con una prevalencia del 24%. Estos datos resaltan la necesidad de implementar estrategias específicas para reducir el consumo en estas áreas de mayor demanda. Esta información respalda la importancia del proyecto al identificar claramente los puntos críticos de consumo y establecer una base sólida para la implementación de soluciones que promuevan la eficiencia energética en el centro comercial. La aplicación de estas soluciones no solo beneficiará al centro comercial en términos de reducción de costos operativos y mejora de su sostenibilidad ambiental,

sino que también tendrá un impacto positivo en el entorno local al fomentar prácticas más responsables y sostenibles en el uso de recursos energéticos.

Esta investigación en el ámbito de la energía renovable es importante para mí desarrollo como ingeniera mecatrónica, ya que me permite aplicar teorías en un contexto práctico y desarrollar habilidades en análisis de datos y gestión de proyectos. Además, se alinea con la línea de investigación de la universidad en "Gestión y Transformación de Energía," destacando su compromiso con la sostenibilidad y la innovación en el sector energético. Al promover la implementación de sistemas eólicos en el centro comercial, mi investigación busca generar un impacto significativo en la comunidad, optimizando el consumo energético y fomentando una cultura de sostenibilidad que beneficie tanto a la sociedad actual como a las futuras generaciones.

Finalmente, al llevar el ejercicio de este proyecto a un contexto real, obtendríamos que la integración de energía eólica en el Centro Comercial no solo proporcionaría una solución a corto plazo para reducir la dependencia de fuentes convencionales, sino que también establecería un precedente en la región para proyectos comerciales que busquen adoptar energías renovables. Si bien actualmente la energía solar cubre algunas áreas del consumo energético, la inclusión de energía eólica permitiría optimizar aún más el sistema de suministro energético, garantizando la estabilidad y continuidad de las operaciones.

En términos económicos, la reducción del 30% en el consumo energético mediante energía eólica, como se propone, no solo disminuiría los costos operativos del centro comercial, sino que también ofrecería un retorno de inversión atractivo a largo plazo. Las estimaciones presentadas por la Agencia Internacional de Energía (2020), refuerzan esta idea al señalar que la energía eólica puede reducir los costos en comparación con los combustibles fósiles. Este ahorro contribuiría

directamente a mejorar la rentabilidad del centro comercial y su capacidad para reinvertir en otras áreas operativas y tecnológicas.

Desde una perspectiva ambiental, la transición hacia la energía eólica disminuiría significativamente la huella de carbono del centro comercial. Dado el enfoque global en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la adopción de prácticas sostenibles, el centro comercial no solo cumpliría con los estándares nacionales establecidos por la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021. Además, fortalecería su reputación como un espacio comprometido con la sostenibilidad. Este compromiso no solo tendría el potencial de atraer a una mayor cantidad de consumidores conscientes del medio ambiente, sino que, por otro lado, posicionaría al centro comercial como líder en innovación ambiental dentro de la industria comercial.

Además, si se implementaran estas soluciones en otros centros comerciales o edificios de gran consumo energético, se podría generar un efecto dominó en el sector. La adopción de tecnologías renovables en masa contribuiría a mejorar la calidad del aire, reducir el uso de recursos no renovables y establecer un modelo de negocio más resiliente ante futuras fluctuaciones en los precios de la energía. Este impacto positivo se reflejaría no solo en los beneficios económicos para las empresas, sino también en un entorno más limpio y saludable para la comunidad.

Por último, la aplicación de estos resultados en el contexto real fortalecería la capacidad de los profesionales y estudiantes en el sector energético. La formación como ingeniera mecatrónica se vería enriquecida al trasladar la teoría a la práctica, no solo aplicando conocimientos técnicos, sino también contribuyendo a resolver uno de los desafíos más urgentes de nuestro tiempo: la transición hacia un modelo energético más sostenible y eficiente.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad económica de la implementación de energía eólica como medida para reducir en un 30% el consumo de energía convencional en el Centro Comercial en Chía.

2.2. Objetivos Específicos

- Validar la consistencia de los datos de consumo energético del Centro Comercial en Chía mediante la comparación de las gráficas de consumo de energía de los años 2022 y 2023, con el fin de asegurar la precisión de la información para el análisis de viabilidad.
- Evaluar la oferta de un proveedor específico de tecnología eólica mediante el análisis de mercado, para seleccionar el proveedor que mejor se adapte a las necesidades técnicas y económicas del centro comercial.
- Analizar la viabilidad económica y el retorno de la inversión de la implementación de energía eólica, utilizando un modelo financiero que contemple costos de instalación y ahorro en el consumo energético, para evaluar la rentabilidad del proyecto.

3. Marco Referencial

3.1 Marco Teórico

3.1.1 Clasificación de generación de energía

La generación de energía se clasifica en diferentes categorías según su fuente de origen y sus métodos de producción. Estas categorías incluyen la energía renovable y no renovable. La energía renovable proviene de fuentes naturales que son inagotables o que se renuevan rápidamente, como la energía solar, eólica, hidroeléctrica y de biomasa. Por otro lado, la energía no renovable se deriva de recursos agotables, como los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y la energía nuclear. La elección de una fuente de energía específica depende de factores como la disponibilidad local, el costo, la sostenibilidad ambiental y la infraestructura existente (IEA, 2019).

3.1.2 Componentes del sistema energía eólica

Según Manwell et al. (2009):

- **Aerogenerador:** Este dispositivo esencial convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica mediante el uso de hélices o palas rotativas. Su diseño y ubicación son críticos para maximizar la captura de energía eólica.
- **Torre:** La torre sostiene al aerogenerador y lo eleva a una altura óptima para capturar la mayor cantidad de viento disponible. La altura de la torre puede variar dependiendo de las condiciones del viento en la ubicación específica del sistema.
- **Controlador de carga:** Este componente regula la cantidad de energía que se envía desde el aerogenerador a la batería o a la red eléctrica, evitando sobrecargas o daños en el sistema. Es crucial para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

- **Batería de almacenamiento:** Las baterías almacenan la energía eléctrica generada por el aerogenerador para su uso posterior cuando la demanda de energía es alta o cuando no hay viento disponible. Proporcionan estabilidad y respaldo energético en caso de fluctuaciones en la generación de energía eólica.
- **Convertidor de potencia:** Este componente transforma la corriente eléctrica generada por el aerogenerador de corriente alterna (CA) a corriente continua (CC) o viceversa, según las necesidades del sistema eléctrico. Facilita la integración de la energía eólica en la red eléctrica convencional.

3.1.3 Condiciones meteorológicas para la generación de energía eólica

Las condiciones meteorológicas relevantes para la generación de energía eólica incluyen, según Archer & Jacobson (2005):

- **Velocidad del viento:** La velocidad del viento es un factor crítico para la generación de energía eólica. Aerogeneradores requieren un mínimo de velocidad del viento para comenzar a girar y generar electricidad de manera eficiente. Además, velocidades de viento más altas suelen estar asociadas con una mayor producción de energía.
- **Dirección del viento:** La dirección del viento determina la eficiencia de los aerogeneradores. Se prefieren vientos constantes y uniformes que provengan de una dirección consistente, ya que permiten un funcionamiento más estable y predecible de los aerogeneradores.
- **Turbulencia del viento:** La presencia de turbulencia en el flujo del viento puede afectar negativamente el rendimiento de los aerogeneradores. Turbulencias severas

pueden causar vibraciones y cargas adicionales en las palas, lo que reduce la eficiencia y puede dañar el equipo.

- **Gradiente de viento:** Los cambios en la velocidad y la dirección del viento con la altura pueden influir en el rendimiento de los aerogeneradores. Un gradiente de viento más pronunciado puede proporcionar un mayor potencial de generación de energía, especialmente en áreas con alturas significativas.
- **Estabilidad atmosférica:** La estabilidad atmosférica afecta la distribución del viento en la atmósfera y, por lo tanto, influye en la generación de energía eólica. Condiciones atmosféricas estables suelen ser más favorables para la generación de energía eólica que condiciones inestables.
- **Condiciones climáticas locales:** Factores como la topografía, la vegetación circundante y la presencia de obstáculos pueden influir en las condiciones del viento en un área determinada y, por lo tanto, en la generación de energía eólica.

La viabilidad económico-financiero de un proyecto de energías renovables presenta una variedad de métodos y técnicas para llevar a cabo un análisis exhaustivo de la viabilidad económica y financiera de proyectos en el campo de las energías renovables. Entre los métodos destacados se encuentran el análisis de coste-beneficio, que permite evaluar si los beneficios esperados de un proyecto superan a los costos asociados; el análisis de flujo de caja descontado, que permite calcular el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto; y el análisis de sensibilidad, que identifica cómo cambios en variables clave afectan a los resultados financieros del proyecto. Estas técnicas sirven para evaluar el riesgo financiero, como el análisis de escenarios y la simulación Monte Carlo, que ayudan a los inversionistas a comprender mejor la incertidumbre asociada al proyecto y tomar decisiones informadas (Aranda Usón & Scarpellini, 2009).

3.1.4 Valor presente neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es un instrumento financiero empleado para analizar la viabilidad económica de un proyecto o inversión. Su fundamento radica en la premisa de que una suma de dinero tiene más valor en el presente que en el futuro, debido a aspectos como la inflación y el riesgo. El VPN estima la diferencia entre los flujos de caja futuros esperados de un proyecto y el desembolso inicial de la inversión, todo ello ajustado al valor presente (Villarreal, 2023).

Luego del resultado obtenido se logra observar que, si el VPN es positivo, el proyecto se considera rentable y podría ser una inversión adecuada. Si es negativo, indica que el proyecto probablemente no sea viable en términos financieros (Villarreal, 2023).

Según Villareal, 2023:

El Valor Presente Neto (VPN) representa la cantidad de dinero en el momento actual ($t=0$) que se obtiene al sumar los flujos de caja positivos y negativos vinculados a un proyecto o inversión. Como se trata de una suma ajustada al valor presente (en términos de pesos actuales $t=0$), es necesario contar no solo con los flujos de caja del proyecto, sino también con una tasa de descuento o costo de oportunidad ($i\%$) para convertir esos flujos a su valor equivalente en el momento inicial. Formula genérica del VPN:

$$VPN(TD = i\%) = -x_0 + \frac{x_1}{(1 + i\%)^1} + \frac{x_2}{(1 + i\%)^2} + \frac{x_3}{(1 + i\%)^3} + \frac{x_4}{(1 + i\%)^4} + \frac{x_5}{(1 + i\%)^5} + \frac{x_6}{(1 + i\%)^6}$$

$$VPN(TD = i\%) = \sum_{x=0}^N \frac{x_1}{(1 + i\%)^t} \quad (1)$$

Se debe tener en cuenta la regla de decisión del VPN:

- Si el $VPN > 0$, el proyecto es conveniente y por tanto debe realizarse.

- Si el VPN = 0, la realización del proyecto es indiferente.
 - Si el VPN < 0, el proyecto no es conveniente y por tanto no debe realizarse.
- (P. 80-83)

3.1.5 Tasa interna de retorno (TIR)

El cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) se basa en los flujos de caja de un proyecto o inversión, al igual que el Valor Presente Neto (VPN); sin embargo, a diferencia del VPN, la TIR no requiere estimar una tasa de descuento o costo de oportunidad. Este indicador busca responder a la pregunta de cuál es la rentabilidad real por periodo de una inversión, determinando la tasa de retorno que se obtiene sobre los fondos que permanecen invertidos a lo largo del plazo de ejecución de un proyecto o inversión.

Este indicador corresponde a la tasa de descuento que hace igual el VPN a cero. Por lo tanto, se representa en la siguiente ecuación:

$$TIR = i\% \rightarrow \sum_{i=0}^N \frac{x_1}{(1 + i\%)^t} = 0 = VPN(TD = i\%) \quad (2)$$

(Villarreal, 2023, págs. 90-92)

Adicionalmente, cuando se obtiene el resultado se debe tener en cuenta el criterio de decisión TIR sobre el proyecto:

- TIR > CO (Costo operativo), Si, el proyecto es conveniente.
- TIR = CO (Costo operativo), Indiferente
- TIR < CO (Costo operativo), No, el proyecto no es conveniente

(Villarreal, 2023, pág. 99)

3.1.6 Relación beneficio/costo (B/C)

La relación beneficio/costo es uno de los indicadores más empleados para evaluar la viabilidad económica tanto en proyectos del sector público como privado. Este indicador compara los beneficios o ingresos generados por el proyecto con sus costos o egresos. Dado que este método tiene en cuenta el valor del dinero a lo largo del tiempo, todos los beneficios y costos deben ser convertidos a una unidad monetaria equivalente o común, ya sea en Valor Presente (VP), Valor Futuro (VF) o Valor Anual Equivalente (VA).

La relación beneficio/costo es igual a:

$$\frac{B}{C} = \frac{VP(\text{Beneficios o ingresos del proyecto})}{VP(\text{Costos totales del proyecto})} = \frac{VP(B)}{I - VP(VS) + VP(AOM)} \quad (3)$$

Donde:

VP (*): Valor presente de*

B: Beneficios del proyecto propuesto

I: Inversión inicial

VS: Valor de salvamento

AOM: Costos de administración, operación y mantenimiento

Existe otra forma de expresar la relación B/C, en la cual se incorporan los costos de administración, operación y mantenimiento (AOM) en el numerador. En el denominador se incluye solamente el costo de la inversión inicial y el valor de salvamento (valor de mercado)

$$\frac{B}{C} = \text{modificada} = \frac{VP(B) - (VP(AOM))}{I - VP(VS)} \quad (4)$$

El criterio de selección es el siguiente:

- Cuando la relación $B/C > 1$, el proyecto genera valor y debe aceptarse.
- Cuando la relación $B/C = 1$, es indiferente aceptar o rechazar el proyecto.
- Cuando la relación $B/C < 1$, el proyecto debe rechazarse.

Por lo tanto, si la relación entre el valor presente neto de los ingresos y el valor presente neto de los egresos es mayor que 1, el proyecto es conveniente y el valor presente del proyecto es positivo (Villarreal, 2023, págs. 103-104).

3.2 Marco conceptual

En el presente proyecto se utilizarán diversos conceptos clave para la comprensión y evaluación de la viabilidad económica de la instalación de energía eólica en el Centro Comercial en Chía. Estos conceptos se detallan a continuación:

3.2.1 Energía renovable

Las energías renovables son fuentes de energía que se regeneran naturalmente y son virtualmente inagotables. Incluyen la energía solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa y geotérmica. Estas fuentes energéticas son clave en la transición hacia un sistema energético más sostenible y menos dependiente de los combustibles fósiles (REN 21, 2021).

3.2.2 Eficiencia energética

La eficiencia energética se refiere al uso inteligente y óptimo de la energía para maximizar la producción o el rendimiento con el menor consumo posible. Involucra medidas para reducir el desperdicio de energía en todos los sectores, desde la industria hasta los hogares, mediante tecnologías y prácticas que mejoran la relación entre el input energético y el output deseado (IEA, 2021).

3.2.3 Energía solar

La energía solar es aquella obtenida del sol y aprovechada mediante diferentes tecnologías, como los paneles solares fotovoltaicos y los sistemas de concentración solar. Es una fuente de energía abundante y limpia, capaz de proporcionar electricidad, calor y luz de manera sostenible y económica (REN 21, 2021).

3.2.4 Energía eólica

La energía eólica es aquella generada por la fuerza del viento. Se produce mediante el uso de aerogeneradores que convierten la energía cinética del viento en electricidad (Lee & Zhao, 2021).

3.2.5 Costo fijo

Son los gastos que permanecen constantes independientemente del nivel de producción o actividad. Estos costos no varían en el corto plazo, como el alquiler de una fábrica o el salario base de los empleados (Harvard Business Review , 2012).

3.2.6 Costo Variable

Son los gastos que varían en proporción directa con el nivel de producción o actividad. Ejemplos incluyen materias primas, mano de obra directa y costos de envío (Harvard Business Review , 2012).

3.2.7 Costo directo e indirecto

Los costos directos están directamente relacionados con la producción de bienes o servicios, mientras que los costos indirectos no pueden asociarse directamente con un producto o servicio específico (Harvard Business Review , 2012).

3.2.8 Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que hace que el valor actual neto de una inversión sea igual a cero. Se utiliza para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión (Harvard Business Review , 2012).

3.2.9 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Es el tiempo necesario para que una inversión recupere su costo inicial a través de los flujos de efectivo generados por el proyecto (Harvard Business Review , 2012).

3.2.10 Periodo de pago

El periodo de repago o periodo de recuperación de la inversión mide el tiempo necesario para recuperar la inversión de un proyecto. Este indicador de bondad económica no tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo (Villarreal, 2023).

3.3.11 Rentabilidad

Es la capacidad de una inversión para generar ganancias en relación con su costo. Se calcula típicamente como un porcentaje de retorno sobre la inversión (Harvard Business Review , 2012).

3.3.12 Contrato PPA

Los contratos de compraventa de energía a largo plazo (PPA) son acuerdos entre un productor de energía renovable y un consumidor corporativo para suministrar energía a un precio fijo durante un período de 5 a 20 años (Eurelectric, 2023).

3.3.13 Contrato Bilateral

Un contrato bilateral es un acuerdo legal entre dos partes donde ambas se comprometen a cumplir con ciertas obligaciones. En este tipo de contrato, cada parte actúa simultáneamente como deudor y acreedor, intercambiando promesas o prestaciones.

3.3 Estado del arte

A continuación, se presenta la visión de diversos autores sobre temas relacionados con tópicos fundamentales para el uso de la energía eólica y su aprovechamiento. En el plano internacional, se destaca el arduo trabajo realizado por el Centro Comercial Northland Power Centre ubicado en Ontario, Canadá. El Northland Power Centre, es un ejemplo destacado de cómo los centros comerciales están adoptando prácticas sostenibles para reducir su huella ambiental y promover la energía renovable. Su enfoque en la energía eólica lo ha convertido en un caso de estudio relevante para entender cómo la industria minorista puede contribuir a la transición hacia un futuro más sostenible (Northland Power, 2024).

El centro comercial ha instalado turbinas eólicas en su estructura para generar parte de la energía que consume. Estas turbinas aprovechan los vientos predominantes de la región para producir electricidad de manera limpia y renovable. La capacidad de generación de energía eólica del centro comercial ha sido fundamental para reducir su dependencia de fuentes de energía no renovables. La adopción de energía eólica en el Northland Power Centre ha tenido un impacto significativo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual es un aspecto clave en términos de impacto ambiental. Al utilizar una fuente de energía limpia y renovable, el centro comercial ha contribuido a mitigar el cambio climático y a promover prácticas sostenibles en la industria minorista. El caso del Northland Power Centre, demuestra el potencial de la industria minorista para liderar la transición hacia un futuro más sostenible. Su experiencia destaca la importancia de adoptar prácticas sostenibles y promover el uso de energías renovables para reducir la huella ambiental de los establecimientos comerciales (Northland Power, 2024).

Otro ejemplo es el Lakeside Joondalup Shopping City, ubicado en Australia Occidental, que ha implementado un Plan de Gestión Energética para reducir su consumo energético y fomentar

la sostenibilidad. Este plan incluye la mejora de la eficiencia energética mediante la instalación de iluminación LED y sistemas de calefacción y refrigeración eficientes, así como la integración de fuentes de energía renovable como la solar y eólica. Los resultados han sido positivos, reflejando una disminución en el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, además de una reducción en los costos operativos y una mejora en su imagen de sostenibilidad ambiental (City, 2024).

La energía eólica, definida por Álvarez (2011), como una forma de energía renovable obtenida a partir del viento, es una de las fuentes alternativas más utilizadas debido a su competitividad en costos y facilidad para la obtención de permisos de construcción. Se aprovecha mediante turbinas que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica, la cual se utiliza para generar electricidad. En España, Cayetano Espejo Marín y Ramón García Marín destacan el notable desarrollo de la energía eólica durante la primera década del siglo XXI, debido a factores como los vientos favorables, políticas de fomento de energías renovables y un sector industrial competitivo a nivel global (Marín, 2012).

En cuanto a la definición de la energía eólica, Marín y García la describen como una forma de energía renovable basada en el aprovechamiento del viento para generar electricidad. Destacan que España ha logrado un significativo aumento en la participación de las energías renovables en su matriz energética, alcanzando el 13,2% de la energía final en 2010. Además, señalan que la energía eólica se ha consolidado como la primera fuente renovable en España, superando a la hidroeléctrica en la producción eléctrica renovable (Marín, 2012).

En cuanto a temas de sostenibilidad según Rodríguez et al.:

En su estudio de comparativo de diferentes variantes para el perfeccionamiento de las multiplicadoras definen el desarrollo sostenible como un concepto que busca equilibrar el uso de la energía para el desarrollo económico y social con la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático. Destacan que la energía es fundamental para el desarrollo, pero su transformación y consumo pueden tener impactos negativos en el medio ambiente y contribuir al cambio climático. El autor menciona que la energía eólica es una fuente renovable que ha experimentado un gran crecimiento tecnológico, destacando su capacidad para reducir las emisiones de CO₂ en comparación con fuentes de energía tradicionales como las centrales térmicas de carbón. También señalan que las investigaciones en este campo deben enfocarse en hacer la energía eólica más accesible y económica, así como en mejorar la eficiencia y fiabilidad de los aerogeneradores.

Caraballo (2017), sostiene que la perspectiva económica del desarrollo se extiende más allá del simple crecimiento, abarcando la mejora de la calidad de vida y la sostenibilidad ambiental. Este enfoque implica una transición hacia fuentes de energía renovables, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Los estudios realizados muestran que el consumo de energía, tanto renovable como no renovable, tuvo un efecto positivo en el desarrollo en cinco países analizados, destacándose especialmente el impacto de las energías no renovables.

Sin embargo, en países como España, Francia y el Reino Unido, la reducción de emisiones mediante el uso de energías renovables mostró un impacto positivo menor en comparación con el efecto negativo de las energías no renovables. Además, en España, Alemania y Francia se observó un ciclo de retroalimentación entre el consumo de energía no renovable y el crecimiento, un fenómeno que no se evidenció con el uso de energía renovable (Simón, 2017).

Jeremy Rifkin (2011), describe el desarrollo tecnológico como un proceso histórico que nos conduce hacia una civilización centrada en la tecnología de la información y la comunicación, marcando el inicio de la Tercera Revolución Industrial o Revolución de la Inteligencia. Rifkin, sostiene que esta revolución se distingue por la integración de nuevas tecnologías y métodos de obtención de energía, como las energías renovables, que están alterando de manera fundamental nuestras formas de trabajar y vivir.

Según Rifkin (2011), los cinco pilares de esta revolución son: la adopción de energías renovables, la conversión de edificios en micro centrales eléctricas que utilicen energías renovables, la implementación de la tecnología del hidrógeno y otros sistemas de almacenamiento energético, el establecimiento de una red eléctrica compartida similar a Internet, y la transición a vehículos eléctricos en el transporte. Rifkin, considera que el desarrollo tecnológico está redefiniendo nuestra vida cotidiana y laboral, impulsado por el uso de energías renovables y nuevas tecnologías de información y comunicación (Rifkin, 2011).

Cadena (2007), define la política energética como un conjunto de estrategias coordinadas necesarias para alcanzar objetivos sectoriales dentro de una economía descentralizada. Destaca la importancia de actualizar continuamente estas estrategias para asegurar una toma de decisiones eficaz y ajustar soluciones en mercados específicos. Además, subraya la necesidad de una planificación modernizada que se alinee con un Estado descentralizado y una economía liberal, enfocándose en apoyar la liberalización de mercados y la intervención estatal en actividades sociales y bienes públicos (Cadena, 2007).

3.4 Marco Legal

En el contexto de la adopción de energías renovables no convencionales en Colombia, Reyes et al. (2022), subrayan la importancia de un marco regulatorio robusto. Este marco, que involucra

a organismos como el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), se rige por la Ley 1715 de 2014 y sus normativas asociadas. Esta ley establece incentivos clave para promover el desarrollo de energías renovables no convencionales, incluyendo la reducción del 50% de la inversión en proyectos de energía limpia, la exclusión del IVA en la compra de bienes y servicios relacionados, la exención de aranceles para equipos e insumos, y la posibilidad de aplicar un régimen de depreciación acelerada a los activos del proyecto (Ley 1715, 2014). No obstante, algunos autores, como Castaño (2020), Pereira y Turizo (2020), sugieren que se necesita una legislación más flexible y una implementación más efectiva para enfrentar los desafíos energéticos y ambientales del país (Reyes Gil , Turriago Hoyos , Cárdenas Piñeros , & Danna Buitrago , 2023).

Ley 143 de 1994: Esta ley establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en Colombia. Es fundamental para el marco regulatorio del sector energético, ya que proporciona las bases para la autogeneración y la interconexión de fuentes de energía renovable. La Ley 143 también incluye disposiciones relacionadas con la contribución de solidaridad en la autogeneración, lo que incentiva la adopción de energías limpias y sostenibles (Publica, 1994).

Política Energética Nacional (PEN) 2020-2050: La Política Energética Nacional (PEN) 2020-2050, propone una visión estratégica a largo plazo para el sector energético en Colombia, centrada en la transformación energética como un pilar del desarrollo sostenible. Este cambio implica avanzar hacia un sistema energético que sea descentralizado, descarbonizado y digitalizado, buscando un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y el bienestar de las comunidades vulnerables. Para sustentar esta visión, la PEN se apoya en cuatro pilares fundamentales: la seguridad y confiabilidad del abastecimiento, la mitigación y adaptación

al cambio climático, la competitividad y el desarrollo económico, y la gestión del conocimiento e innovación. (UPME, 2020)

Tabla 1 Normativa, reglamentaciones y leyes en el tema de energía eólica en Colombia

Normativa	Descripción	Ámbito
Ley 1715 de 2014	Promueve la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Establece incentivos para la inversión en energías renovables como la eólica.	Nacional – Energías renovables (FNCE)
Ley 2099 de 2021 (modifica Ley 1715)	Amplía los incentivos para la generación de energía con fuentes no convencionales. Crea el concepto de "Transición Energética" y simplifica los trámites para la conexión de proyectos de energía renovable.	Nacional – Transición Energética
Decreto 1073 de 2015 (compilado del Decreto 1623 de 2014)	Regula los incentivos fiscales para los proyectos de energías renovables, como exenciones de IVA, deducción de impuestos y depreciación acelerada.	Incentivos fiscales y tributarios
Resolución 1283 de 2016	Reglamenta las condiciones para la asignación de Certificados de Energía Verde (CEV) y los mecanismos de verificación de su cumplimiento.	Nacional – Energías Renovables (FNCE)
Resolución 281 de 2015	Establece los lineamientos técnicos y operacionales para conectar proyectos de energía eólica al Sistema Interconectado Nacional (SIN).	Nacional – Conexión a la red

Normativa	Descripción	Ámbito
Decreto 2143 de 2015	Define los mecanismos de acceso a incentivos económicos y fiscales para proyectos de energía renovable, como la exención del impuesto de renta por 15 años.	Incentivos fiscales y económicos
Resolución CREG 030 de 2018	Establece la metodología para determinar la remuneración de los proyectos de generación de energía con fuentes renovables como la eólica.	Nacional – Remuneración de proyectos
Resolución CREG 097 de 2018	Reglamenta el procedimiento de conexión de pequeñas plantas de generación distribuida, incluyendo proyectos eólicos de hasta 1 MW.	Nacional – Generación distribuida
Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022)	Promueve la transición energética y establece lineamientos para el uso de energías renovables, incluyendo la eólica, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo.	Nacional – Planificación y política pública
Resolución 40072 de 2021	Reglamenta el Registro de Proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía y Eficiencia Energética (FNCER), facilitando el acceso a incentivos y beneficios fiscales.	Nacional – Registro de proyectos FNCER
Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (1992)	Acuerdo internacional para abordar el cambio climático. Impulsa el uso de energías renovables, incluida la eólica, como parte de los compromisos de los países en las Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC).	Global – Cambio climático y energías renovables

Normativa	Descripción	Ámbito
Protocolo de Kioto (1997)	Primer acuerdo internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Promueve el uso de energía eólica para reducir emisiones.	Global – Mitigación de GEI
Acuerdo de París (2015)	Acordado bajo la CMNUCC, este tratado compromete a los países a limitar el calentamiento global mediante la adopción de energías renovables como la eólica.	Global – Transición energética y sostenibilidad
Directiva de Energías Renovables (RED II) (2018, Unión Europea)	Normativa de la UE que establece objetivos vinculantes para la energía renovable, fijando un 32% del consumo final de energía proveniente de fuentes renovables para 2030.	Unión Europea – Energías renovables
Norma IEC 61400 (International Electrotechnical Commission)	Serie de normas técnicas internacionales para el diseño, evaluación y certificación de aerogeneradores. Regula aspectos de seguridad y rendimiento de las turbinas eólicas.	Global – Normativa técnica para aerogeneradores
ISO 14001:2015 (Sistema de Gestión Ambiental)	Aunque no es específica para la energía eólica, esta norma internacional establece un marco para gestionar el impacto ambiental de proyectos, incluyendo los eólicos.	Global – Gestión ambiental y sostenibilidad

Normativa	Descripción	Ámbito
Protocolo de Montreal (1987)	Aunque enfocado en la protección de la capa de ozono, indirectamente impulsa la adopción de energías renovables, como la eólica, al reducir el uso de tecnologías que dañan la atmósfera.	Global – Protección ambiental
Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD)	Proporciona apoyo a países en desarrollo para proyectos de energía renovable, incluyendo energía eólica, como parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).	Global – Energías renovables y desarrollo sostenible
Banco Mundial y Corporación Financiera Internacional (IFC) – Normas de Desempeño Ambiental y Social (PS)**	Estándares para proyectos financiados por el Banco Mundial que incluyen criterios para la evaluación y mitigación del impacto ambiental de proyectos de energía eólica.	Global – Proyectos de infraestructura y financiamiento
Directiva sobre el Comercio de Emisiones de la Unión Europea (ETS)	La UE establece un sistema de comercio de derechos de emisión para limitar las emisiones industriales y fomenta el uso de energías limpias como la eólica.	Unión Europea – Comercio de emisiones y energías limpias
Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS)	Regula el uso del espacio marítimo para la instalación de parques eólicos marinos (offshore) y define las zonas económicas exclusivas (ZEE).	Global – Energía eólica marina

4. Recursos Disponibles

En la presente sección, se detallarán los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación propuesta. Este enfoque facilitará la verificación de la disponibilidad de los medios apropiados para lograr los objetivos planteados con eficacia y eficiencia. A continuación, se presentan los elementos considerados indispensables para el desarrollo del proyecto.

Tabla 2 Costos de elementos implementados. Fuente propia

Rubro	Cantidad	Detalle	Unidad	Valor unitario	Valor Total (6 meses)
Personal	1	Estudiante investigador	Moneda-COP	\$ 0	\$ 0
	1	Director	Moneda-COP	\$ 0	\$ 0
Propiedades, planta y equipo	1	Computador portátil	Moneda-COP	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
	1	Dispositivo móvil	Moneda-COP	\$ 600.000	\$ 600.000
Software	1	Microsoft Office	Moneda-COP	\$ 0	\$ 0
Software	1	Power BI	Moneda-COP	\$ 0	\$ 0
Recursos físicos	1	Consumo de energía (luz, agua, internet)	Moneda-COP	\$ 180.000	\$ 1.080.000
Recursos físicos	1	Espacio de trabajo (alquiler, uso)	Moneda-COP	\$ 70.000	\$ 420.000
Actividades	1	Desplazamientos (transporte público)	Moneda-COP	\$ 80.000	\$ 480.000
Actividades	1	Impresiones, fotocopias	Moneda-COP	\$ 0	\$ 0
Imprevistos	1	Reserva para imprevistos	Moneda-COP	\$ 200.000	\$ 200.000
Total					\$ 4.780.000

5. Diseño Metodológico

En esta sección, se detalla la metodología del proyecto que guía la investigación sobre la viabilidad de la implementación de energía renovable en el centro comercial.

Enfoque metodológico: En el enfoque metodológico cuantitativo seleccionado, se busca obtener una comprensión integral del problema y evaluar la viabilidad de implementar energía renovable en el centro comercial.

Las fortalezas del método son:

1. Método cuantitativo:
 - a. Proporciona datos numéricos objetivos y fácilmente cuantificables.
 - b. Permite el análisis estadístico riguroso para identificar patrones y tendencias.
 - c. Facilita la generalización de los resultados.

Bajo el enfoque cuantitativo, se evaluarán atributos como el rendimiento energético actual del centro comercial ubicado en Chía, el consumo de energía, los costos asociados con la implementación de energía renovable eólica, el retorno de la inversión, y cualquier otro dato numérico relevante que pueda ser cuantificado y analizado estadísticamente. Esto puede requerir la recolección de datos a través de encuestas estructuradas, análisis de registros históricos y mediciones directas.

Diseño de Investigación: Se opta por un diseño no experimental ya que no se manipulan variables ni se controlan condiciones. En lugar de eso, se observa y analiza el comportamiento natural del consumo energético y se evalúa la viabilidad.

Técnicas de Recolección de Datos:

- **Análisis documental:** Se llevará a cabo una revisión de la información relacionada con el consumo energético actual del centro comercial, incluyendo costos de energía y datos de proveedores de sistemas de energía eólica. Esta etapa permitirá establecer una línea base y comprender el contexto energético del centro comercial.
- **Búsqueda de proveedores:** Se realizará una identificación y evaluación de proveedores de sistemas de generación de energía eólica. Este proceso incluirá la recopilación de información sobre costos, garantías y el soporte técnico que ofrecen, lo que facilitará la comparación de opciones disponibles en el mercado.
- **Observación:** Se llevarán a cabo recorridos por el centro comercial para identificar áreas potenciales para la implementación de sistemas de energía eólica. Durante este recorrido, se tendrán en cuenta factores como la disponibilidad de espacio para la instalación de aerogeneradores, la velocidad y dirección del viento en el área, así como el acceso a la red eléctrica, lo que es fundamental para determinar la viabilidad del proyecto.
- **Análisis costo y beneficio:** Se evaluarán los costos de implementación de los sistemas de energía eólica y se compararán con los costos actuales de energía. En este análisis se considerarán no solo los costos iniciales, sino también el ahorro esperado a largo plazo, las posibles subvenciones o incentivos gubernamentales y el impacto ambiental positivo de la transición a energías renovables. Se establecerán criterios claros para determinar la viabilidad económica del proyecto, incluyendo el período de recuperación de la inversión.

Hipótesis

Hipótesis 1 nula: La implementación de sistemas de generación de energía eólica en el centro comercial no resultará en ahorros significativos en costos de energía en comparación con el suministro tradicional de electricidad.

Hipótesis 1 alternativa: La implementación de sistemas de generación de energía eólica en el centro comercial resultará en ahorros significativos en costos de energía en comparación con el suministro tradicional de electricidad.

Técnicas de Análisis: Análisis cuantitativo de datos: Utilización de herramientas estadísticas para analizar el consumo energético actual, costos de energía, y viabilidad económica de la implementación de energía renovable.

Por consiguiente, se explicará una estructura por fases para la gestión del proyecto:

Fase 1: Validar la consistencia de los datos de consumo energético del Centro Comercial en Chía

Para identificar el consumo energético del Centro Comercial, primero se deben obtener registros históricos de consumo energético directamente de los sistemas de gestión de energía del centro comercial, así como facturas de electricidad y reportes de la compañía suministradora de energía. Es fundamental utilizar software de gestión de energía que facilite la recopilación y análisis de datos en tiempo real, garantizando precisión y fiabilidad.

Para cumplir lo anterior, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación de datos: Obtener registros históricos de consumo energético del centro comercial.

- Análisis de patrones de consumo: Estudiar los patrones de consumo energético a diferentes escalas temporales (diaria, semanal, anual).
- Identificación de oportunidades de optimización: Identificar áreas de alto consumo energético.

Fase 2: Evaluar la oferta del proveedor de la tecnología eólica

Para analizar la viabilidad de la energía eólica, es necesario obtener y revisar el informe detallado del proveedor de energía eólica (TAVI), que debe incluir análisis de viento y especificaciones técnicas de las turbinas propuestas.

Utilizando los datos suministrados por el proveedor y validándolos con fuentes adicionales si es posible (como estaciones meteorológicas cercanas), se debe emplear modelos de simulación para estimar la generación potencial de energía eólica en función de las características específicas del viento en la ubicación del centro comercial. Finalmente, se debe comparar la energía generada con el consumo energético del centro comercial para evaluar qué porcentaje del consumo puede ser cubierto por la energía eólica.

Para alcanzar el objetivo, se implementarán las siguientes acciones:

- Búsqueda de proveedores nacionales con la tecnología de energía eólica.
- Recopilación de documentación: Informe de estudio que realizó el proveedor de TAVI.
- Calcular la generación de energía eólica total respecto a la información suministrada.

Fase 3: Analizar la viabilidad económica y el retorno de la inversión de la implementación de energía eólica

Para desarrollar el modelo financiero y de retorno de inversión, primero se deben obtener cotizaciones detalladas para la adquisición e instalación de las turbinas eólicas. También es importante estimar los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de las turbinas e identificar posibles incentivos gubernamentales o subvenciones que puedan reducir los costos iniciales.

El desarrollo del modelo financiero debe realizarse utilizando hojas de cálculo por Excel para proyectar los flujos de caja, teniendo en cuenta costos iniciales, ahorros en la factura de electricidad. Además, es fundamental evaluar los cambios como el precio de la electricidad. Calcular indicadores financieros como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN) permitirán evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Asimismo, cada fase del proyecto está diseñada para ser factible en términos de recursos disponibles y acceso a la información necesaria, lo que asegura que se cumplan los objetivos de investigación de manera eficiente. Para lograrlo, es esencial desarrollar un plan de trabajo detallado con un cronograma claro que identifique todas las tareas, los responsables y las fechas de entrega. También es clave establecer mecanismos de monitoreo y control para revisar el progreso del proyecto regularmente y realizar ajustes según sea necesario, garantizando que el proyecto se mantenga en curso. Finalmente, mantener una comunicación abierta y regular con todas las partes interesadas, incluyendo el equipo del centro comercial, proveedores, asegurará que todas las preocupaciones y requisitos se aborden adecuadamente.

Para garantizar el cumplimiento, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación de costos: Obtener información sobre los costos de la implementación de sistemas de generación de energía eólica.
- Evaluar la inversión: Un modelo financiero para evaluar el retorno de inversión a lo largo del tiempo.

Alcance de Trabajo:

El proyecto abarcará todas las etapas descritas anteriormente, para llevar a cabo la evaluación de viabilidad, desde la recopilación de datos sobre el consumo energético actual hasta el análisis de costos y beneficios de la implementación de energía eólica. Esto incluye la revisión de información documental, la realización de análisis de campo, el desarrollo de modelos financieros y la elaboración de informes con los resultados obtenidos.

El proyecto también involucra la identificación de proveedores y recursos necesarios para la implementación de sistemas de generación de energía eólica, así como la consideración de aspectos regulatorios y normativos relevantes.

Entregables:

El informe de análisis del consumo energético actual del Centro Comercial servirá como base para evaluar el potencial de generación de energía eólica en el mismo centro comercial. Posteriormente, se desarrollará un modelo financiero y de retorno de inversión para la implementación de la energía eólica. Finalmente, se elaborará un informe de viabilidad económica del proyecto, integrando todos los datos y análisis previos para determinar la factibilidad y los beneficios económicos de la propuesta.

Restricciones:

El proyecto estará sujeto a restricciones de tiempo, presupuesto y recursos disponibles; además, será fundamental cumplir con todas las regulaciones y normativas aplicables en materia de energía y medio ambiente. Asimismo, el alcance del proyecto se ha definido cuidadosamente para garantizar que se aborden de manera integral y rigurosa todos los aspectos necesarios para evaluar la viabilidad de implementar energía eólica en el Centro Comercial.

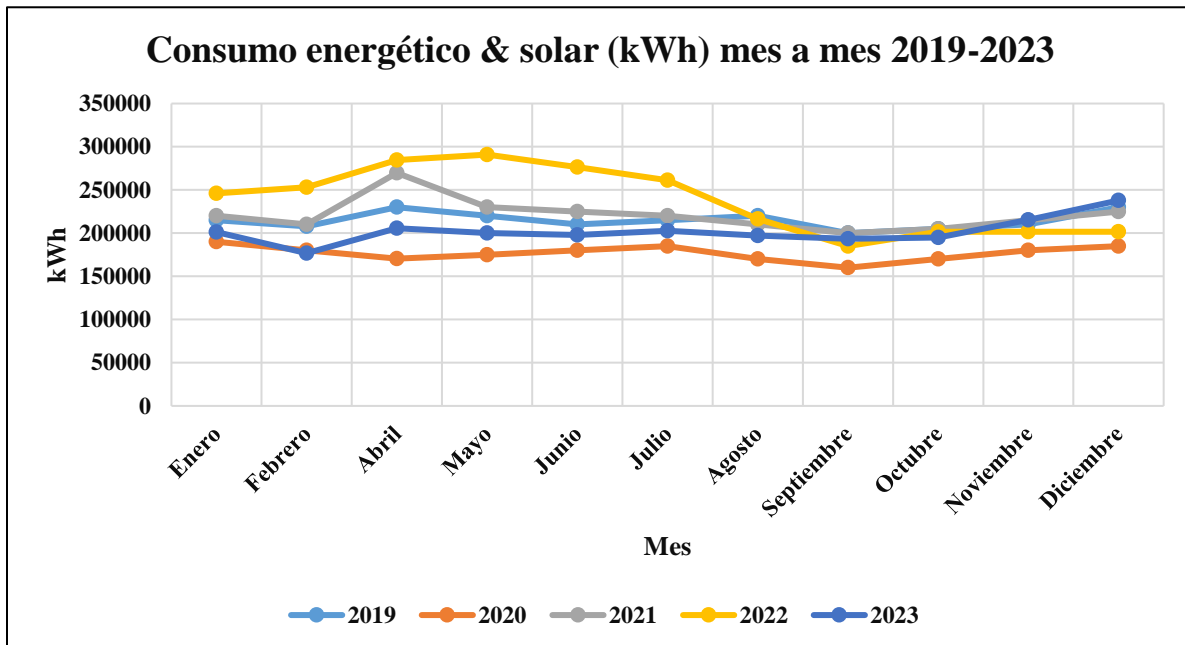
6. Resultados

6.1 Desarrollo de la Fase 1: Análisis del consumo energético del centro comercial

En esta fase, se presentaron los resultados obtenidos del análisis del consumo energético del Centro Comercial. El análisis se basó en gráficos que representaron el consumo de energía en diferentes años y períodos de tiempo, proporcionados por centro comercial. Este análisis fue fundamental para identificar patrones, tendencias y posibles áreas de optimización en el uso de la energía dentro del centro comercial.

6.1.1 Recopilación de datos históricos

A través de esta herramienta, se obtuvieron gráficos detallados que permitieron visualizar el consumo de energía en diferentes periodos temporales, garantizando la precisión y confiabilidad de los datos. Los registros históricos abarcaron los años 2019 a 2023 y proporcionaron una base sólida para el análisis que se desarrolló a continuación:



Gráfica 3 Consumo energético & solar (kWh) mes a mes 2019 – 2023 en el Centro Comercial. Fuente Centro Comercial. Adaptación propia

En la gráfica 3, se puede identificar el análisis de los datos de consumo energético del Centro Comercial entre el año 2019 y 2023. En primer lugar, se observó una clara disminución en el consumo energético durante el año 2020, lo cual, coincidió con el impacto de la pandemia de COVID-19 en las actividades comerciales y la reducción de la operación del centro comercial. Durante ese año, el consumo fue más bajo en comparación con el año 2019, alcanzando su punto más bajo en abril con 170.620 kWh, en los meses de confinamiento.

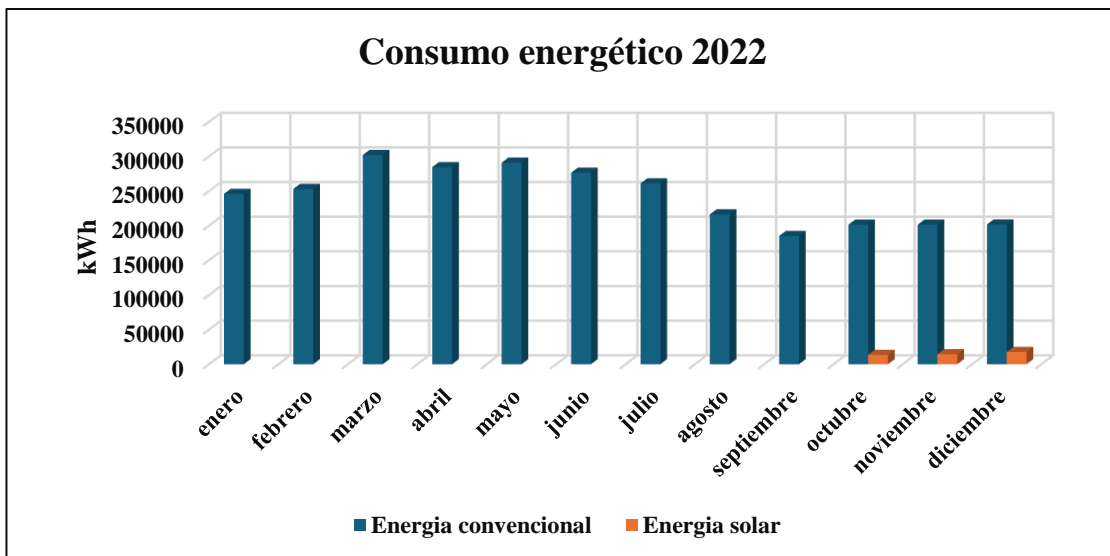
En contraste, los años 2021 y 2022 reflejaron una recuperación en el consumo, especialmente en abril de 2021, cuando se registró un aumento a 269.702 kWh, seguido de un incremento aún mayor en el año 2022 con un pico de 284.437 kWh en ese mismo mes. Esto sugería que la actividad comercial había retornado a niveles normales y que la demanda energética había crecido proporcionalmente. Durante el año 2022, el consumo energético general se mantuvo elevado, destacándose el mes de mayo con 290.919 kWh, lo que posiblemente se debió a factores estacionales o eventos que incrementaron el uso de energía.

En el año 2023, se observó una reducción general en el consumo energético, lo que reflejó los beneficios de la implementación de energías renovables, como la energía solar. En abril del año 2023, el consumo fue de 205.653 kWh, lo que representó una disminución significativa en comparación con el mismo mes en el año 2022. Esta tendencia a la baja también se reflejó en otros meses como febrero y agosto del año 2023, donde el consumo fue menor que en años anteriores.

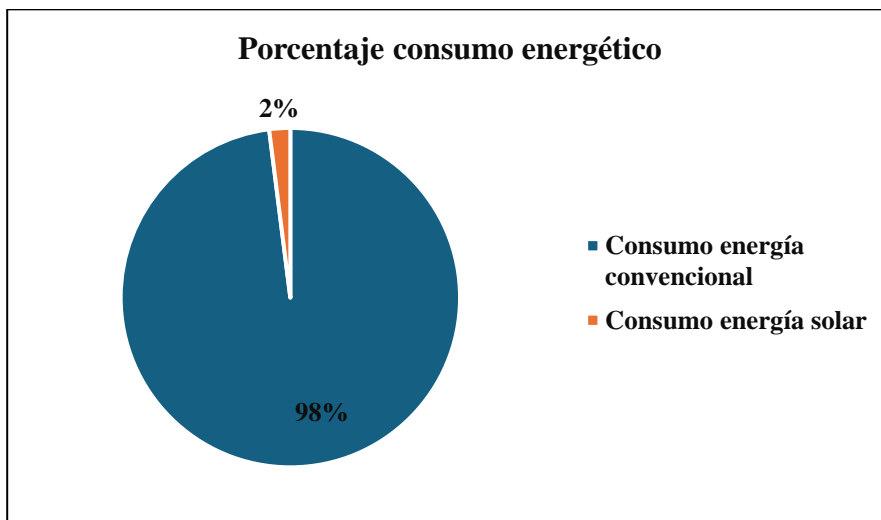
Por lo tanto, los patrones y tendencias identificados indicaron que el consumo energético del Centro Comercial estuvo estrechamente relacionado con factores externos como la pandemia y con las estrategias internas de sostenibilidad implementadas en los últimos años. La incorporación de energía solar y la optimización del consumo energético parecieron haber dado resultados positivos, reduciendo el uso de energía convencional de manera significativa en el año 2023.

6.1.2 Análisis de patrones de consumo

El análisis de patrones de consumo se desarrolló a partir de la información obtenida, lo que permitió estudiar el consumo energético a diferentes escalas temporales, como mensual y anual. A través de las gráficas generadas, fue posible identificar picos y valles en el consumo de energía, lo que facilitó la comprensión de cómo se distribuye y utiliza la energía en las zonas comunes del centro comercial.



Gráfica 4 Consumo energético del centro comercial ubicado en chíá en el año 2022. Adaptación propia

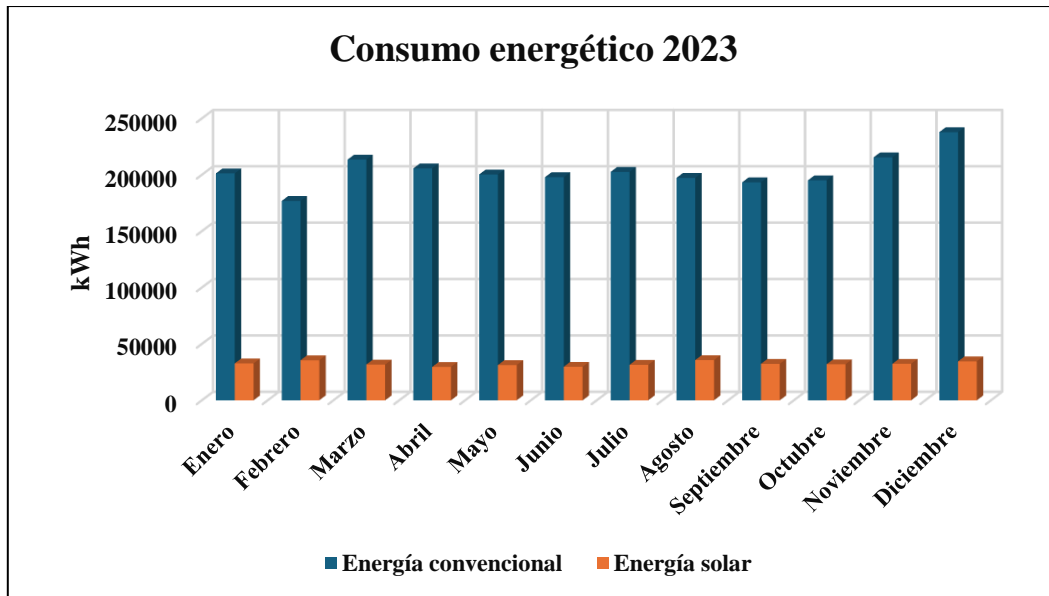


Gráfica 5 Porcentaje del consumo energético del centro comercial ubicado en Chíá. Adaptación propia

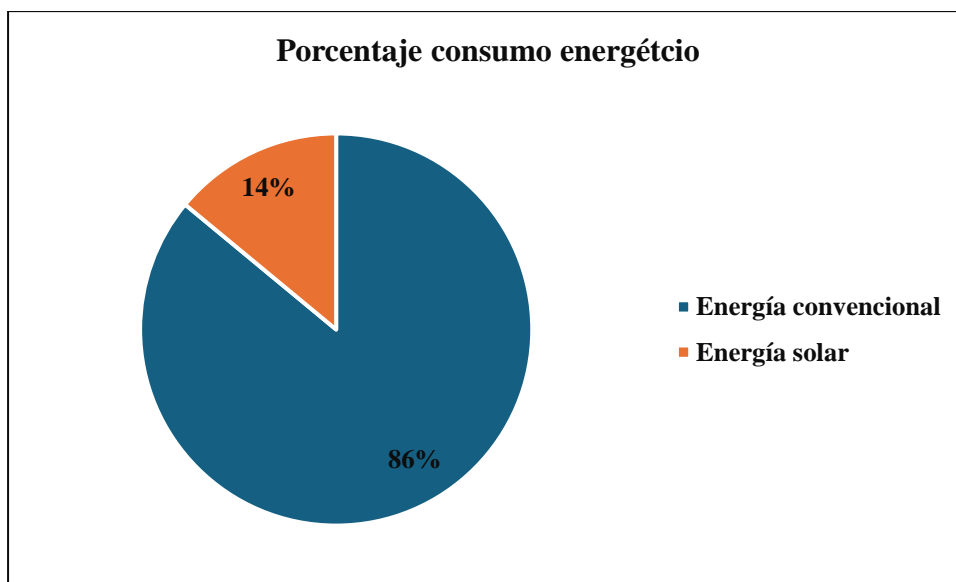
Las gráficas anteriores reflejan el consumo energético mensual del centro comercial durante el año 2022, mostrando la gráfica superior la cantidad de energía consumida en kWh (Kilovatio-hora) por mes. El consumo fue más elevado en los primeros meses del año, especialmente en marzo, con un pico de 301.994 kWh (Kilovatio-hora). Este consumo comenzó a disminuir gradualmente a partir de abril y se mantuvo en una tendencia descendente hasta septiembre, cuando alcanzó su punto más bajo del año con 185.064 kWh (Kilovatio-hora). A partir de octubre, el consumo volvió a aumentar ligeramente, manteniéndose estable en los últimos meses del año con un promedio mensual cercano a los 200.000 kWh (Kilovatio-hora). Es decir, el promedio de consumo diario se calculó en 8.128 kWh, un valor considerable que resaltó la magnitud del uso de energía del centro comercial.

En particular, el bajo consumo observado en diciembre puede explicarse en parte, por la implementación desde septiembre hasta diciembre de una mejora en la eficiencia energética del centro comercial. En ese mes, se realizó un cambio del 45% de la iluminación a tecnología LED, lo que contribuyó a una notable reducción en el consumo energético.

Otro aspecto importante que se observó en la gráfica 5 fue la participación de la energía solar en el consumo total del centro comercial. Aunque esta contribución fue pequeña en comparación con el consumo total, representando aproximadamente el 2%, el cual reflejó el uso de energías renovables como parte de la estrategia energética del centro comercial. El gráfico torta a la derecha confirmó esta proporción, mostrando visualmente cómo el 98% del consumo energético correspondió a fuentes tradicionales, mientras que el 2% provino de energía solar.



Gráfica 6 Consumo energético del centro comercial ubicado en Chía en el año 2023. Adaptación propia



Gráfica 7 Porcentaje consumo energético 2023 del centro comercial ubicado en Chía. Adaptación propia

En las gráficas 6 y 7, se observa una tendencia general de crecimiento en el consumo de energía del Centro Comercial a lo largo del año 2023, tanto en la energía convencional como en la energía solar. En el gráfico de barras superior, se puede apreciar que el consumo mensual de energía solar se mantiene relativamente constante a lo largo del año, mientras que el consumo de energía convencional presenta incrementos más pronunciados hacia los meses finales. A pesar de esta

variación en el consumo convencional, el sistema solar contribuye de manera estable y predecible, proveyendo un 14% del consumo total de energía, según el gráfico torta en la parte inferior derecha.

El gráfico 6, muestra las barras azules correspondiente al consumo energético convencional, que sigue un comportamiento fluctuante, con descensos leves en los primeros meses y un marcado aumento en los últimos meses del año. En contraste, la línea naranja del sistema solar mantiene una estabilidad notable en su generación mensual de energía, lo que refuerza su papel como complemento constante al sistema convencional. Esta estabilidad permite que el promedio de consumo diario de 8.128 kWh permanezca distribuido eficientemente entre ambas fuentes, siendo la energía solar una fuente clave para reducir el impacto de los picos de demanda en la red eléctrica convencional.

Durante el año 2023, el consumo energético del centro comercial presentó variaciones a lo largo de los meses, como se evidencia en la gráfica 6 con el uso de la energía convencional frente a la energía solar. Enero y diciembre fueron los meses con los consumos más altos, alcanzando 233.958 kWh y 272.352 kWh, respectivamente. El consumo solar, aunque significativamente menor, mostró una tendencia de aumento gradual, contribuyendo con 32.713 kWh en enero y alcanzando su máximo en diciembre con 34.962 kWh.

A lo largo del año, la proporción de energía solar utilizada mostró un aumento gradual. Al inicio del año 2023, esta contribución representaba entre el 13% y el 14% del consumo total, mientras que para diciembre alcanzó su máximo con un 14% del consumo mensual. Este incremento estuvo influenciado, en parte, por la mayor irradiación solar durante esos meses, lo que refuerza una tendencia positiva hacia la integración de fuentes renovables en el consumo energético del centro comercial.

Al comparar las gráficas del consumo energético del centro comercial entre los años 2022 y 2023, se observan diferencias notables tanto en los patrones de consumo como en la contribución de la energía solar. En el año 2022, los meses de mayor consumo energético fueron enero (245.868 kWh) y diciembre (219.533 kWh), mientras que en el año 2023 estos valores fueron de 233.958 kWh en enero y 272.352 kWh en diciembre. Es evidente que en el año 2023 el consumo energético general aumentó hacia el final de la vigencia, particularmente en diciembre, lo que sugiere un incremento en la demanda de energía en comparación con el año 2022.

Una diferencia clave radica en la contribución de la energía solar. En el año 2022, la participación solar fue significativamente menor, representando solo un 2% del consumo total, mientras que en el año 2023 la energía solar cubrió un 14% del consumo, lo que demuestra una mayor integración de fuentes renovables. Este aumento en la participación solar en el año 2023 es indicativo de una ampliación del sistema fotovoltaico, lo que contribuyó a reducir la dependencia del sistema convencional. A pesar de estos avances, es importante notar que la energía solar sigue representando una fracción relativamente pequeña del consumo total, lo que refleja oportunidades para seguir mejorando en la adopción de energías renovables.

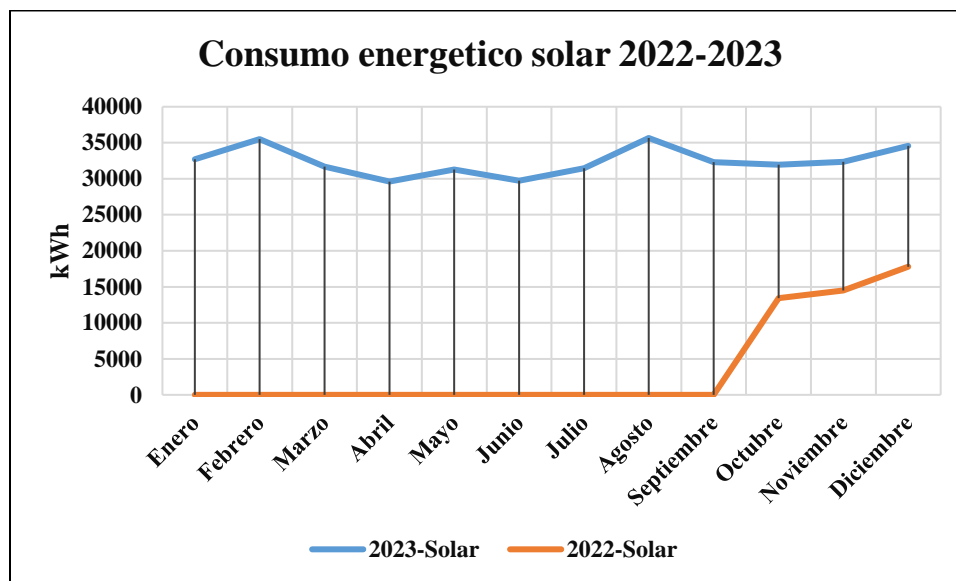
6.1.3 Identificación de Oportunidades de Optimización

En las gráficas del año 2022 y 2023 suministradas que no se evidencian por derechos de autor, se presenta un comportamiento distinto en el consumo energético de las diferentes subestaciones (SUB-2, SUB-3, SUB-4, SUB-6) y el aporte de la energía solar.

En el año 2022, la subestación SUB-6 registró un consumo superior de 151.000 kWh al inicio del año en comparación con el año 2023, aunque presentó una tendencia decreciente que se mantuvo hasta diciembre. Las demás subestaciones, SUB-2 (48.000 kWh - 55.000 kWh), SUB-3 (54.000 kWh - 55.000 kWh) y SUB-4 (45.000 kWh - 47.000 kWh), mostraron consumos más bajos

y relativamente estables a lo largo del año. En cuanto a la energía solar, su contribución fue mínima, con un total de 45.721 kWh.

Para el año 2023, la SUB-6 siguió siendo la mayor consumidora de energía con un consumo más alto de 102.000 kWh. Las demás subestaciones, especialmente SUB-2 (48.000 kWh) y SUB-3 (51.000 kWh), también experimentaron un aumento en su consumo hacia el final del año. La energía solar, por su parte, incrementó su participación, alcanzando su máximo consumo en diciembre de 34.562 kWh como se puede apreciar en la siguiente gráfica 4, lo que reflejó una oportunidad para incrementar el uso de energías renovables en el centro comercial.



Gráfica 8 Consumo energético solar 2022-2023. Adaptación propia

El gráfico torta, mostró la distribución porcentual del consumo energético anual, en la cual la SUB-6 representó el mayor porcentaje tanto en el año 2022 (46%) como en el año 2023 (31%), aunque en la vigencia 2023 la distribución estuvo un poco más equilibrada entre las diferentes subestaciones.

6.2 Desarrollo fase 2: Evaluación de la oferta del proveedor de tecnología eólica

6.2.1 Selección del proveedor de tecnología eólica

Para la elección del proveedor se contactaron a 5 empresas que manejan tecnología eólica en el país, de las cuales solo una aceptó el reto, puesto que las otras manifestaban que Chía no se adaptada a las condiciones climáticas necesarias para iniciar este tipo de proyectos.

Descripción del proveedor

TAVI Technology es una empresa especializada en soluciones tecnológicas, incluyendo sistemas de energía renovable, con una sólida experiencia en el sector de la energía eólica, evidenciada por su oferta de productos y servicios innovadores. La compañía ofrece tecnologías avanzadas en energía eólica, incluyendo análisis detallados y sistemas de monitoreo, adaptando sus soluciones a las necesidades específicas de sus clientes y demostrando capacidad para abordar proyectos complejos y personalizados. Su reputación en el mercado colombiano es destacada, con un firme compromiso hacia la implementación de tecnologías sostenibles, respaldada por varios premios y logros significativos: reconocimiento por el aumento de la innovación en las Pymes del Valle del Cauca (Impretics), el Premio de Impacto y Primer Lugar en el Climate Launchpad Colombia 2020, el Premio a Mejor Idea Innovadora en el mismo evento, y el Premio a Mejor Desarrollo de Innovación en Auricommerce 2020. Además, es la primera empresa colombiana en fabricar generadores de alta eficiencia con patente internacional. Sus logros incluyen el Diploma de Patente para el Sistema de Generación de Energía Eléctrica de Corriente Alterna por Campo Expansivo (Certificado número 36661 / Clasificación: H02J 3/00, H04B 1/00) y una invención nacional para un generador eléctrico de campo magnético lineal contrapuesto (TAVI Technology, 2021).

6.2.2 Informe del proveedor

Se realizó un recorrido con el proveedor TAVI para evaluar la viabilidad de implementar energía eólica en el Centro Comercial ubicado en chía. Durante este proceso, se utilizó un anemómetro para medir la velocidad del viento en la cubierta del edificio, encontrando una velocidad promedio de 2 m/s (ilustración 6). Esta velocidad fue insuficiente para la implementación de turbinas eólicas, ya que, según la ficha técnica proporcionada por TAVI, las turbinas recomendadas requieren una velocidad mínima de 5 m/s para funcionar de manera eficiente. Debido a que la velocidad promedio medida estuvo por debajo de este rango, no sería viable utilizar directamente la energía eólica en esta área (Tavi technology, 2021) .



Ilustración 1 Mediciones con el anemómetro de velocidad de viento en el centro comercial. Fuente propia



Ilustración 2 Medición de velocidad en la parte superior de un condensador de aire acondicionado vertical

Sin embargo, se identificó que una posible solución es aprovechar el flujo de aire generado por los condensadores de aire acondicionado vertical. Estos equipos expulsan aire caliente a altas velocidades para enfriar el sistema, generando condiciones favorables para la instalación de turbinas. Tras un muestreo en la parte superior de los condensadores, se registró una velocidad del aire de 11 m/s (ilustración 7), superando el mínimo requerido para una operación eficiente de las turbinas eólicas. Este hallazgo abre una oportunidad para aprovechar los flujos de aire generados por los condensadores como fuente de energía renovable (Tavi technology, 2021).

Posteriormente, se llevó a cabo un levantamiento de la cantidad de equipos de aire acondicionado presentes en el centro comercial, encontrándose un total de 70 unidades. Con base en esta información, se consideró la propuesta del proveedor TAVI Technology, que incluye alternativas innovadoras de turbinas eólicas adaptadas para aprovechar la velocidad del aire generado por los condensadores, así como por los postes de la sección vehicular y los extractores de CO₂. Estas fuentes se identificaron como viables para la generación de energía eólica en el sitio.

TAVI Technology presentó una propuesta detallada para la implementación de un sistema estacionario de turbinas eólicas en el centro comercial. La propuesta incluye el diseño, instalación y puesta en marcha de un sistema de generación renovable basado en turbinas con un rango de generación entre 100 W y 500 W, según la variabilidad del viento. Debido a que la estación meteorológica del centro comercial no está operativa, TAVI utilizó un software especializado para estimar la potencia generada, considerando las velocidades de viento de la región de Chía, Cundinamarca.

A continuación, se detallan los componentes propuestos por TAVI Technology:

Tabla 3 Propuesta de TAVI

Descripción	Detalle	Costo COP
Kit de 10 turbinas eólicas	Para adaptarse en los condensadores de aire acondicionado	\$ 50.000.000
Turbina eólica 100-500w	Para adaptarse en los condensadores de aire acondicionado	\$ 5.000.000
Turbina eólica 500w	Diseñada para la instalación en el sótano del centro comercial	\$ 12.000.000
Microturbina de 100-300w	Adaptada para los postes del área vehicular externa del centro comercial.	\$ 7.000.000
Instalación	kit de 1 turbina	\$ 3.000.000
Instalación	kit de 10 turbinas	\$ 10.000.000

TAVI Technology procedió a detallar las razones para la instalación de las turbinas eólicas, enfocándose en la necesidad del centro comercial de reducir su alto consumo energético mediante soluciones sostenibles. Las turbinas se seleccionaron para aprovechar el flujo de aire generado por los condensadores de aire acondicionado, cuya velocidad de 11 m/s es suficiente para una operación eficiente. Además, se propusieron turbinas de 500 W para el sótano y microturbinas de

100-300 W para el área vehicular externa, ajustándose a las necesidades específicas de cada ubicación.

6.2.3 Cálculo de la generación de energía eólica total con la propuesta del proveedor

En la siguiente tabla se presenta un análisis detallado de los costos unitarios, cantidades y capacidad de generación de energía de diferentes turbinas eólicas ofrecidas por el proveedor. Las cantidades especificadas fueron determinadas tras un recorrido estratégico realizado en colaboración con el proveedor TAVI, con el objetivo de identificar las ubicaciones óptimas para la instalación de las turbinas. Este análisis contribuye a estimar la capacidad total de generación de energía del sistema.

Tabla 4 Costos y generación de energía eólica

Ubicación de turbina eólica	Costo unitario (COP)	Cantidad	Total (COP)	Generación de energía por cada equipo*
Condensadores cubierta	\$ 5.000.000	70	\$ 350.000.000	100-500 W
Postes	\$ 7.000.000	20	\$ 140.000.000	100-300 W
Extractor CO ₂ sótano	\$ 12.000.000	14	\$ 168.000.000	500 W
			\$ 658.000.000	

Nota: *Este valor fue proporcionado por el proveedor.

Para determinar la generación total de energía eólica del sistema, se sumaron los valores de generación proporcionados para cada uno de los componentes. Dado que algunos de estos componentes presentan un rango de potencia generada, se calcularon tanto los valores mínimos como los máximos posibles de generación. Los resultados del cálculo son los siguientes:

- Condensadores cubierta:

$$\text{Generación mínima: } 70 \text{ unidades} * 100 \text{ W} = 7\text{kW}$$

$$\text{Generación máxima: } 70 \text{ unidades} * 500\text{W} = 35\text{kW}$$

- Postes:

$$\text{Generación mínima: } 20 \text{ unidades} * 100W = 2kW$$

$$\text{Generación máxima: } 20 \text{ unidades} * 300W = 6kW$$

- Extractor de CO₂ para sótano: Este componente tiene una capacidad fija de generación de 500W por unidad.

$$\text{Generación total: } 14 \text{ unidades} * 500W = 7kW$$

Una vez analizada la capacidad de generación de cada componente, se calcula el rango total de la capacidad energética del sistema eólico.

- Generación mínima:

$$7kW(\text{condesadores}) + 2kW(\text{Postes}) + 7kW(\text{Extractores}) = 16kW$$

- Generación máxima:

$$35kW(\text{condesadores}) + 6kW(\text{Postes}) + 7kW(\text{Extractores}) = 48kW$$

6.2.4 Comparación de la generación de energía eólica con el consumo energético del centro comercial

Para evaluar el impacto del sistema eólico en la reducción del consumo energético del centro comercial, se calculó la energía generada por los componentes eólicos y se comparó con el consumo del centro comercial. A continuación, se detallan los pasos seguidos para este análisis.

En este primer paso, se analizaron los siguientes datos de consumo energético:

- Pico de consumo en marzo 2022: 301.994 kWh
- Pico de consumo en diciembre 2023: 272.352 kWh
- Consumo promedio diario en 2022 y 2023: 8.128 kWh

La selección de estos meses se basó en la identificación de los picos de consumo energético, que representan períodos críticos en el comportamiento del consumo del centro comercial. El mes de marzo del año 2022, fue elegido debido a su máxima demanda energética, lo que permite evaluar el consumo en un momento de alta actividad. El mes de diciembre de la vigencia 2023 fue incluido como una comparación para observar las tendencias en la reducción del consumo en un periodo posterior, facilitando así un análisis comparativo del impacto del sistema eólico.

La energía generada por el sistema eólico se calculó en función de las horas de operación diarias de cada componente y la potencia de generación mínima y máxima. Los componentes del sistema y sus características son las siguientes:

- Condensadores de cubierta:
 - o Potencia mínima: 7 kW
 - o Potencia máxima: 35 kW
 - o Horas de operación diarias: 6 horas (2:00 pm - 8:00 pm)
- Postes:
 - o Potencia mínima: 2 kW
 - o Potencia máxima: 6 kW
 - o Horas de operación diarias: 15 horas (7:00 am - 10:00 pm)
- Extractor de CO₂ para sótano:
 - o Potencia fija: 7 kW
 - o Horas de operación diarias: 4 horas (6:00 pm - 10:00 pm)

Para calcular la energía generada por cada componente, se utiliza las siguientes formulas:

$$\text{Energía generada}(kWh) = \text{potencia (kW)} * \text{horas de operación (h)}$$

$$\text{Energía mensual (kWh)} = \text{Energía diaria (kWh)} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Energía anual (kWh)} = \text{Energía diaria (kWh)} * 365 \text{ días}$$

Generación Diaria

- Generación diaria mínima

$$\text{Energía generada por condensadores} = 7 \text{ kW} * 6 \text{ h} = 42 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía generada por postes} = 2 \text{ kW} * 15 \text{ h} = 30 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía generada por extractores} = 7 \text{ kW} * 4 \text{ h} = 28 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía total mínima diaria} = 42 \text{ kWh} + 30 \text{ kWh} + 28 \text{ kWh} = 100 \text{ kWh}$$

- Generación diaria máxima

$$\text{Energía generada por condensadores} = 35 \text{ kW} * 6 \text{ h} = 210 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía generada por postes} = 6 \text{ kW} * 15 \text{ h} = 90 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía generada por extractores} = 7 \text{ kW} * 4 \text{ h} = 28 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía total máxima diaria} = 210 \text{ kWh} + 90 \text{ kWh} + 28 \text{ kWh} = 328 \text{ kWh}$$

Tabla 5 Generación mensual y anual

Tipo de generación	Mínima (kWh)	Máxima (kWh)
Generación mensual	3.000	9.840
Generación anual	36.500	119.720

Luego, se calculó el porcentaje de cobertura de la energía generada por el sistema eólico respecto al consumo energético del centro comercial con la siguiente fórmula:

$$\text{Cobertura (\%)} = \left(\frac{\text{Energía generada por el sistema eólico}}{\text{Consumo energético del centro comercial}} \right) \times 100$$

Tabla 6 Resultados de cobertura %

Escenario	Cobertura mínima (%)	Cobertura máxima (%)
Cobertura diaria	1.23	4.04
Cobertura mensual en marzo 2022	0.99	3.26
Cobertura mensual en diciembre 2023	1.10	3.62

6.3 Desarrollo fase 3:

6.3.1 Costo de instalación y equipos

Para evaluar la viabilidad económica de la implementación de energía eólica, se considera una serie de costos iniciales relacionados con la adquisición e instalación de los equipos necesarios. A continuación, se presenta una tabla con los costos de los equipos que son 104 turbinas eólicas y las alternativas de instalación disponibles. Es importante mencionar que estos costos fueron proporcionados por el proveedor, garantizando su veracidad y actualización:

Tabla 7 Tabla de costos de instalación y equipos

Referencia	Costo (COP)	Cantidad	Costo Total (COP)
Kit de 10 microturbinas eólicas con conexión a la red	\$ 50.000.000	7	\$ 350.000.000
Kit microturbinas eólicas de poste en acero inoxidable	\$ 7.000.000	20	\$ 140.000.000
Kit de 1 turbina eólica de 500 W y 120cm de diámetro para sótano	\$ 12.000.000	14	\$ 168.000.000
Instalación de kit de 1 turbina	\$ 3.000.000	4	\$ 12.000.000
Instalación del kit de 10 turbinas eólicas y conexión a la red	\$ 10.000.000	10	\$ 100.000.000
			\$ 770.000.000

A continuación, se presentarán tres tablas para el análisis de la viabilidad económica de la generación eólica en el centro comercial. La tabla 8, muestra la generación total de energía eólica por tipo de turbina, incluyendo la cantidad de unidades y los rangos de generación diaria, mensual y anual, tanto en escenarios mínimos como máximos. En la tabla 9, se detallan los valores monetarios correspondientes a la generación mínima de energía eólica, calculados con base en el precio por kWh para el año 2023. Finalmente, la tabla 10, presenta los valores en dinero asociados a la generación máxima de energía eólica, lo cual permite evaluar el potencial económico en condiciones óptimas de operación.

Tabla 8 Generación de energía eólica total

Tipos de turbina	Cantidad	Generación diaria mínima (kWh)	Generación diaria máxima (kWh)	Generación mensual mínima (kWh)	Generación mensual máxima (kWh)	Generación anual mínima (kWh)	Generación anual máxima (kWh)
Condensadores	70	42	210	1.260	6.300	15.330	76.650
Postes	20	30	90	900	2.700	10.950	32.850
Extractores	14	28	28	840	840	10.220	10.220
Total	104	100	328	3.000	9.840	36.500	119.720

Tabla 9 Valor en dinero de la generación eólica mínima

Ubicación de turbina eólica	Generación diaria mínima (kWh)	Generación mensual mínima (kWh)	Generación anual mínima (kWh)	Valor Diario (COP) Precio kWh (800COP) 2023	Valor Mensual (COP) Precio kWh (800COP) 2023	Valor Anual (COP) Precio kWh (800COP) 2023
Condensadores	42	1.260	15.330	\$ 33.600	\$ 1.008.000	\$ 12.264.000
Postes	30	900	10.950	\$ 24.000	\$ 720.000	\$ 8.760.000
Extractores	28	840	10.220	\$ 22.400	\$ 672.000	\$ 8.176.000
Total	100	3.000	36.500	\$ 80.000	\$ 2.400.000	\$ 29.200.000

Tabla 10 Valor en dinero de la generación eólica máxima

Ubicación de turbina eólica	Generación diaria máxima (kWh)	Generación mensual máxima (kWh)	Generación anual máxima (kWh)	Valor Diario (COP) Precio kWh (800COP) 2023	Valor Mensual (COP) Precio kWh (800COP) 2023	Valor Anual (COP) Precio kWh (800COP) 2023
Condensadores	210	6.300	76.650	\$ 168.000	\$ 5.040.000	\$ 61.320.000
Postes	90	2.700	32.850	\$ 72.000	\$ 2.160.000	\$ 26.280.000
Extractores	28	840	10.220	\$ 22.400	\$ 672.000	\$ 8.176.000
Total	328	9.840	119.720	\$ 262.400	\$ 7.872.000	\$ 95.776.000

6.3.2 Garantías de los equipos y sistema de energía eólica

Para este proyecto de implementación de un sistema de energía eólica, el proveedor ha establecido una serie de garantías que permiten evaluar la durabilidad y el soporte técnico ofrecido. A continuación, se detallan las condiciones de las garantías y los servicios asociados:

- **Garantía estructural de 5 años en generadores:** La estructura de los generadores está cubierta durante un periodo de cinco años. Esto asegura que cualquier fallo estructural dentro de este plazo será reparado o reemplazado por el proveedor sin costo adicional para el proyecto.
- **Garantía del generador por 2 años:** El generador tiene una garantía directa de fábrica de dos años, lo que cubre cualquier defecto o problema técnico durante este tiempo. Pasados esos dos años, el mantenimiento o reemplazo de los generadores correrá por cuenta del proyecto, por lo que se podría proyectar costos de mantenimiento adicionales a partir del tercer año.
- **Garantía de instalación por 1 año:** La instalación del equipo tiene una cobertura de un año. Esto incluye la corrección de cualquier problema derivado del proceso de instalación durante este tiempo. Después del primer año, cualquier reparación de la instalación deberá ser cubierta por el cliente.

- Garantía de 2 años para el kit completo: Esta garantía es válida siempre y cuando se cumplan los requisitos de mantenimiento establecidos por el proveedor. Esto incluye, entre otros, mantener los tableros de control y dispositivos electrónicos en un lugar seco y realizar el mantenimiento de los rodamientos cada 24 meses. Asimismo, solo el personal autorizado por el proveedor puede manipular los equipos.

6.3.3 Análisis Financiero

El presente análisis financiero evalúa la viabilidad económica del proyecto de implementación de energía eólica en un centro comercial. Para este análisis se han considerado varios factores, incluidos los beneficios fiscales y regulatorios establecidos por la Ley 1715 de 2014 en Colombia. La evaluación financiera de un proyecto es fundamental para asegurar su viabilidad a largo plazo. Cada decisión relacionada con la inversión, el ahorro, el costo de mantenimiento y los beneficios fiscales debe estar en datos precisos y en un análisis. A continuación, se presentan los cálculos y las implicaciones financieras del proyecto, que reflejan no solo la inversión inicial y los ahorros esperados, sino también las consideraciones fiscales y la política interna de la compañía respecto a la rentabilidad de los proyectos:

1. Inversión inicial: La inversión en este proyecto es 770 millones COP, sin embargo, hay que tener en cuenta el costo de levantamiento de información, estimado en \$5.000.000 COP, para asegurar datos precisos sobre el consumo energético y la viabilidad del sistema propuesto. Además, se ha asignado un presupuesto de \$15.000.000 COP para cubrir posibles costos imprevistos, garantizando la capacidad de respuesta ante cualquier eventualidad durante la ejecución del proyecto.
2. Ahorro anual (Generación energía eólica): Se selecciona la tabla 8 donde se evidencia el valor de \$ 95.776.000 COP.

3. Costo de mantenimiento: Estimado en el 1% del costo inicial, es decir, 7.7 millones COP anuales a partir del tercer año.
4. Tasa de descuento: La tasa de descuento del 10% es adecuada para proyectos de energías renovables en Colombia, como la energía eólica, debido a los menores riesgos y los incentivos gubernamentales. En contraste, la tasa del 15% refleja un enfoque más conservador, aplicable a proyectos energéticos con mayores riesgos financieros y regulatorios. Las tasas de descuento en el sector energético colombiano suelen oscilar entre el 10% y 15%, dependiendo de los riesgos y condiciones del mercado, lo que justifica el uso de ambos escenarios en este análisis (CREG, 2023).
5. Beneficios Fiscales (Ley 1715 de 2014):
 - a. Deducción del 50% de la inversión: La inversión inicial efectiva para el cálculo es 385 millones COP.
 - b. Exclusión del IVA y Exención de Aranceles: Reducción del costo total del proyecto.
 - c. Depreciación Acelerada: Reducción de impuestos basada en la depreciación acelerada de los activos del proyecto.
6. El flujo de caja del presente proyecto se ha proyectado a un plazo de 5 años. Esta decisión responde a la política interna de la compañía, la cual establece que solo se aprobarán aquellos proyectos que demuestren su rentabilidad en un periodo igual o inferior a cinco años. Proyectos mayores a este periodo de recuperación son considerados financieramente inviables bajo los criterios de evaluación de la compañía, por lo tanto, no son aceptados para su ejecución.
7. El costo de consumo energético y consumo de energía solar se representa el gasto anual.

Tabla 11 Flujo de caja anual

FLUJO DE CAJA 2023					
Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Entradas de Efectivo					
Ahorro por Energía Eólica (COP)		\$ 95.776.000	\$ 95.776.000	\$ 95.776.000	\$ 95.776.000
Ahorro pago de energía*	\$ 1.174.609.920	\$ 1.174.609.920	\$ 1.174.609.920	\$ 1.174.609.920	\$ 1.174.609.920
Total, entradas	\$ 1.174.609.920	\$ 1.270.385.920	\$ 1.270.385.920	\$ 1.270.385.920	\$ 1.270.385.920
Salidas de Efectivo					
Costo de levantamiento de información	\$ 5.000.000				
Inversión Inicial (COP)	\$ 385.000.000				
Costo de Consumo energético	\$ 1.957.683.200	\$ 1.957.683.200	\$ 1.957.683.200	\$ 1.957.683.200	\$ 1.957.683.200
Costo de Energía Solar	\$ 122.569.250	\$ 122.569.250	\$ 122.569.250	\$ 122.569.250	\$ 122.569.250
Mantenimiento (a partir del Año 3)			\$ 7.700.000	\$ 7.700.000	\$ 7.700.000
Costos imprevistos	\$ 15.000.000				

FLUJO DE CAJA 2023					
Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Total, salidas	\$ 2.465.252.450	\$ 2.080.252.450	\$ 2.087.952.450	\$ 2.087.952.450	\$ 2.087.952.450
Flujo Neto de Efectivo	\$ 1.290.642.530	\$ 809.866.530	\$ 817.566.530	\$ 817.566.530	\$ 817.566.530

*El 60% que pagan el consumo energético los aliados (locales).

Tabla 12 Resultado VPN, TIR

Tasa de Descuento	VPN (COP)	TIR (%)
10%	-3.577.925.840	No aplicable
15%	-3.216.375.331	No aplicable

7. Discusión de los resultados

Los resultados presentados demuestran que la implementación de energía eólica en el Centro Comercial no es viable, puesto que el porcentaje de cobertura es del 4.04%, lo que implica que es bajo. Estos resultados evidencian que la generación eólica no cumple con las expectativas planteadas en términos de eficiencia y capacidad energética. Adicionalmente, en el análisis histórico de datos se evidencia que el uso de energía eólica no será suficiente para reducir el consumo de energía convencional.

Financieramente, el análisis del Valor Presente Neto (VPN) para el proyecto, cuyos resultados se observan en la tabla 11, muestra resultados negativos en todos los escenarios de tasas de descuento evaluadas: -3.578 millones de COP al 10% y -3.216 millones de COP al 15%. Estos valores indican que el proyecto no generará suficientes flujos de caja para recuperar la inversión inicial dentro del periodo de 5 años, lo que lo hace financieramente inviable. Un VPN negativo

significa que, al aplicar el costo del capital (la tasa de descuento), el valor actual de los ahorros proyectados es insuficiente para compensar los gastos iniciales y operativos.

En cuanto a la Tasa Interna de Retorno (TIR), no se puede calcular en este caso porque el flujo de caja neto es consistentemente negativo, lo que impide que el proyecto alcance un punto de equilibrio en el que el VPN sea igual a cero. Para que exista una TIR válida, es necesario que haya una combinación de flujos positivos y negativos que permitan hallar una tasa de descuento que iguale los flujos de caja al valor de la inversión inicial, lo cual no ocurre en este proyecto.

Finalmente, al analizar los resultados a la luz del marco teórico, se observa que, aunque la energía eólica es una fuente de energía renovable con importantes beneficios ambientales, las condiciones específicas del proyecto, como la velocidad del viento en la zona y los altos costos de instalación, no permiten alcanzar los objetivos de eficiencia energética y rentabilidad esperados.

8. Conclusiones

El análisis detallado del proyecto durante los 5 años revela que la implementación de energía eólica en el Centro Comercial no es económicamente viable. El objetivo de reducir el consumo energético en un 30% no se alcanza, puesto que solo se logra cubrir un 4.04% del consumo total. Este bajo porcentaje refleja que las condiciones para la generación de energía eólica no son adecuadas en esta ubicación y que el proyecto no cumpliría con las expectativas de eficiencia energética planteadas al inicio.

Desde el punto de vista financiero, los resultados negativos del VPN y la TIR confirman que el proyecto no es rentable. La inversión inicial es considerablemente alta y los beneficios obtenidos no compensarían los costos en un periodo de tiempo razonable. Estos indicadores económicos reflejan la imposibilidad de recuperar la inversión y generar un retorno suficiente, lo que hace que el proyecto no sea atractivo para los inversores ni para los gestores del centro comercial.

En conclusión, el proyecto no cumple con los objetivos planteados de reducir el consumo energético mediante la implementación de energía eólica. Aunque la energía eólica es una opción sostenible, las condiciones económicas y técnicas del proyecto demuestran que su aplicación no es adecuada para el centro comercial en este contexto. Se deberán considerar alternativas más viables o complementarias para mejorar la eficiencia energética del centro.

9. Recomendaciones y trabajo futuro

Dado que el proyecto de energía eólica no es viable, se recomienda no proceder con su implementación en el Centro Comercial. En su lugar, se sugiere explorar otras alternativas de energías renovables, como una expansión del sistema solar, que ya ha mostrado resultados positivos en la reducción del consumo energético. Este enfoque podría mejorar la eficiencia energética sin incurrir en las pérdidas financieras que implicaría la implementación de la energía eólica. Además, se sugiere evaluar la viabilidad de incorporar un sistema de generación de energía hidráulica. Aprovechando las infraestructuras existentes de tratamiento de agua lluvia y residual en el centro comercial, este sistema podría proporcionar una fuente adicional de energía renovable. La energía hidráulica, en combinación con los sistemas solares actuales, podría incrementar la sostenibilidad del centro comercial y contribuir a una mayor reducción en el consumo de energía convencional.

Asimismo, es importante comunicar los resultados del proyecto a la comunidad para aumentar la sensibilización sobre las limitaciones de ciertos proyectos de energías renovables en contextos específicos. Se recomienda establecer un diálogo con entidades locales y otros centros comerciales para compartir los hallazgos, promoviendo así un intercambio de mejores prácticas que permita identificar estrategias más eficientes para reducir el consumo de energía en instalaciones comerciales.

Finalmente, se aconseja continuar con la investigación y optimización de las fuentes de energía renovables disponibles, combinando las tecnologías existentes con nuevas estrategias de gestión energética. Esto incluye la posibilidad de aplicar mejoras tecnológicas a los sistemas de consumo energético actuales, como la iluminación LED y la climatización eficiente, para lograr una mayor reducción del consumo energético y avanzar hacia una sostenibilidad real a largo plazo.

10. Anexos

10.1 Cronograma

Tabla 13 Cronograma del proyecto

Actividad	FASES			PERIODOS																								Responsable
	Fase 1: Validar Consistencia de Datos	Fase 2: Evaluar Oferta de Proveedores	Fase 3: Analizar Viabilidad Económica	Mes 1 marzo 2023				Mes 2 abril 2023				Mes 3 mayo 2023				Mes 4 junio 2023				Mes 5 agosto 2023				Mes 6 septiembre 2023				
				Semana 1-4				Semana 5- 8				Semana 9- 12				Semana 13-16				Semana 17-20				Semana 21-24				
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Recopilación de datos	X																											Eimy Chamorro
Análisis de patrones de consumo	X																											Eimy Chamorro
Identificación de oportunidades de optimización	X																											Eimy Chamorro
Búsqueda de proveedores de energía eólica		X																										Eimy Chamorro
Recopilación de documentación del proveedor		X																								Eimy Chamorro		
Calcular generación de energía eólica		X																										Eimy Chamorro
Recopilación de costos			X																									Eimy Chamorro
Desarrollo del modelo financiero			X																									Eimy Chamorro

11. Bibliografía

- Acciona. (s.f.). *¿Qué son los contratos de compraventa de energía PPA, energía limpia de empresa a empresa? Sostenibilidad para todos.* Obtenido de https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/que-son-los-contratos-de-compraventa-de-energia-ppa/?_adin=02021864894
- Agency, I. E. (2020). *Perspectivas Energéticas Mundiales 2020.* Obtenido de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a72d8abf-de08-4385-8711-b8a062d6124a/WEO2020.pdf>
- Alvarez, J. M. (2011). *GENERACIÓN EÓLICA EMPLEANDO DISTINTOS TIPOS DE GENERADORES CONSIDERANDO SU IMPACTO EN EL SISTEMA DE POTENCIA.* Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n169/a11v78n169.pdf>
- Aranda Usón, A., & Scarpellini, S. (2009). *Análisis de viabilidad económico- financiero de un proyecto de energías renovables.* Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Archer, C. L., & Jacobson, M. Z. (2005). Evaluation of global wind power. *Advancing earth and space sciences*, 20.
- Cadena, Á. I. (2007). *La política energética colombiana y los retos de coordinación.* Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n25/n25a11.pdf>
- Castaño, M., & García, J. (2020). *Lecturas de Economía.* Obtenido de Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia: <https://doi.org/10.17533/udea.le.n93a338727>

Chou Rodríguez, R. M. (2017). *Energía eólica y aerogeneradores: estudio comparativo de diferentes variantes para el perfeccionamiento de las multiplicadoras*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v9n4/rus16417.pdf>

City, L. J. (2024). Obtenido de <https://www.lakesidejoondalup.com.au/community/sustainability/>

Cornejo, A. B. (2021). *LA IMPORTANCIA DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN CENTROS COMERCIALES EN LIMA*. Obtenido de https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/14421/Importancia_uso_energias_renovables.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CREG. (2023). *Comisión de regulación de energía y gas*. Obtenido de https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_702-1_2023.htm

DANE. (2023). *DANE*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/PublishingImages/Planeacion-y-desarrollo/2024/enero/pdf/informe-ipc-diciembre-2023.pdf>

Energetica, P. (2022). *CONPES 4075*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4075.pdf>

Energetica, P. d. (2022). *CONPES 4075*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4075.pdf>

Energy Outlook. (2023). *Perspectiva Energética*. Obtenido de <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>

Eurelectric. (10 de Septiembre de 2023). *Eurelectric*. Obtenido de <https://www.eurelectric.org/in-detail/ppas/>

Flores, R. C. (22 de noviembre de 2018). *Política energética: problemas y posibles soluciones*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/eunam/v16n46/1665-952X-eunam-16-46-109.pdf>

Harvard Business Review . (2012). *Finance Basics for managers*. Harvard Business Review.

IEA. (November de 2019). *IEA*. Obtenido de World Energy Outlook 2019: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>

IEA. (10 de 2020). Obtenido de World Energy Outlook 2020: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>

IEA. (2021). *IEA*. Obtenido de Energy Efficiency 2021: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>

Lee, J., & Zhao, F. (2021). Global Wind Report 2021. *Global Wind Energy Council*, 80.

León, S. J.-H. (4 de abril de 2014). Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/prode/v45n178/v45n178a7.pdf>

Lopez, M. (2012). *Ingeniería de la energía eólica*. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=GW_jEgJJSdcC&oi=fnd&pg=PA4&dq=energ%C3%ADa+e%C3%B3lica+caracter%C3%ADsticas&ots=QcyO94mqtF&sig=KhX9VuuUe-vzZ8XDo4kkNoIHNo#v=onepage&q=energ%C3%ADa%20e%C3%B3lica%20caracter%C3%ADsticas&f=false

Lopez, M. V. (2012). *Ingenieria de la energia eolica* . Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=GW_jEgJJSdcC&oi=fnd&pg=PA4&dq=energ%C3%ADa+e%C3%B3lica+caracter%C3%ADsticas&ots=QcyO94mqtF&sig=KhX9VuuUe-vzZ8XDo4kkNoIHNlo#v=onepage&q=energ%C3%ADa%20e%C3%B3lica%20caracter%C3%ADsticas&f=false

Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. John Wiley & Sons, Ltd .

Marín, C. E. (2012). *La energía eólica en la producción de electricidad en España*. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n51/art07.pdf>

Milton , J., Pereira Blanco, & Turizo Pereira, L. (2020). *Universidad de cartagena* . Obtenido de Revista Jurídica: <https://revistas.unicartagena.edu.co/index.php/Juridica/article/view/3146>

Northland Power. (2024). Obtenido de <https://www.northlandpower.com/en/assets-and-infrastructure/onshore-wind.aspx>

Pasqualino, J. (2014). *Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v13n1/v13n1a08.pdf>

Publica, F. (12 de Julio de 1994). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631>

REN 21. (2021). *REN 21*. Obtenido de RENEWABLES 2021GLOBAL STATUS REPORT: <https://www.ren21.net/gsr-2021/>

René Javier Santamaria Arinas, L. M. (marzo de 2023). *Viabilidad de instalaciones eólicas, fotovoltaicas y termo solares en las Reservas de Biosfera*. Obtenido de Informe del Consejo Científico del Comité Español del Programa M&B: http://rerb.oapn.es/images/PDF_publicaciones/informe_renovables_CC_2023.pdf

Reyes Gil , R. E., Turriago Hoyos , Á., Cárdenas Piñeros , M., & Danna Buitrago , J. P. (20 de Febrero de 2023). *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*. Obtenido de Análisis de Políticas Públicas para la adopción de Energías Renovables No Convencionales en Colombia : <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v19i36.4052>

Rifkin, J. (2011). *La Tercera Revolución Industrial*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/bmdc/v50n150/2448-4873-bmdc-50-150-1457.pdf>

Santamaria Arinas, R. J., & Muñoz Benito, L. (Marzo de 2023). *Viabilidad de instalaciones eólicas, fotovoltaicas y termo solares en las Reservas de Biosfera*. Obtenido de Informe del Consejo Científico del Comité Español del programa M&B: http://rerb.oapn.es/images/PDF_publicaciones/informe_renovables_CC_2023.pdf

Simón, M. Á. (2017). *Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/ete/v84n335/2448-718X-ete-84-335-00571.pdf>

Tavi technology. (2021). Obtenido de <https://tavitechnology.com.co/project/turbina-eolica-de-500w/>

TAVI Technology. (2021). Obtenido de <https://tavitechnology.com.co/>

Unidas, N. (2024). *Acción por el Clima*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

UPME. (2020). *Unidad de Planeación Minero Energética*. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN.aspx#:~:text=En%20el%20PEN%202020%2D2050,energ%C3%A9tico%20descentralizado%2C%20descarbonizado%20y%20digitalizado>.

UU, A. d. (2024). *Perspectivas energéticas a corto plazo* . Obtenido de <https://www.eia.gov/analysis/>

Villarreal, J. (2023). *Ingeniería Económica* . Pearson.