



Diseño del modelo financiero para el cálculo de indicadores en proyectos de monitoreo y gestión energética ejecutados por el equipo de Digitalización de la empresa Celsia Colombia S.A

Castro Correa Viviana

González Moreno Johanna Andrea

Tamayo Pacheco Katiuska

Universidad Ean
Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas
Maestría en Administración de Empresas – MBA
Bogotá, Colombia
22/Octubre/2025

Diseño del modelo financiero para el cálculo de indicadores en proyectos de monitoreo y gestión energética ejecutados por el equipo de Digitalización de la empresa Celsia Colombia S.A

**Castro Correa Viviana
González Moreno Johanna Andrea
Tamayo Pacheco Katuska**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Administración de Empresas - MBA

Director (a):
Martha Lucia Pachón Palacios

Modalidad:
Trabajo Dirigido

Universidad Ean
Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas
Maestría en Administración de Empresas – MBA
Bogotá, Colombia
22/Octubre/2025

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá, 22/Octubre/2022

Agradecimientos

Agradecemos al equipo de Digitalización de la compañía Celsia Colombia S.A. E.S.P. por su colaboración y disposición para el desarrollo de este proyecto.

Resumen

La tendencia tecnológica ha revolucionado las industrias, impactando de forma directa su manera de operar, pensar y actuar. En este contexto, el monitoreo y la gestión de la información se han convertido en herramientas clave para que las organizaciones tomen decisiones efectivas, mejorando su eficiencia y sostenibilidad. No obstante, la implementación de estas soluciones tecnológicas enfrenta un gran reto: la dinámica cambiante de los negocios, las tensiones comerciales internacionales actuales y las particularidades propias de cada industria dificultan la planificación precisa de los gastos de ejecución y los costos operativos relacionados con estos proyectos.

Este proyecto de grado se centra en el desarrollo de un modelo financiero basado en el enfoque de Flujo de Caja Descontado (DCF), complementado con simulación Monte Carlo y análisis de sensibilidad, que incorpora las variables necesarias para la estructuración de proyectos de eficiencia energética por parte del equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A. E.S.P. Durante su desarrollo, se analizaron los factores e indicadores financieros que inciden en la formulación de estos proyectos, con el objetivo de mitigar errores presupuestales y fortalecer la toma de decisiones en la fase de estructuración.

Los resultados obtenidos demostraron que la integración del modelo DCF con métodos probabilísticos permite capturar la incertidumbre inherente a las condiciones de mercado y operativas, mejorando la precisión en la estimación de la rentabilidad y los riesgos. Asimismo, la aplicación práctica del modelo con datos reales evidenció su capacidad para anticipar desviaciones en los flujos proyectados y validar la coherencia financiera de los proyectos. Este enfoque no solo optimiza la gestión económica de las iniciativas de eficiencia energética, sino que también constituye una herramienta estratégica para el diseño de modelos de negocio sostenibles e innovadores dentro del sector energético colombiano.

Palabras clave: Análisis financiero, Eficiencia energética, Estructuración de proyectos, Modelo DCF, Modelo financiero, Simulación Monte Carlo.

Abstract

Technological progress has transformed industries, directly reshaping the way organizations operate, think, and make decisions. In this context, monitoring and information management have become key tools that enable organizations to make evidence-based decisions, enhancing both efficiency and sustainability. However, implementing these technological solutions remains challenging, as rapidly changing business dynamics, current international trade tensions, and industry-specific conditions make it difficult to plan and accurately estimate execution expenses and operational costs.

This master's project focuses on the development of a financial model based on the Discounted Cash Flow (DCF) approach, complemented by Monte Carlo simulation and sensitivity analysis, integrating the variables required for structuring energy-efficiency projects by the Digitalization team of Celsia Colombia S.A. E.S.P. During its development, key financial factors and indicators influencing project formulation were analyzed, aiming to mitigate budgetary errors and strengthen decision-making during the structuring phase.

The results demonstrated that combining the DCF model with probabilistic methods allows the model to capture the uncertainty inherent in market and operational conditions, thereby improving the accuracy of profitability and risk estimations. Likewise, the practical application of the model using real project data validated its ability to anticipate deviations in projected cash flows and confirm the financial consistency of investments. This approach not only optimizes the economic management of energy-efficiency initiatives but also provides a strategic tool for designing sustainable and innovative business models within the Colombian energy sector.

Keywords: DCF model, Energy efficiency, Financial analysis, Financial model, Monte Carlo simulation, Project structuring.

Contenido

Resumen	11
Abstract	12
Contenido	13
Lista de Tablas	15
Lista de Figuras	15
Introducción	17
Objetivos.....	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
Justificación	20
Marco Institucional.....	22
Presentación General de la Empresa	22
Referentes Estratégicos de la Organización.....	23
Estructura Organizacional	25
Gobierno corporativo	25
Organigrama del Equipo de Desarrollo de Producto	26
Productos o Servicios Ofertados por el equipo de Digitalización	27
Análisis del Sector.....	27
Marco de Referencia.....	29
Proyectos de Eficiencia Energética	29
Soluciones IoT	34
Gemelos Digitales	36

Machine Learning.....	37
Modelos Financieros para la Estructuración de Proyectos	38
Metodologías Implementadas en el Diseño de Modelos Financieros y Estrategias de Mitigación de Riesgos Financieros.....	40
El Modelo de Valoración de Activos Financieros (CAPM).....	41
Limitaciones del Modelo CAPM en la Evaluación de Proyectos de Ingeniería	42
Principales Enfoques para la Mitigación de Riesgos en Proyectos de Eficiencia Energética	42
Ley 1715 de 2014.....	45
Diseño Metodológico	46
Tipo de Investigación	46
Análisis Externo	48
Análisis Interno.....	49
Población, Muestra y Ficha Técnica	50
Identificación de Variables.....	52
Recolección de Información.....	55
Instrumento de Medición	55
Validación del Instrumento de Medición	55
Procesamiento Estadístico de Datos.....	57
Hallazgos principales	61
Análisis de los resultados	64
Situación actual	64
Fortalezas Actuales	70
Oportunidades de Mejora	71
Modelo DCF Complementado con Simulación Monte Carlo y Análisis de Sensibilidad	73
Etapas para la Implementación del Modelo	73
Construcción del Modelo Financiero	75
Evaluación del Modelo Financiero	86

Modelo para el Seguimiento de Proyectos Ejecutados o en Ejecución	87
Conclusiones	93
Recomendaciones	96

Lista de Tablas

Tabla 1 - Miembros Junta Directiva Celsia 2023	25
Tabla 2 - Composición de Comités Junta Directiva Celsia	26
Tabla 3 - Ficha Técnica	51
Tabla 4 - Orden de importancia de indicadores clave dentro del modelo financiero ...	59
Tabla 5 - Variables adicionales para tener en cuenta en el modelo financiero	64
Tabla 6 - Diferencia entre CAPEX proyectado y ejecutado en proyectos de monitoreo como servicio	69
Tabla 7 - Variables de entrada y parámetros definidos en el modelo financiero	79
Tabla 8 - Resultados del análisis de sensibilidad sobre VPN	82
Tabla 9 - Distribuciones probabilísticas aplicadas en la simulación Monte Carlo	84
Tabla 10 - Indicadores estadísticos del VPN resultante de la simulación	84

Lista de Figuras

Figura 1 - Comportamiento del Ingreso Celsia	23
Figura 2 - Resultados pregunta número tres	57
Figura 3 - Resultados pregunta número cuatro	58
Figura 4 - Margen proyectos monitoreo como venta	66
Figura 5 - Margen proyectos de gestión como venta.....	67
Figura 6 - ROI proyectos monitoreo como servicio	68

Figura 7 - Causas de diferencia entre CAPEX proyectado y ejecutado.....	69
Figura 8 - Tabla Resumen Modelo Financiero	77
Figura 9 - Gráficos Resumen Modelo Financiero	78
Figura 10 - Hoja Inputs Modelo Financiero	80
Figura 11 - Hoja Proyecciones Modelo Financiero.....	81
Figura 12 - Hoja Sensibilidad Modelo Financiero	83
Figura 13 - Hoja Simulación Monte Carlo Modelo Financiero.....	85
Figura 14 - Modelo para el Seguimiento de Proyectos Parámetros Generales	88
Figura 15 - Proyecciones Iniciales	88
Figura 16 - Datos Reales	89
Figura 17 - Comparación de Datos Proyectados con Ejecutados.....	90
Figura 18 - Datos generales del comparativo.....	90
Figura 19 - Tabla comparativa proyectado vs ejecutado	90
Figura 20 - Dashboard Comparación de Datos A.....	91
Figura 21 - Dashboard Comparación de Datos B.....	92

Introducción

Los datos permiten a las organizaciones tomar decisiones fundamentadas, optimizar sus tiempos de respuesta, aumentar su eficiencia operativa y actuar con resiliencia frente a la variabilidad de sus mercados objetivos. Sin embargo, en muchos casos, la implementación de estas soluciones se ve limitada por la escasa compatibilidad entre la infraestructura existente y la arquitectura tecnológica propuesta. Factores como el espacio disponible, el estado estructural, las condiciones de los equipos actuales y la disponibilidad de mano de obra calificada inciden de manera significativa en el gasto de capital (capital expenditure, CAPEX), entendido como la inversión en bienes de capital, infraestructura o equipos físicos requeridos para la ejecución de un proyecto (Corporate Finance Institute [CFI], 2023). Estas variables, en muchos casos, no pueden cuantificarse con precisión sin realizar una ingeniería de detalle que permita conocer los requerimientos técnicos y económicos reales de la implementación.

De acuerdo con la información suministrada por el equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A. E.S.P., en proyectos de baja o media cuantía, las empresas encargadas de la estructuración suelen optar por no asumir el riesgo financiero que implica desarrollar una ingeniería de detalle antes de la firma del contrato, debido al costo y al tiempo que esta etapa demanda. Por este motivo, la estructuración inicial se realiza, por lo general, con una ingeniería básica sustentada en una inspección visual del equipo técnico, la documentación proporcionada por el cliente y las condiciones generales tanto geográficas como comerciales del sitio. Este comportamiento es consistente con la literatura técnica sobre gestión de proyectos, que señala que el nivel de detalle en la fase de factibilidad depende del tamaño del proyecto, del riesgo asumido por el estructurador y de la disponibilidad de información previa (Project Management Institute [PMI], 2021; Merrow, 2011; García & López, 2020).

En proyectos de ingeniería asociados al negocio convencional de la energía, los estructuradores y equipos financieros han logrado, a través de años de experiencia, identificar los indicadores que pueden presentar variaciones significativas y afectar la rentabilidad del negocio. Por esta razón, los modelos financieros aplicados en estos contextos suelen incorporar dichas variables, con el fin de mitigar los riesgos asociados y proteger la rentabilidad esperada. No obstante, en el caso de los nuevos negocios

vinculados con la digitalización, el monitoreo energético y la sustitución tecnológica, estos factores aún no han sido plenamente caracterizados. Ello genera, en algunos casos, diferencias entre los valores proyectados y los realmente ejecutados, lo cual repercute en el desempeño financiero de los proyectos.

En este contexto, la presente investigación tiene como propósito identificar los principales factores que afectan el CAPEX requerido para la ejecución de proyectos de monitoreo y eficiencia energética, tomando como base la experiencia del equipo de Digitalización de la compañía Celsia Colombia S.A. E.S.P. A partir de este análisis, se busca definir los indicadores clave que permitan a los estructuradores de proyectos incorporar en sus modelos financieros las particularidades de este tipo de iniciativas, de manera que se reduzcan las desviaciones entre las proyecciones y los resultados reales, contribuyendo así a mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del portafolio de proyectos de eficiencia energética.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un modelo financiero para el cálculo de indicadores en proyectos de monitoreo y gestión energética ejecutados por el equipo de Digitalización de la compañía Celsia Colombia S.A. E.S.P.

Objetivos específicos

- Analizar los indicadores que intervienen en la estructuración de proyectos de monitoreo y gestión energética.
- Conceptualizar las condiciones financieras requeridas por el equipo de Digitalización para la estructuración de proyectos de monitoreo y gestión energética.
- Evaluar el comportamiento del modelo financiero diseñado con reales y simulados.

Justificación

Como parte del proceso de adaptación a las nuevas necesidades del sector industrial colombiano, han surgido nuevas compañías con un portafolio de productos y servicios orientados a las tendencias tecnológicas. Asimismo, muchas empresas históricamente asociadas a negocios tradicionales, como los servicios públicos, han optado por diversificarse e incluir dentro de sus portafolios servicios enfocados en la eficiencia energética. Empresas como EPM, Promigas, ENEL y Celsia son una prueba tangible de que la adaptación del mercado a esta necesidad de información y gestión no es opcional.

Compañías como Celsia, reconocidas por su participación en los cuatro segmentos de la cadena energética colombiana (generación, transmisión, distribución y comercialización), supieron interpretar las necesidades de sus clientes, quienes enfrentaban situaciones complejas como la incertidumbre en la disponibilidad energética, la imposibilidad de competir con importaciones y fallas operativas que se traducían en pérdidas.

Al incluir servicios de monitoreo mediante soluciones de instrumentación para la obtención de variables energéticas y de procesos, se brindó a los clientes la posibilidad de optimizar su respuesta operativa y, sobre todo, alinear las decisiones y objetivos de todas las áreas de la compañía basándose en datos. De igual forma, estos datos funcionaban en muchos casos como habilitadores de proyectos de gestión energética, en los que la compañía ponía al servicio del cliente un equipo de especialistas que, apoyados en sistemas de gestión de la información, lograba ir un paso más allá e identificar formas más eficientes de operación, lo que se traducía directamente en ahorros. Además, al permitir cuantificar la eficiencia de los procesos y equipos, los datos abrían la puerta a la sustitución tecnológica, donde se reemplazaba un equipo o una máquina por otra que operaba de forma más eficiente o representaba una oportunidad de optimización en algún segmento de la cadena operativa.

Sin embargo, como parte del proceso de aprendizaje de estas empresas, se han cometido errores financieros al estructurar este tipo de proyectos, ya que su naturaleza es mucho más dinámica en comparación con los negocios convencionales. Estos proyectos

implican un reto en términos de conocimiento específico, dado que cada uno responde a necesidades particulares según el sector, tipo de cliente y proceso.

Es en este punto donde se vuelve fundamental que los estructuradores comprendan en profundidad el comportamiento de este tipo de proyectos, los factores externos que pueden influir sobre ellos y las variables que podrían mitigar su riesgo. Por esta razón, es de gran importancia que los equipos encargados de atender estos requerimientos cuenten con una herramienta que les permita estructurar nuevas oportunidades de negocio, mitigando el riesgo financiero que podría generarse por errores en la estimación inicial del gasto de capital (capital expenditure, CAPEX) y del gasto operativo (operational expenditure, OPEX).

De acuerdo con la información suministrada por el equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A. E.S.P., la correcta estimación de estos dos componentes resulta esencial para la sostenibilidad financiera de los proyectos de monitoreo y eficiencia energética, dado que tanto el CAPEX, asociado a la adquisición e instalación de equipos, infraestructura y activos tecnológicos; como el OPEX, relacionado con los costos recurrentes de operación, mantenimiento y soporte, impactan directamente la rentabilidad y el flujo de caja proyectado de cada iniciativa.

Marco Institucional

Presentación General de la Empresa

Para el desarrollo de esta investigación se toman como referencia los proyectos ejecutados por el equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A. E.S.P. Celsia es una empresa del sector energético con presencia en los negocios de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía, tanto en Colombia como en Centroamérica (Celsia, 2022). En coherencia con su compromiso ambiental, cuenta con un amplio portafolio enfocado en la eficiencia energética y la generación a pequeña escala, dirigido a clientes residenciales, comerciales e industriales.

Actualmente, Celsia genera, transmite y comercializa energía eficiente proveniente de fuentes renovables (agua y sol), con respaldo térmico en Colombia, Panamá y Honduras, operando un total de 40 centrales de generación. En Colombia, el 70 % de su matriz energética es hídrica. La empresa cuenta con 1,3 millones de clientes de energía convencional (hogares y empresas), 20 centrales hidroeléctricas en Valle, Antioquia, Tolima y Cauca, 2 centrales térmicas de respaldo en Santander y Córdoba, 200 subestaciones de distribución y transmisión, 976 kilómetros de redes eléctricas, 880 puntos de pago para clientes, 2 distritos térmicos, 70.000 clientes de internet, 20 estaciones de carga para vehículos eléctricos (públicas y privadas), más de 300 techos solares en empresas y 293 en hogares (Celsia, s.f.).

Durante el primer semestre de 2024, sus ingresos registraron un incremento del 7 % en comparación con el mismo período de 2023, como se muestra en la Gráfica 1. Su EBITDA se situó en el 24 % (Celsia, 2025). Según datos al cierre de 2023, la compañía contaba con 2.270 colaboradores, de los cuales el 67 % eran mujeres y el 33 % hombres. Además, tiene 2.638 proveedores, de los cuales el 94 % son locales.

Figura 1 - Comportamiento del Ingreso Celsia



Nota. Elaboración propia basada en datos de reportes trimestrales publicados por Celsia.

El objetivo general de Celsia como compañía es prestar un servicio excepcional a sus clientes y ofrecerles un portafolio que les permita ser eficientes en su consumo de energía. Esto se logra mediante la entrega de energía confiable y responsable, la innovación constante y la búsqueda de nuevas formas de hacer las cosas, todo dentro de una cultura interna diferenciadora.

Todo el esfuerzo de la compañía se ve reflejado en los resultados del Índice de la Experiencia del Cliente Celsia (IECC), una metodología implementada para evaluar la interacción de los clientes con la marca, así como con la imagen y la propuesta de valor de la empresa en sus distintos puntos de contacto. En este índice, se evidencia que en el año 2023 se alcanzó un resultado del 73%, cumpliendo así con la meta proyectada por la compañía.

Referentes Estratégicos de la Organización

Para Celsia, una MEGA es una meta grande y ambiciosa que brinda lineamientos estratégicos a la organización. Por lo cual se plantearon como su MEGA lograr para el 2025 tener ingresos consolidados de 5 billones de dólares, alcanzar 1 millón de clientes y tener presencia en 6 países.

Con el fin de lograr cumplir su MEGA, enfocaron su estrategia en 3 segmentos: Hogares, Empresas y Ciudades (Celsia, s.f.). En los cuales definieron los siguientes enfoques:

- **Hogares:** cero trámites, posibilidad de escoger nuevas fuentes de generación e información y autogestión de sus consumos.
- **Empresas:** manejo de activos eléctricos, tranquilidad en el suministro energético, disminución de CAPEX y minimización de costos operacionales y gestión y control de consumos.
- **Ciudades:** ciudades ecoeficientes; desarrollo, operación y mantenimiento de activos, ordenamiento de la movilidad y seguridad vial, y gestión integrada y eficiente de servicios públicos.

Todo esto sin dejar de lado los 4 pilares claves de su cultura:

1. Damos lo mejor para crecer juntos
2. Nos atrevemos a ser diferentes
3. Somos ágiles y confiables
4. Disfrutamos haciendo la vida más fácil

La compañía considera los siguientes factores como piezas clave para garantizar el éxito en una operación de clase mundial:

- Prácticas que garantizan la salud y seguridad de todos los colaboradores.
- Respeto, protección y conservación de los ecosistemas.
- Relacionamiento y conocimiento adecuados de los grupos de interés alrededor de las centrales de generación.
- Activos confiables que soportan las exigencias del mercado.
- Instalaciones, equipos y personal entrenado, evaluado y competente.
- Cumplimiento riguroso de los controles operacionales.
- Gestión de activos y disciplina operativa para la unificación de procedimientos.
- Intervención en las unidades de generación para la definición de estrategias de inversión, enfocadas en el uso eficiente de los recursos (agua, sol, viento y combustibles), aumento de eficiencia de las turbinas y generadores, y actualización tecnológica e innovación.

Estructura Organizacional

Grupo Argos cuenta con tres empresas principales que son Cementos Argos, Celsia y Odinsa. Estas, a su vez, cuentan con varias filiales suscritas en cada una de sus líneas de negocio e inversiones y participaciones en otras compañías.

En el caso de Celsia Colombia S.A. E.S.P. se cuenta con la siguiente estructura organizacional:

Gobierno corporativo

La junta directiva de Celsia se encuentra compuesta por 5 miembros con sus respectivos suplentes. Los miembros que tienen alguna relación laboral con alguna de las compañías de Grupo Argos no reciben ninguna compensación por ser parte de la Junta Directiva ni por participar en ninguno de los comités. Para el corte del año 2023, los miembros activos de la Junta Directiva de la compañía eran:

Tabla 1 - Miembros Junta Directiva Celsia 2023

Renglón	Principal	Suplente	Calidad
1	Ricardo Sierra Fernández (miembro desde 2019)	Claudia Inés Salazar (miembro desde 2019)	Patrimonial
2	Esteban Piedrahita (miembro desde 2019)	Jesús María Cadavid Londoño (miembro desde 2022)	Patrimonial
3	Miguel Piedrahita (miembro desde 2015)	Javier Eduardo Gutiérrez (miembro desde 2019)	Patrimonial
4	Beatriz Vélez (miembro desde 2015)	Luisa Trujillo (miembro desde 2015)	Independiente
5	Gerente General de Emcali Fulvio Soto (miembro desde 2020)	Gerente Financiera Emcali Jairo Torrado (miembro desde 2022)	Independiente
6	Director General de la CVC Marco Antonio Suárez (miembro desde 2020)	Directora Financiera de la CVC Ingrid Ospina Réalpe (miembro desde agosto de 2022)	Independiente
7	Antonio de Roux (miembro desde 2010)	Julián Vernaza (miembro desde 2013)	Independiente

Nota. Adaptado Miembros Junta Directiva, Celsia, 2023, Reporte Integrado 2023.

Los miembros de la Junta se encuentran organizados en comités de apoyo con el fin de atender temas específicos en los cuales sus áreas de experticia y competencias técnicas y/o administrativas les permiten realizar aportes de valor para la compañía. Los comités se distribuyen de la siguiente forma:

Tabla 2 - Composición de Comités Junta Directiva Celsia

Comité de Auditoría y Finanzas	Comité de Sostenibilidad y Gobierno Corporativo	Comité de Nombramientos y Retribuciones
Miguel Piedrahita	Ricardo Sierra Fernández	Ricardo Sierra Fernández
Beatriz Vélez	Gerente General de Emcali (Fulvio Soto)	Beatriz Vélez
Gerente General de Emcali (Fulvio Soto)	Director General de la CVC (Marco Antonio Suárez)	Antonio de Roux
Directora Financiera de la CVC (Ingrid Ospina)	Miguel Piedrahita	
Antonio de Roux		

Nota. Adaptado Miembros Junta Directiva, Celsia, 2023, Reporte Integrado 2023.

Organigrama del Equipo de Desarrollo de Producto

El área de Desarrollo de Producto es la encargada de atender gran parte de los nuevos negocios dentro del portafolio de la compañía, entre ellos los proyectos de monitoreo y eficiencia energética. Esta se compone por:

- **Equipo Digitalización Eficiencia Energética:** diseño y ejecución de proyectos de medición, monitoreo y gestión energética.
- **Equipo Estructuración Eficiencia Energética:** ingeniería, implementación y sustitución tecnológica para eficiencia energética.
- **Multiservicios:** iluminación eficiente, energía de respaldo, diagnóstico de equipos eléctricos, alquiler, venta y mantenimiento de equipos.
- **Distritos Térmicos:** diseño, construcción y operación de distritos térmicos.
- **Ejecución de proyectos de Eficiencia Energética:** ejecución y operación de proyectos de eficiencia energética.

Productos o Servicios Ofertados por el equipo de Digitalización

El equipo de Digitalización se encarga específicamente de la estructuración y ejecución de proyectos de monitoreo y gestión energética, con los cuales logra atender diversas necesidades de clientes comerciales e industriales, tales como:

- Diseño e implementación de soluciones de medición y control para el monitoreo de variables de proceso, operacionales y de consumo energético.
- Desarrollo de modelos de Machine Learning para la gestión energética.
- Creación de gemelos digitales para el diagnóstico y la propuesta de soluciones de eficiencia energética en equipos críticos.
- Identificación de oportunidades para la sustitución tecnológica.
- Optimización de recetas de operación en equipos o procesos.

Todo esto ha permitido a la compañía posicionarse como un referente en el ámbito de la eficiencia energética, abarcando nuevos nichos de mercado al ofrecer soluciones diseñadas y ejecutadas a la medida de cada cliente.

Análisis del Sector

La eficiencia energética ha tenido un gran impacto en el sector industrial y empresarial colombiano. La creciente conciencia en torno a la sostenibilidad y la incertidumbre sobre la disponibilidad de energía eléctrica y gas natural han sido factores clave para impulsar proyectos que permitan a las organizaciones conocerse mejor, operar con mayor eficiencia y justificar cualquier optimización necesaria para garantizar su vigencia y competitividad en el mercado.

El sector energético es reconocido como un habilitador transversal del desarrollo: el acceso a energía asequible, confiable y moderna impulsa la productividad, la educación, la salud y la competitividad, y es condición para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (International Energy Agency [IEA], 2025; United Nations, s. f.). En Colombia, la actividad de suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado creció 3,2 % en 2023 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2024). En empleo, según la encuesta GEIH, en diciembre de 2024 trabajaban 645.000 personas en

la rama “Suministro de electricidad, gas, agua y gestión de desechos” (2,7 % del total de ocupados) frente a 715.000 personas en diciembre de 2023 (DANE, 2025).

Sin embargo, la matriz energética colombiana está compuesta mayoritariamente por energía hidroeléctrica, aproximadamente el 68 % de la generación eléctrica, con respaldo térmico (gas y carbón) que cubre buena parte del resto y una porción aún pequeña de generación proveniente de fuentes renovables no convencionales (FN CER: solar, eólica, biomasa) (Low-Carbon Power, 2024; El Tiempo, 2024). Esta configuración hace que fenómenos climáticos, como los asociados al fenómeno de El Niño, generen alertas y cuestionamientos sobre la capacidad del sector para garantizar una prestación continua y eficaz del servicio en todo momento.

Esta incertidumbre, sumada a la necesidad de mejorar la competitividad, ha llevado al sector industrial, que representa aproximadamente el 25 % del consumo energético nacional, a mostrar un creciente interés en la implementación de soluciones de eficiencia energética (UPME, s. f.). Aun así, existen obstáculos que dificultan el diseño e implementación de estos proyectos, tales como:

- **Resistencia al cambio:** es común encontrar resistencia en organizaciones pequeñas o con estructuras tradicionales. El desconocimiento sobre las oportunidades y beneficios de este tipo de proyectos, junto con la desconfianza frente a los ahorros proyectados en relación con las inversiones requeridas, suele dificultar su viabilidad (Bancóldex, 2025).
- **Limitaciones en la estructuración:** cada organización presenta particularidades que pueden dificultar la estructuración de soluciones a medida. Esto obliga a los equipos encargados de la estructuración a contar con amplios conocimientos técnicos sobre equipos y procesos, así como con la capacidad de adaptarse rápidamente para comprender cada caso y diseñar soluciones específicas (Bancóldex, 2025).
- **Riesgo financiero:** las inversiones iniciales elevadas y las figuras contractuales que incluyen esquemas de ahorros compartidos, entre otros factores, generan una percepción de riesgo entre las organizaciones al momento (Bancóldex, 2025).

Marco de Referencia

El Marco de Referencia estructuró el soporte conceptual y técnico de la investigación, integrando los fundamentos teóricos de la eficiencia energética, las etapas metodológicas para su formulación y las principales barreras que condicionan su implementación. Además, incorporó enfoques de medición y verificación (M&V) y soluciones tecnológicas habilitadoras, como el Internet de las cosas (IoT), los gemelos digitales y el aprendizaje automático, los cuales resultan esenciales para el monitoreo y la optimización de procesos. Igualmente, incluyó la revisión de los modelos financieros aplicados en la estructuración de proyectos y las metodologías de mitigación de riesgos empleadas en el sector energético, conforme a los lineamientos propuestos por la literatura especializada.

Proyectos de Eficiencia Energética

La eficiencia energética se define como el uso óptimo de la energía para obtener un mismo resultado o nivel de servicio con un menor consumo de recursos, reduciendo los desperdicios energéticos y las emisiones asociadas (International Energy Agency [IEA], 2023; United Nations, s. f.). Su propósito no es únicamente disminuir el consumo de energía eléctrica o de combustibles, sino también contribuir a la mitigación del cambio climático y al uso responsable de los recursos naturales.

Si bien empresas como Celsia Colombia S.A. E.S.P. promueven proyectos de eficiencia energética, su conceptualización debe apoyarse en marcos teóricos y técnicos ampliamente reconocidos. De acuerdo con la IEA (2023), la eficiencia energética constituye el “primer combustible” para alcanzar la neutralidad en carbono, dado que cada unidad de energía no consumida implica ahorro económico y reducción de emisiones.

Para llevar a cabo el diseño de un proyecto de eficiencia energética se deben tener en cuenta las siguientes etapas, basadas en la guía metodológica de Celsia (2024c):

1. **Diagnóstico de la Organización y sus Procesos:** En esta etapa se realiza el levantamiento de información relevante para caracterizar los procesos en sus diversos ámbitos de gestión, incluidos los administrativos, de personal y operativos.

2. **Identificación de Oportunidades:** Se identifican oportunidades de mejora, ya sean equipos disponibles para sustitución tecnológica, propuestas de monitoreo para la gestión de uso y optimización de recetas o nuevos diseños de sistemas o equipos para aumentar la eficiencia de los procesos.
3. **Propuesta de Solución:** En esta etapa se diseña la ingeniería de las oportunidades identificadas y se exponen a los usuarios finales con el fin de que seleccionen las que les generen mayor interés y el equipo de ingeniería pueda profundizar en su diseño y estructuración.
4. **Estructuración Financiera:** Se identifican los costos tanto de Capex como de Opex que serán necesarios para la ejecución y mantenimiento de cada proyecto, así mismo se tiene en cuenta la utilidad que se le asignará al proyecto y las variables económicas a las que haya lugar dependiendo del tipo pago y la naturaleza de la implementación que se esté contemplando para el proyecto.
5. **Ejecución:** Se realiza la implementación de la solución diseñada bajo las condiciones previamente acordadas entre el cliente final y el equipo de ingeniería.
6. **Seguimiento y monitoreo:** En esta etapa se debe realizar un seguimiento de KPIs e indicadores de eficiencia definidos por ambas partes durante el proceso de ejecución.

Linares (2009) resalta la importancia del ahorro y la eficiencia energética como instrumentos esenciales para prevenir el calentamiento global y promover el cuidado ambiental, señalando la necesidad de políticas que incentiven la inversión en estas iniciativas, aun cuando requieren una inversión inicial elevada y capacidades técnicas especializadas.

La eficiencia energética se posiciona en todos los sectores productivos como una de las principales estrategias para controlar y reducir las emisiones de CO₂, generando simultáneamente beneficios económicos a mediano y largo plazo. Por ello, resulta indispensable vincular estas estrategias con el conocimiento técnico de los procesos involucrados para maximizar los resultados.

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2023) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2013), la implementación de programas de eficiencia energética es determinante para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7, al propiciar ahorros sostenibles, reducir la intensidad energética

y mejorar la competitividad empresarial. En el contexto colombiano, organismos como la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) han señalado que la gestión eficiente de la energía aún se encuentra en fase de consolidación y requiere la actualización de metodologías de evaluación y seguimiento (UPME, 2024).

De acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (2013), estos programas presentan barreras de tipo institucional, financiero, técnico, informativo y de mercado, las cuales deben analizarse antes de iniciar cualquier estudio o inversión. Dichas barreras incluyen limitaciones regulatorias, costos de inversión, desconocimiento tecnológico y percepción de riesgo por parte de los inversionistas.

Asimismo, identifican algunas barreras para la realización de estos proyectos, las cuales deben ser analizadas antes de iniciar los estudios. Las barreras se pueden categorizar en cinco clases (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013):

- **Institucionales /culturales:**
 - Barreras regulatorias, ya sean restricciones contraproducentes o disposiciones relativas al mercado.
 - Proceso de participación poco útil, demorado y complejo de los actores interesados en programas existentes.
 - Barrera de agente principal: la entidad que invierte en las instalaciones o en los equipos no está a cargo de la facturación del servicio.
 - Decisiones irracionales, bajo nivel de educación, creencias, tradiciones y/o comportamientos de algunos miembros de la sociedad.
 - Cultura corporativa y organizacional.
 - Poca confianza en que las medidas de eficiencia energética logren generar ahorros reales.
 - Conexión entre el volumen de ventas y la rentabilidad de las empresas de energía.
 - Dudas acerca de si los programas de eficiencia energética permiten realmente posponer la inversión en la ampliación de la capacidad de generación.
 - Falta de capacidad para considerar, diseñar y/o hacer cumplir los códigos y estándares.

- **Financieras:**

- Alta inversión inicial en medidas de conservación de energía cuando el financiamiento es limitado.
- Largo periodo de retorno a la inversión para las medidas de eficiencia energética intensivas en capital (el periodo de retorno por lo general se utiliza para la decisión de inversión).
- Alto costo de decisión o de desarrollo del proyecto.
- Alto costo de financiamiento y falta de apalancamiento para los usuarios finales.
- Escasez de créditos comerciales, de arrendamiento y de apalancamiento financiero para la inversión en eficiencia energética y/o de los usuarios finales.
- Desinterés de los bancos comerciales locales y otras instituciones financieras en el negocio de la eficiencia energética.
- Desconocimiento, por parte de la banca, de modalidades de financiamiento de eficiencia energética.
- Percepción de alto riesgo de los bancos comerciales locales y otras instituciones financieras.
- Desconocimiento del valor monetario de los ahorros.

- **Técnicas:**

- Falta de tecnología o tecnología inmadura.
- Altos costos ocultos (mantenimiento, instalación, reparación).
- Repuestos disponibles solo en el exterior.
- Incertidumbre y riesgos en torno a los ahorros energéticos, a la efectividad del sistema en cuanto a obtener el resultado esperado, a la probabilidad de fallas, etc.

- **De Información:**

- Barrera de costos de transacción. Los usuarios no están dispuestos a invertir recursos (tiempo y esfuerzo) en tomar una decisión económicamente óptima.
- Información no disponible.
- El consumo de energía de equipos e instalaciones no se encuentra a la vista del consumidor.
- Falta de conciencia sobre los beneficios de la eficiencia energética.
- Riesgo técnico percibido.

- **De Mercado:**

- Barrera de disponibilidad. La falta de tecnologías de eficiencia energética asequibles y adecuadas a las condiciones locales.
- Cobertura incompleta.
- Desactualización tecnológica o technology dumping.
- Problemas con los distribuidores de equipos, por ejemplo, baja calidad de la capacitación de personal y alta rentabilidad de equipos menos eficientes.

Antes de hacer cualquier distinción, se debe saber que la energía y el ahorro de la demanda no se pueden medir directamente: solo se pueden estimar. Los ahorros se determinan comparando el uso de energía antes y después de que se implemente un determinado programa, teniendo en cuenta la información de fabricación y estimación relacionada con cada uno de los equipos y/o procesos que intervienen en la fórmula. Sin embargo, no es posible medir lo que habría ocurrido en ausencia de este.

Es así como la medición y verificación, por una parte, y los ahorros considerados, por otra, constituyen dos tipos de enfoques para calcular el ahorro de energía en un proyecto determinado.

- **Medición y verificación o M&V:** se trata de un método utilizado para calcular el ahorro que comporta algunas actividades de medición. M&V se refiere a la recopilación de datos, mediciones y análisis utilizados para estimar la demanda energética y el ahorro producido en sitios o proyectos individuales. M&V puede ser o no un subconjunto de las actividades de evaluación de impacto del programa (U.S. Department of Energy, 2024).
- **Ahorros considerados (deemed savings):** estos constituyen una estimación del ahorro de energía en un proyecto determinado (como, por ejemplo, una medida específica de conservación de energía) que no implica medición. Se trata de un cálculo de ingeniería basado exclusivamente en supuestos y fórmulas técnicas reconocidos y respaldados ya sea por la literatura especializada o a través de la práctica (Efficiency Valuation Organization, 2021).

Soluciones IoT

Los proyectos de monitoreo se basan en la medición de variables para la recolección de datos que posteriormente serán analizados para entender y predecir el comportamiento de algún equipo o proceso. Esto funciona de forma cíclica, ya que, si la solución no se sostiene en el tiempo, los resultados no se mantendrán de forma permanente. Para lograr este objetivo, se implementan soluciones IoT (Internet de las cosas). Estas son redes de dispositivos físicos que se encuentran conectados a internet y permiten recopilar, transmitir y actualizar los datos. Los dispositivos utilizados pueden ser desde equipos sencillos con salidas analógicas hasta controladores de máquinas o equipos complejos (IBM,s.f).

Al momento de diseñar e implementar soluciones de IoT se requieren los siguientes componentes claves:

- **Sensores y dispositivos:** se encargan de leer los datos requeridos.
- **Conectividad:** permite que los datos recopilados puedan ser enviados y procesados, ya sea a través de la red celular, Bluetooth o wifi, entre otras tecnologías.
- **Procesamiento:** los datos son solo datos si no se procesan, analizan y entienden para actuar sobre sus resultados. Se debe contar con una base de datos y/o plataforma que permita la recepción de la información para su procesamiento.

Mientras que algunas de las aplicaciones más populares para soluciones IoT son:

- **Edificios inteligentes:**
 - **Iluminación inteligente:** los recambios de luminarias por led y la implementación de sensores para el control de activaciones, intensidad y control de consumos son las soluciones de eficiencia más conocidas e implementadas en el contexto colombiano actual.
 - **Proyectos HVAC:** la implementación de instrumentación para el control de sistemas HVAC permite a los usuarios optimizar sus consumos y mejorar la eficiencia de sus equipos.
 - **Gestión ocupacional:** la implementación de sensores de movimiento y reconocimiento de imágenes permite tener una solución estable y segura que optimiza los recursos con base en la ocupación. Variables como iluminación y

suministros de aire frío o calefacción pueden ser controladas de forma eficiente gracias a esto.

- **Eficiencia energética en el sector industrial:**
 - **Monitoreo de procesos:** medir las distintas variables de un proceso para implementar modelos estadísticos permite conocer los rangos ideales de operación e implementar modelos de optimización.
 - **Mantenimiento predictivo:** entender desde los datos el comportamiento de una máquina o equipo les permite a los usuarios identificar de forma previa a la falla posibles configuraciones que afecten la operación y tomar acciones preventivas en vez de correctivas.
 - **Costeo eficiente:** conocer el consumo real de los energéticos que intervienen en un proceso de producción les permite a los usuarios costear el valor real de su producción.

- **Ciudades Inteligentes:**
 - **Alumbrado público:** desde ajustar la intensidad hasta los rangos de operación o activación de las luminarias, permite que las ciudades y concesiones ahorren de forma significativa en sus consumos y en la durabilidad de los elementos implementados en el sistema.
 - **Redes eléctricas inteligentes:** la integración de dispositivos IoT en las redes eléctricas permite la gestión de la energía de manera eficiente y como respuesta a la demanda en tiempo real.

- **Eficiencia energética residencial:**
 - **Hogares inteligentes:** la implementación de sensores y dispositivos inteligentes para la domótica en hogares permite tener el control sobre los consumos y permite ahorros a través de la gestión de uso.
 - **Generación a pequeña escala:** en la actualidad es cada vez más común la implementación de soluciones de generación de energía a pequeña escala, ya sea a través de soluciones solares o plantas eléctricas, en estos proyectos la implementación de soluciones IoT permite conocer los resultados de los proyectos desarrollados a través de variables como energía generada, consumida y suministrada.

Gemelos Digitales

Con las variantes de tendencias a nivel global en torno al procesamiento de datos, conceptos avanzados como los gemelos digitales y la implementación de modelos de machine learning ganan cada vez más fuerza en el mercado. Por un lado, un gemelo digital es la representación virtual de un objeto, máquina, sistema o proceso del mundo real. Esta tecnología tiene como objetivo simular, monitorear y analizar el comportamiento del elemento en tiempo real utilizando datos recopilados por la red de sensores IoT (IBM,s.f).

Las características que debe cumplir un sistema para considerarse un gemelo digital son:

- **Modelo digital:** se debe contar con una réplica virtual de un objeto físico.
- **Sensores:** deben existir sensores que recopilen información en tiempo real del objeto físico a simular.
- **Conectividad:** la transmisión de datos desde los sensores al modelo debe ser estable y confiable.
- **Análisis y simulación:** se deben entrenar los modelos estadísticos y las condiciones del sistema con los datos medidos.

Aparte de la reducción de costos, la trazabilidad y la gestión de los datos, los gemelos digitales facilitan la experimentación y el desarrollo de nuevas soluciones sin asumir los riesgos que anteriormente se encontraban asociados a modificar la configuración de una máquina en el mundo físico. Siendo este su mayor beneficio.

Actualmente, las aplicaciones más comunes de gemelos digitales son las simulaciones de equipos críticos cuya detención o posible falla afecta de forma crítica la producción u operación, por lo que la capacidad de tomar decisiones como resultado de las simulaciones y ponerlas en marcha durante la operación del equipo brinda una oportunidad que hasta hace unos años parecía imposible.

Machine Learning

El Machine Learning es una rama de la inteligencia artificial que se basa en el desarrollo de algoritmos y modelos matemáticos y estadísticos que permiten a las máquinas aprender de los datos para mejorar con el tiempo su rendimiento definiendo sus parámetros ideales para su operación (IBM,s.f).

Los componentes claves del machine learning son:

- **Datos:** los datos son la columna vertebral de un modelo de machine learning. Independientemente de si son estructurados, como por ejemplo una tabla, o no estructurados, como imágenes o texto.
- **Algoritmos:** son los métodos matemáticos y estadísticos que se definen para el procesamiento de los datos con el fin de identificar patrones y hacer predicciones sobre su comportamiento.
- **Modelos:** hacen referencia a las representaciones matemáticas que se entrenan con los datos para realizar o proyectar tareas específicas.
- **Entrenamiento:** en este proceso se ajustan los parámetros del modelo utilizando los históricos de información para conocer las características generales del sistema.
- **Evaluación:** es cuando se pone a prueba el modelo, se mide su rendimiento y se asegura su precisión.

En la actualidad existen varios tipos de machine learning, algunos de los más conocidos son:

- **Modelos de Aprendizaje Supervisado:** estos se entrena con datos que se encuentran etiquetados, algunos ejemplos incluyen la clasificación y la regresión.
- **Modelos de Aprendizaje No Supervisado:** estos modelos encuentran patrones en datos que no se encuentran etiquetados; algunos ejemplos incluyen el clustering.
- **Modelos de Aprendizaje de Refuerzo:** el modelo cuenta con la capacidad de aprender a tomar decisiones mediante su interacción con su entorno. Se requiere que se señalicen los beneficios y consecuencias de sus acciones.

Modelos Financieros para la Estructuración de Proyectos

Un modelo financiero es una abstracción de una situación económica y financiera de una empresa u organización que sirve como herramienta de gestión y permite proyectar los resultados futuros de las decisiones que se planean tomar en el presente. Un modelo financiero es la representación abstracta de una situación problemática real de un ente económico, donde se simplifica la parte en conflicto resaltando las variables a solucionar. Presentando variables de entrada, un proceso de transformación y una variable de salida transformada (Pérez, 2019).

Los modelos financieros tienen como objetivo reducir la incertidumbre y, en consecuencia, disminuir el riesgo al momento de tomar decisiones estratégicas basadas en datos y proyecciones.

Así mismo, en cuanto al tema de la eficiencia energética el modelo financiero deberá tener en cuenta tres aspectos fundamentales como son: el económico, el ambiental y el de seguridad de suministro, ya que los energéticos son un recurso finito, su uso debe ser totalmente cuidadoso, adicional a que es uno de los pilares sobre los cuales se desarrolla nuestra sociedad.

En el aspecto económico, se deberán identificar aquellas actividades, equipos o procesos que se pueden utilizar para reducir los costos energéticos y, en cada caso, poder usar esos excedentes económicos en otras actividades que también generen valor para la organización. En el aspecto ambiental, se sabe que gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero están relacionadas con el uso de la energía; si estos se reducen, se podrá generar un impacto positivo en el cambio climático; y en el aspecto de seguridad, permitirá incrementar las reservas y afrontar con más solvencia periodos de carencia energética.

Para el desarrollo de estos modelos, se deben tener en cuenta las variables financieras que intervienen dentro de los proyectos, tales como cambio de moneda, inflación, intereses, etc. De igual forma, se deben tener en cuenta los costos tanto de Capex como de Opex que intervendrán durante el periodo de duración del contrato.

Capex es un acrónimo en inglés de Capital Expenditure, que podemos traducir como gasto de capital (Boronat et al., 2019). Este representa la inversión en activos fijos, también llamados activos no corrientes o inmovilizados, destinados a permanecer por más de un año en la compañía. Es un indicador importante para mostrar cuánto capital reserva la organización para adquirir máquinas, buenas raíces y otros activos. Entre las principales inversiones/gastos de CAPEX destacan los siguientes:

- Compra de máquinas.
- Adquisición de equipos y software.
- Construcción y renovación de áreas de la empresa.
- Compra de vehículos para el transporte de mercancías.

Por otro lado, OPEX significa Operational Expenditure o “gastos operativos”. Esto se refiere a las inversiones en términos operativos (Brealey et al., 2007). Como, por ejemplo, lo son gastos asociados al mantenimiento de equipos, dirección de obra, adquisición de combustible, telecomunicaciones, entre otros.

El modelado financiero juega un papel vital en los procesos de toma de decisiones, como pronosticar flujos de efectivo futuros, evaluar oportunidades de inversión y evaluar la salud financiera de una empresa. Al utilizar suposiciones y datos históricos, los modelos financieros proporcionan un marco para tomar decisiones comerciales informadas. Algunos de los componentes del modelado financiero son:

- Supuestos: Los modelos financieros suelen basarse en supuestos sobre variables como las tasas de crecimiento de los ingresos, los gastos y las condiciones del mercado. Estos supuestos sirven como insumos e influyen en los resultados.
- Datos Históricos: Los modelos financieros incorporan datos financieros históricos para establecer tendencias y patrones, lo que permite a los analistas realizar proyecciones basadas en el desempeño pasado.
- Fórmulas y Funciones: Los modelos financieros utilizan fórmulas y funciones para realizar cálculos, como el cálculo del valor actual neto (VAN), la tasa interna de rendimiento (TIR) y otras métricas financieras.

- **Análisis de Sensibilidad:** El análisis de sensibilidad permite a los analistas evaluar el impacto de las variables cambiantes en los resultados del modelo financiero, proporcionando información sobre la solidez del modelo y los riesgos potenciales.

Los modelos financieros se pueden clasificar en tres grandes grupos (Sapag & Sapag, 2014):

- **Modelos de presupuestación y previsión:** Estos modelos ayudan a las organizaciones a planificar y asignar recursos mediante la proyección de ingresos, gastos y flujos de efectivo futuros.
- **Modelos de valoración:** Se utilizan para determinar el valor intrínseco de una empresa o inversión, considerando factores como flujos de efectivo descontados, análisis de empresas comparables y múltiplos de mercado.
- **Modelos de análisis de riesgos:** Evalúan los riesgos potenciales asociados con una inversión o decisión comercial en particular, incorporando factores como la volatilidad del mercado, el riesgo crediticio y los riesgos operativos.

Metodologías Implementadas en el Diseño de Modelos Financieros y Estrategias de Mitigación de Riesgos Financieros

En Colombia se identificó la aplicación de diversas metodologías orientadas al diseño de modelos financieros y a la mitigación de riesgos asociados a las decisiones de inversión, particularmente en sectores de infraestructura, energía y eficiencia industrial, donde la toma de decisiones requiere equilibrar rentabilidad, sostenibilidad y riesgo. Estas herramientas permitieron evaluar distintos escenarios económicos con mayor precisión, mediante el uso de análisis estadísticos y matemáticos que fortalecieron la capacidad de predicción y respaldaron la toma de decisiones estratégicas fundamentadas.

El Modelo de Valoración de Activos Financieros (CAPM)

En la estructuración de proyectos de ingeniería, la identificación, análisis y mitigación de riesgos constituyen un componente esencial para garantizar su viabilidad técnica, financiera y operativa. A diferencia del modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model), cuya aplicación se centra en la valoración de activos financieros en función del riesgo sistemático y la rentabilidad esperada del mercado (Sharpe, 1964), los proyectos de ingeniería requieren enfoques más integrales que consideren múltiples fuentes de incertidumbre y características propias de cada proyecto.

La validez del modelo CAPM depende de una serie de supuestos teóricos que permiten su formulación. Entre los más relevantes se encuentran los siguientes:

- **Eficiencia del mercado y ausencia de fricciones:** Se asume que todos los inversores tienen acceso a la misma información de forma simultánea y que no existen costos de transacción ni impuestos que interfieran en las decisiones de compra o venta de activos financieros.
- **Racionalidad de los inversores y aversión al riesgo:** Se considera que los agentes económicos actúan de manera racional, buscando maximizar su utilidad y prefiriendo inversiones con menor riesgo, siempre que no exista una compensación adecuada en términos de rentabilidad esperada.
- **Acceso a la tasa libre de riesgo en igualdad de condiciones:** Se plantea que todos los participantes del mercado pueden prestar y endeudarse a una misma tasa de interés sin riesgo, lo que permite una asignación eficiente del capital y la formación de carteras óptimas.

El conocimiento de estos supuestos resulta esencial para comprender las posibles limitaciones del modelo, así como los factores que pueden afectar su precisión y aplicabilidad en contextos reales.

Limitaciones del Modelo CAPM en la Evaluación de Proyectos de Ingeniería

La utilidad del modelo CAPM es indiscutible en el ámbito de las inversiones bursátiles, donde la relación del riesgo con el retorno puede representarse mediante la línea del mercado de capitales. Sin embargo, su aplicación a proyectos de eficiencia energética presenta limitaciones importantes, ya que:

- No considera los riesgos específicos de cada proyecto, como fallas técnicas, demoras en la ejecución o cambios regulatorios.
- Se basa en la premisa de que los mercados son eficientes y completos, lo cual rara vez se cumple en contextos reales en el sector industrial.
- Supone una tasa de descuento única basada en el riesgo sistemático, sin permitir ajustes por riesgos no diversificables propios del entorno de este tipo de proyectos.

Frente a estas limitaciones, se han desarrollado enfoques alternativos que permiten capturar mejor la complejidad y las incertidumbres que se encuentran en proyectos reales de eficiencia energética.

Principales Enfoques para la Mitigación de Riesgos en Proyectos de Eficiencia Energética

- **Análisis de Riesgo mediante Simulación Monte Carlo**

La simulación Monte Carlo es una técnica probabilística que permite modelar la incertidumbre en variables clave como los costos, los ingresos esperados, los plazos de ejecución o los precios de insumos. Esta metodología no proporciona un único resultado, sino una distribución de posibles resultados basada en miles de simulaciones aleatorias (Mun, 2014).

Aplicaciones frecuentes:

- Evaluación del rango de valores del Valor Actual Neto (VAN) ante incertidumbre.

- Determinación de la probabilidad de que el proyecto alcance una rentabilidad mínima.
- Identificación de variables críticas mediante análisis de sensibilidad probabilístico.

Este análisis aporta una visión probabilística realista, permitiendo a los responsables del proyecto prepararse para diferentes escenarios, desde los más optimistas hasta los más adversos.

- **Análisis de Sensibilidad y Escenarios**

El análisis de sensibilidad examina cómo pequeños cambios en una variable independiente afectan el resultado del proyecto. Por su parte, el análisis de escenarios permite modelar combinaciones de cambios simultáneos, por ejemplo: “escenario optimista”, “escenario base” y “escenario pesimista” (Damodaran, 2012).

Aplicaciones frecuentes:

- Comparación del impacto de diferentes tasas de inflación, de la variación en la demanda o de los costos de insumos.
- Priorización de variables críticas que requieren mecanismos de control.

La sencillez y utilidad de este análisis permiten la toma de decisiones rápidas, especialmente en etapas preliminares de estructuración de los proyectos.

- **Valoración mediante Opciones Reales**

El enfoque de opciones reales traslada conceptos de las finanzas derivadas al análisis de proyectos. Se valora la posibilidad de tomar decisiones futuras como expandir, pausar, cancelar o rediseñar el proyecto en función de nuevas condiciones del entorno (Trigeorgis, 1996).

Aplicaciones frecuentes:

- Proyectos de energía donde se puede postergar una inversión si los precios del mercado no son favorables.
- Infraestructura vial con fases de ampliación opcional, dependiendo del flujo vehicular.

Este análisis les permite a los estructuradores reconocer y cuantificar el valor estratégico de la flexibilidad gerencial, lo cual no es posible bajo modelos rígidos como el CAPM.

- **Gestión de Riesgos según la Norma ISO 31000**

La norma ISO 31000 de 2018 establece un marco integral para la gestión del riesgo, aplicable a proyectos de cualquier sector. Incluye etapas como identificación, análisis, evaluación, tratamiento, monitoreo y comunicación del riesgo (International Organization for Standardization, 2018).

Aplicaciones frecuentes:

- Proyectos de infraestructura pública donde deben evaluarse riesgos sociales, políticos y ambientales.
- Proyectos de manufactura que enfrentan riesgos operativos y tecnológicos.

Esta norma establece un enfoque amplio que considera tanto riesgos financieros como no financieros, fomentando la gobernanza y la toma de decisiones informadas.

- **Análisis Multicriterio (AMC)**

Este enfoque permite evaluar alternativas de decisión considerando múltiples criterios que no necesariamente son comparables entre sí, como rentabilidad, impacto ambiental, aceptación social, tiempo de ejecución, entre otros (Saaty, 1980).

Aplicaciones frecuentes:

- Selección de trazados viales, considerando costos, impacto ecológico y desplazamiento de comunidades.
- Elección de tecnologías en proyectos energéticos con diferentes perfiles técnicos, económicos y ambientales.

Este análisis integra aspectos cuantitativos y cualitativos, permitiendo decisiones equilibradas en contextos donde el retorno financiero no es el único criterio relevante.

Ley 1715 de 2014

La Ley 1715 contempla incentivos tributarios para proyectos de eficiencia energética, esta es la ley por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional (Congreso Colombiano, 2014), dentro de los beneficios podemos destacar los siguientes:

- Deducción del impuesto sobre la renta.
- Exención del IVA para las empresas que importan o compran bienes y servicios que se utilizan directamente en la producción y utilización de energía renovable.
- Exención de aranceles en equipos, maquinarias y materiales que sean utilizados en proyectos de energía renovable.
- Las empresas pueden aplicar una depreciación acelerada de sus activos.
- Certificados de Energía Renovable (CER)

Diseño Metodológico

Tipo de Investigación

De acuerdo con el problema planteado, la investigación se desarrollará con el apoyo del equipo de Digitalización de la empresa Celsia Colombia S.A. E.S.P., ubicado en la ciudad de Yumbo, Valle del Cauca. Esta se limita al diseño de un modelo de flujo de caja descontado (DCF, por sus siglas en inglés de Discounted Cash Flow), con simulación Monte Carlo y análisis de sensibilidad para la estructuración de proyectos de monitoreo y gestión energética.

La investigación adopta un enfoque mixto, no experimental y transversal:

- El enfoque mixto integra componentes cuantitativos, a través del modelamiento financiero DCF y la simulación Monte Carlo, con cualitativos, mediante entrevistas y análisis de percepción del equipo de Digitalización. Esto posibilita combinar la precisión numérica con la comprensión del contexto operativo de los proyectos.
- El diseño no experimental implica que no se manipulan variables, sino que se observan los fenómenos tal como ocurren en su entorno natural, utilizando datos históricos y financieros reales para construir el modelo.
- El diseño transversal recolecta la información en un momento único, describiendo las condiciones actuales de los proyectos y permitiendo validar el modelo propuesto de forma contextual (Hernández-Sampieri, Mendoza y Torres, 2022).

Los proyectos de eficiencia energética abarcan diferentes etapas. Para efectos de esta investigación, se impactará la etapa cuatro, correspondiente a la estructuración financiera, y la etapa seis, en la cual se realizará seguimiento y monitoreo a los indicadores clave de desempeño definidos en el modelo financiero.

En Colombia, los proyectos de eficiencia energética pueden acceder a beneficios tributarios establecidos en la Ley 1715 de 2014 y modificados por la Ley 2099 de 2021.

Estos incluyen:

- a) la deducción del 50 % de la inversión en el impuesto de renta durante un período de hasta quince años;
- b) la exclusión del IVA en la adquisición de equipos o servicios destinados a eficiencia energética;
- c) la exención de aranceles para equipos no producidos en el país, y
- d) la depreciación acelerada de activos en un período de cinco años (Ministerio de Minas y Energía, 2015; Congreso de la República, 2021).

Con el paso del tiempo, la conciencia ambiental y la responsabilidad social empresarial han aumentado significativamente. De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2024), el 74,8 % de los hogares colombianos manifiestan preocupación por el impacto ambiental del consumo energético. Además, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG, 2023) reportó que las tarifas eléctricas aumentaron más del 25 % entre 2022 y 2023, impulsando a las empresas a buscar alternativas que les permitan optimizar sus costos y reducir su exposición al riesgo energético.

La eficiencia energética se consolida como un sector en crecimiento y con alta proyección. La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2024) estima que la inversión privada en eficiencia energética aumentó un 18 % anual entre 2020 y 2023, mientras que el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2023) indica que el número de proyectos en América Latina se duplicó en ese mismo periodo, con Colombia entre los cinco países con mayor crecimiento relativo. Este panorama evidencia que la eficiencia energética es un nicho cada vez más atractivo para la diversificación empresarial y la innovación tecnológica.

Sin embargo, las variaciones en los mercados financieros y de bienes, así como el incremento en los costos de equipos tecnológicos, han generado nuevos desafíos. Según el Banco de la República (2024), la devaluación del peso y el aumento de precios internacionales de componentes electrónicos elevaron entre un 12 % y un 20 % los costos de importación de equipos en 2023, lo que puede ralentizar la ejecución de proyectos o reducir su rentabilidad esperada.

Análisis Externo

Para comprender el contexto competitivo de los proyectos de eficiencia energética, se elaboró una matriz DOFA, que permitió identificar las principales oportunidades y amenazas del entorno:

- **Oportunidades:**
 - **Avances tecnológicos:** los desarrollos en instrumentación, sensorización y análisis de datos impulsan la adopción de soluciones para optimizar la eficiencia operativa y reducir costos energéticos.
 - **Incentivos tributarios:** la política pública nacional incentiva las inversiones en eficiencia energética mediante deducciones fiscales, exclusión de IVA y exenciones arancelarias, fortaleciendo la viabilidad financiera de estos proyectos (Ministerio de Minas y Energía, 2015; Congreso de la República, 2021).
 - **Aumento en la demanda:** la creciente conciencia ambiental, los mayores costos energéticos y la coyuntura económica han motivado a las empresas a buscar estrategias que generen ahorros sostenibles y mejoren su competitividad (DANE, 2024; CREG, 2023).

- **Amenazas:**
 - **Cambios regulatorios:** modificaciones en los incentivos tributarios o en la política energética podrían afectar la ejecución de nuevos proyectos.
 - **Aumento de la competencia:** la expansión del mercado de eficiencia energética ha estimulado la entrada de nuevos actores, incrementando la competencia y presionando los márgenes de rentabilidad (UPME, 2024).
 - **Fluctuaciones macroeconómicas:** las variaciones cambiarias, los precios de materias primas y la dependencia de equipos importados pueden elevar los costos de inversión y frenar la ejecución de proyectos (Banco de la República, 2024).

Análisis Interno

Como parte del análisis del DOFA se plantean las siguientes fortalezas y debilidades:

- **Fortalezas:**
 - **Reputacional:** Celsia mantiene un posicionamiento sólido como empresa vanguardista en innovación y sostenibilidad. En 2023 fue incluida en el Índice de Sostenibilidad de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC, 2023), lo que refuerza su reputación en el mercado energético.
 - **Enfoque innovador:** el equipo promueve la integración de tecnologías avanzadas de monitoreo, automatización y análisis de datos para mejorar la eficiencia de sus clientes.
 - **Competencia técnica:** el equipo de Digitalización está conformado por cinco profesionales especializados en ingeniería eléctrica, electrónica, mecatrónica y matemática aplicada, con experiencia promedio de ocho años en instrumentación, control y análisis de datos (Celsia, 2024).

- **Debilidades:**
 - **Costos iniciales elevados:** según la UPME (2023) y Bancóldex (2024), la inversión inicial en proyectos de eficiencia energética industrial puede oscilar entre el 10 % y el 30 % del gasto operativo anual del cliente, lo que en muchos casos excede su capacidad financiera.
 - **Capacidad limitada:** el equipo de trabajo es relativamente pequeño, lo que restringe los recursos humanos y financieros disponibles para atender múltiples proyectos de forma simultánea.

Asimismo, para el desarrollo del modelo financiero, se realizó un diagnóstico de la estructura de costos y procesos actuales de gestión de proyectos. Además, se efectuaron entrevistas con los miembros del equipo de Digitalización con el fin de identificar percepciones, capacidades y limitaciones operativas. El análisis cualitativo de las respuestas permitió reconocer patrones y oportunidades de mejora que servirán como insumo para la propuesta del modelo, buscando garantizar su aplicabilidad y alineación con las necesidades reales de la organización.

Población, Muestra y Ficha Técnica

Para la obtención de la información primaria se diseñó una encuesta/entrevista dirigida al equipo de Digitalización de la empresa Celsia Colombia S.A. E.S.P., perteneciente a la unidad de negocio de Desarrollo de Productos de Eficiencia Energética. Esta herramienta fue aplicada en el marco del proyecto de grado desarrollado por las estudiantes de la Maestría en Administración de Empresas, en calidad de consultoras académicas para la organización.


El universo de estudio estuvo conformado por la totalidad del equipo de Digitalización, es decir, cinco (5) ingenieros responsables de la estructuración y ejecución de proyectos de monitoreo y gestión energética y el líder del equipo de Desarrollo de Productos. Debido al tamaño reducido de la población, la cobertura fue del 100 %, por lo que la muestra coincidió con la totalidad del grupo de interés. En este sentido, se trató de un muestreo censal, ya que se incluyeron todos los sujetos que integran el equipo analizado (Hernández-Sampieri, Mendoza y Torres, 2022).

La técnica de recolección empleada fue la entrevista no estructurada, aplicada de manera individual a los participantes durante el mes de noviembre de 2024. Esta técnica permitió explorar las percepciones, experiencias y criterios del equipo frente al proceso de estructuración financiera de proyectos de eficiencia energética.

El instrumento de recolección consistió en una guía base con seis (6) preguntas abiertas, formuladas con el propósito de identificar las variables clave que deben considerarse en el diseño del modelo financiero para el cálculo de indicadores en proyectos de monitoreo y gestión energética. Las preguntas fueron de carácter exploratorio y buscaban promover respuestas amplias que reflejaran la experiencia operativa y técnica de los participantes.

Los datos recopilados se emplearon para definir los supuestos financieros y estructurar las variables de análisis del modelo de flujo de caja descontado (DCF), complementando la información secundaria obtenida de documentos internos de la empresa y referencias sectoriales.

Tabla 3 - Ficha Técnica

	<p>FICHA TÉCNICA DE LA ENCUESTA</p>
Solicitada Por:	Equipo Digitalización.
Realizada por:	Estudiantes de Maestría en Administración de Empresas en calidad de consultoras para la empresa Celsia Colombia en el proyecto de trabajo de grado.
Nombre de la encuesta:	Encuesta para la creación del diseño del modelo financiero para el cálculo de indicadores en proyectos de monitoreo y gestión energética ejecutados por el equipo de Digitalización de la empresa Celsia.
Universo	Equipo de Digitalización de la empresa Celsia Colombia.
Unidad de muestreo	Ingenieros miembros del equipo de Digitalización de la unidad de negocio de Desarrollo de Productos de la empresa Celsia.
Fecha de creación:	Noviembre de 2024
Área de cobertura:	100%
Técnica de recolección de datos:	Entrevista no estructurada con el equipo involucrado (Personas clave)
Objetivo de la encuesta:	Recolectar información del equipo de digitalización para identificar variables que se deben tener en cuenta para el modelo financiero propuesto para proyectos de eficiencia energética.
Numero de preguntas formuladas:	Seis (6)
Tipo de preguntas aplicadas:	Seis (6) abiertas

Nota. Elaboración propia con base en información del equipo de Digitalización.

Identificación de Variables

Con base en las opiniones y necesidades dentro del equipo de Digitalización se plantean las siguientes variables financieras como información de interés:

- **Retorno de Inversión (ROI):** Es una métrica financiera que se utiliza para evaluar la rentabilidad de una inversión (Trujillo & Martínez, 2024). En este contexto, el ROI permite determinar si una inversión en eficiencia energética es financieramente viable.

La fórmula para calcular el ROI es:

$$ROI = (Ingresos - Inversión) / Inversión \times 100$$

El ROI puede ser positivo o negativo. Si el resultado es positivo, significa que la inversión ha generado beneficios. Si el resultado es negativo, se puede considerar que el proyecto no es viable.

- **Costo de Energía Ahorrada (CEA):** Para calcular el costo de la energía ahorrada en un proyecto de eficiencia energética, se debe comparar el consumo de energía antes y después de la implementación del proyecto.

La fórmula para calcular el ahorro energético es:

$$Ahorro = Consumo de línea base - Consumo real en el periodo demostrativo$$

El ahorro energético se expresa en kWh para la energía eléctrica, m³ para gas natural, tonelada para el caso de carbón o la unidad que corresponda de acuerdo con el proceso productivo de la organización (Independent Electricity System Operator, 2021).

- **Costo de capital (CAPEX):** Representa la inversión en activos fijos, también llamados activos no corrientes o inmovilizados, destinados a permanecer por el periodo de duración del contrato o el porcentaje equivalente a la vida útil del equipo.

- **Costo operacional (OPEX):** Hace referencia a las inversiones en términos operativos que serán requeridas durante el periodo de duración del contrato.
- **Tasa Interna de retorno (TIR):** Es la tasa interna de rentabilidad y nos indica a qué porcentaje de rentabilidad estamos recuperando la inversión con los ahorros conseguidos (Sapag & Sapag, 2014). La TIR se calcula a un número determinado de años; en un análisis riguroso este número debe coincidir con la vida útil de la instalación.

La fórmula para calcular la TIR es:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1 + TIR)^t} - I0$$

En donde:

Ft = Flujo de caja neto en el año t

TIR = Tasa deseada

t = Número del período

$I0$ = Inversión inicial

n = Número total de períodos

- **Valor Actual Neto (VAN):** Es un indicador que cuantifica el valor generado o perdido de un proyecto teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo (Trujillo & Martínez, 2024).

La fórmula para calcular el VAN es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1 + r)^t} - I0$$

En donde:

Ft = Flujo de caja neto en el año t

r = Tasa de descuento

t = Número del período

I_0 = Inversión inicial

n = Número total de períodos

Cuando:

$VAN > 0$ se puede considerar que el proyecto será viable.

$VAN = 0$ se puede considerar que el proyecto no genera ingresos ni pérdidas.

$VAN < 0$ se puede considerar que el proyecto genera pérdidas.

Recolección de Información

Instrumento de Medición

El método utilizado para recolectar y analizar la información inicial del proyecto se basó en la técnica de entrevista semiestructurada aplicada a personas clave del equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A. E.S.P. Para tal fin, se desarrolló un instrumento de evaluación cualitativa, adaptado a la metodología de consultoría, compuesto por preguntas abiertas orientadas a identificar variables relevantes para el diseño del modelo financiero.

El instrumento fue aplicado a cinco (5) integrantes del equipo de Digitalización y al líder del equipo de Desarrollo de productos. Los resultados obtenidos fueron tabulados y analizados, agrupando las respuestas comunes y destacando las nuevas ideas propuestas por los entrevistados. Estos insumos fueron consolidados en un resumen que posteriormente se presentó al líder del área para la validación de las variables financieras y técnicas sugeridas, las cuales se incorporaron en la versión final del modelo financiero.

Durante el proceso de diseño, se tomaron en cuenta los lineamientos metodológicos propuestos por la consultoría, los cuales incluyeron: definir el alcance y objetivo del estudio, formular preguntas abiertas enfocadas en los aspectos financieros y operativos del proyecto, incluir preguntas de apoyo que facilitaran la interpretación de resultados, seleccionar la muestra de acuerdo con el perfil de los participantes, complementar las entrevistas con información documental de la compañía y, finalmente, analizar y transformar los hallazgos cualitativos en variables medibles (ver Anexo 1).

Validación del Instrumento de Medición

La validación del instrumento fue realizada por el líder del área de Digitalización, quien aprobó su aplicación dentro del estudio. Con el propósito de fortalecer la validez de contenido, también se solicitó la revisión de un experto externo en estructuración y análisis financiero, el magíster Andrés Baquero Daza, profesional con amplia trayectoria en el sector.

El experto efectuó una evaluación detallada del cuestionario, emitiendo observaciones relacionadas con la claridad, pertinencia y aplicabilidad de las preguntas en el contexto operativo de la empresa. En su análisis, destacó que el instrumento estaba correctamente estructurado y abordaba los aspectos esenciales para el estudio, tales como: el rol del entrevistado, su participación en el análisis financiero, la percepción sobre el modelo financiero actual, la identificación de variables e indicadores relevantes, la comparación entre el CAPEX proyectado y ejecutado, así como las sugerencias para la mejora de la gestión financiera de los proyectos.

Estas observaciones fueron consideradas pertinentes, dado que permitieron capturar información tanto técnica como estratégica sobre la gestión de proyectos de eficiencia energética. Sin embargo, el experto identificó oportunidades de mejora en la redacción y precisión de algunas preguntas, las cuales fueron ajustadas en la versión final del instrumento. También recomendó incluir ejemplos de indicadores financieros, como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para orientar mejor las respuestas de los participantes.

Finalmente, Baquero recomendó ajustes formales relacionados con la ortografía y la redacción para mantener el rigor profesional, el uso de formularios digitales que facilitaran el procesamiento de datos y la incorporación de una introducción explicativa sobre los objetivos y el uso de la información recolectada. Estas recomendaciones fueron implementadas, fortaleciendo la rigurosidad metodológica y garantizando que los resultados obtenidos fueran coherentes, confiables y útiles para la construcción del modelo financiero propuesto para Celsia.

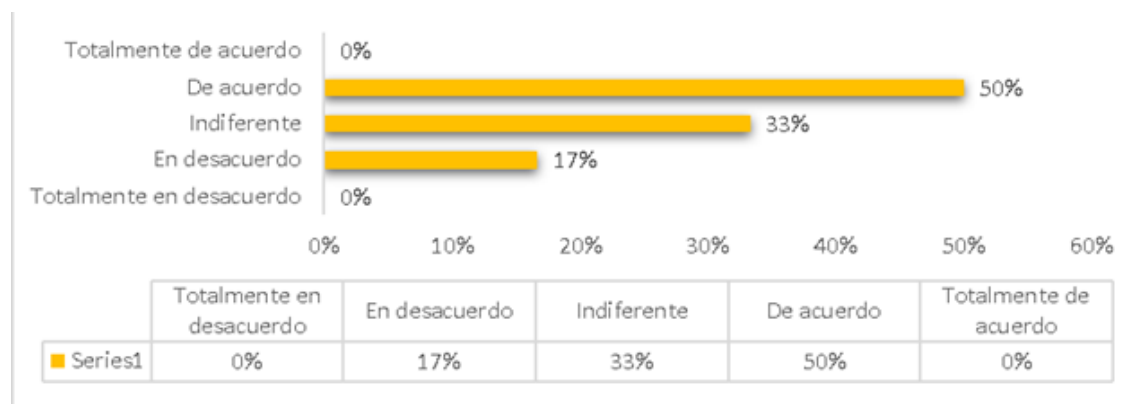
Procesamiento Estadístico de Datos

Con base en la información recopilada mediante entrevistas y encuestas, se realizó un análisis detallado de los datos con el propósito de contar con una base sólida para la formulación del modelo financiero propuesto. Asimismo, se incluyeron las observaciones de un experto externo con el fin de garantizar la objetividad de los resultados y minimizar posibles sesgos en el análisis.

Respecto a la pregunta “¿Considera que Celsia tiene estructurado el análisis financiero correcto para los proyectos de eficiencia energética?”, los resultados indicaron que el 50 % de los encuestados estuvo de acuerdo, un 33 % se mantuvo indiferente y un 17 % expresó desacuerdo. No se registraron respuestas en los extremos de “totalmente de acuerdo” ni “totalmente en desacuerdo”.

Estos resultados reflejan una percepción moderadamente positiva frente a la estructura del análisis financiero, pero también evidencian oportunidades de mejora. La indiferencia observada podría relacionarse con una comunicación limitada sobre los procesos financieros o con una baja apropiación del modelo vigente. Por su parte, el 17 % en desacuerdo sugiere que ciertos elementos del análisis actual podrían no estar respondiendo adecuadamente a las necesidades del equipo o de la compañía.

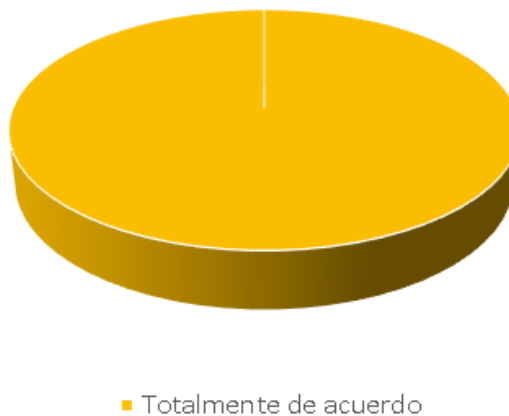
Figura 2 - Resultados pregunta número tres



Nota. Elaboración propia con base en información recolectada a través de encuestas realizadas al equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A

En otra de las preguntas, todos los participantes (100 %) manifestaron estar totalmente de acuerdo con la necesidad de contar con un modelo financiero formal que permita evaluar la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética. Este resultado respalda la pertinencia del estudio y confirma la relevancia de fortalecer los mecanismos de análisis económico dentro de la organización. Que permita la toma de decisiones fundamentadas en indicadores financieros sólidos.

Figura 3 - Resultados pregunta número cuatro



Nota. Elaboración propia con base en información recolectada a través de encuestas realizadas al equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A

Durante el proceso de análisis, se identificaron los indicadores financieros más relevantes que el equipo de Digitalización consideró esenciales para la evaluación de los proyectos de eficiencia energética. Los resultados evidenciaron un consenso sobre la necesidad de contar con métricas que permitan evaluar la viabilidad económica, la rentabilidad y la sostenibilidad operativa de cada iniciativa.

En la siguiente tabla se presenta el orden de importancia asignado por los entrevistados a cada indicador o variable, junto con las observaciones que justifican su inclusión dentro del modelo financiero propuesto.

Tabla 4 - Orden de importancia de indicadores clave dentro del modelo financiero

Indicador / Variable	N.º de menciones	Observaciones
CAPEX (Inversión de capital)	6/6	Mencionado por todos los entrevistados como variable base.
OPEX (Gastos operativos)	6/6	Igual que CAPEX, considerado indispensable.
ROI (Retorno sobre la inversión)	5/6	Clave para evaluar la rentabilidad.
TIR (Tasa interna de retorno)	4/6	Indicador financiero muy valorado.
Margen / Margen Neto	3/6	Especialmente para proyectos en venta.
EBITDA	2/6	Relevante en evaluación de utilidades operativas.
Utilidad	1/6	Se menciona junto con otros indicadores.
Payback	1/6	Para evaluar el tiempo de recuperación de la inversión.
Liquidez del proyecto	1/6	Considerada para análisis financiero más profundo.
Tiempo al punto de equilibrio	1/6	Refuerza el análisis de rentabilidad en el tiempo.
ROIC (Retorno sobre capital invertido)	1/6	Similar al ROI, más ajustado a la eficiencia del capital.
CEA (Costo de Energía Ahorrada)	1/6	Indicador propio del contexto energético.
Duración del contrato	1/6	Aplicable a proyectos bajo modalidad de servicio.
Depreciación	1/6	Fundamental para análisis contable y fiscal.
Ahorro energético logrado	1/6	Base para calcular viabilidad y comparación con la línea base.
Eficiencia vs. línea base	1/6	Indicador técnico traducido en impacto financiero.

Nota. Elaboración propia con base en información recolectada a través de encuestas realizadas al equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A

Los resultados de la tabla muestran que CAPEX (gasto de capital) y OPEX (gasto operativo) son los indicadores más mencionados, lo que refleja su papel determinante en la estimación de la inversión y los costos de mantenimiento de los proyectos. En segundo orden, los indicadores de rentabilidad, como el ROI y la TIR, fueron altamente valorados, evidenciando el interés del equipo por incorporar métricas que reflejen el retorno financiero de las iniciativas.

Asimismo, indicadores como el margen neto, EBITDA, payback y punto de equilibrio complementan el análisis al aportar información sobre la eficiencia operativa y la recuperación de la inversión. Finalmente, se reconoció la importancia de indicadores técnicos como el Costo de Energía Ahorrada (CEA) y la eficiencia frente a la línea base, que permiten traducir los resultados energéticos en términos financieros.

Con base en este consenso y su relevancia para evaluar la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética, se definieron las siguientes variables principales del modelo financiero:

- CAPEX (Inversión de capital)
- OPEX (Gastos operativos)
- ROI (Retorno sobre la inversión)
- TIR (Tasa interna de retorno)
- Margen / Margen neto
- EBITDA
- Payback
- Ahorro energético (en los casos que aplique)
- CEA (Costo de Energía Ahorrada) (en los casos que aplique)
- Tiempo al punto de equilibrio
- Duración del contrato (si el modelo incluye proyectos bajo modalidad de servicio)

A partir del análisis de las respuestas, se identificaron patrones comunes y causas recurrentes que justifican la necesidad de fortalecer el modelo financiero. Entre ellos se destacan las variaciones entre el CAPEX proyectado y ejecutado, los ajustes técnicos no previstos y las diferencias derivadas de los costos de mano de obra o materiales, lo que reafirma la pertinencia de diseñar una herramienta financiera más precisa y flexible para los proyectos de eficiencia energética.

Hallazgos principales

1. Mano de obra y subcontratación:

Mencionado por **Entrevistados 1, 4, 5 y 6**.

- a. Se destaca como el ítem más recurrente con diferencias entre lo proyectado y lo ejecutado.
- b. Las causas incluyen:
 - i. Tercerización variable según contratista y ubicación.
 - ii. No consideración de limitaciones técnicas o administrativas.
 - iii. Subestimación de la dedicación del personal interno o externo.

2. Costos de instalación y adecuación de infraestructura:

Señalado por el **Entrevistado 2**.

- a. Las instalaciones antiguas o de difícil acceso generan incertidumbre en el costo real.

3. Equipos especializados y sus precios variables:

Mencionado por **Entrevistado 2**.

- a. Las fluctuaciones del mercado y la disponibilidad afectan el precio final.

4. Servicios de integración y puesta en marcha:

Mencionado por **Entrevistado 2**

- a. Cambios en requerimientos técnicos o imprevistos impactan el costo final.

5. Costos de desarrollo de modelos, análisis de datos y complejidad del problema:

Indicados por el **Entrevistado 3**.

- a. Estos factores son menos tangibles y difíciles de estimar con precisión en la fase inicial.

De acuerdo con esta recolección de datos, se deben incluir factores de ajuste y escenarios de riesgo asociados a:

- Mano de obra (directa y tercerizada).
- Infraestructura (obsolescencia y accesibilidad).
- Equipos tecnológicos especializados.
- Servicios profesionales e imprevistos técnicos.
- Horas de desarrollo e implementación de soluciones.

Es recomendable incorporar un componente de análisis de sensibilidad en el modelo, especialmente para ítems que históricamente han mostrado mayor desviación.

Algunas variables adicionales las encontramos en la pregunta: *¿Qué razones considera las más influyentes en la diferencia entre el CAPEX proyectado y el ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?*, como son:

1. Imprevistos y ajustes durante la ejecución

Mencionado por: Entrevistados 1, 2, 5

- Se destacan cambios de diseño por condiciones en campo, problemas no anticipados o falta de información inicial.
- Esto refleja la necesidad de flexibilidad en el presupuesto y una reserva para imprevistos.

2. Alcance cambiante del proyecto

Mencionado por: Entrevistado 2

- A medida que el proyecto avanza, surgen nuevas necesidades.
- Esto implica que el modelo debe permitir revisiones dinámicas del alcance y sus efectos en costos.

3. Factores externos del mercado

Mencionado por: Entrevistados 2 y 4

- Variaciones de precios, tipo de cambio y cadena de suministro.
- El modelo debería incluir escenarios con sensibilidad al mercado y tasas de cambio.

4. Condiciones particulares del cliente o del sitio

Mencionado por: Entrevistados 2, 4 y 5

- Incluye permisos, limitaciones físicas y poca información temprana.
- Se sugiere agregar una variable de riesgo asociada a información incompleta o falta de ingeniería de detalle.

5. Optimismo/pesimismo en las proyecciones

Mencionado por: Entrevistado 3

- Se identifica una subestimación o sobrestimación de los costos según la percepción.
- Se recomienda un rango de proyecciones realista, con escenarios optimistas, de base y pesimistas.

Tabla 5 - Variables adicionales para tener en cuenta en el modelo financiero

Categoría	Variable sugerida
Imprevistos de ejecución	% de reserva para contingencias (Por ejemplo: 10 - 20%)
Alcance cambiante	Flexibilidad en el alcance - % de costos por cambios
Mercado	Sensibilidad a tipo de cambio y precios de materiales
Cliente/sitio	Índice de complejidad del sitio (bajo, medio, alto)
Ingeniería de detalle	Costo de pre-inversión e incertidumbre técnica
Riesgo de proyección	Escenarios: optimista - base - pesimista

Nota. Elaboración propia con base en información recolectada a través de encuestas realizadas al equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A

Análisis de los resultados

Situación actual

La información obtenida mediante encuestas y entrevistas al equipo de Digitalización evidenció que, aunque Celsia contaba con una estructura financiera básica para la evaluación de proyectos de eficiencia energética, esta aún no era percibida como completamente consolidada. El 50 % de los encuestados manifestó haber estado de acuerdo con su adecuación, un 33 % se mostró indiferente y un 17 % expresó desacuerdo. Estos resultados sugirieron la necesidad de fortalecer la apropiación y aplicación del modelo financiero dentro del área, así como de avanzar hacia una herramienta más integral que respaldara la toma de decisiones estratégicas basadas en evidencia.

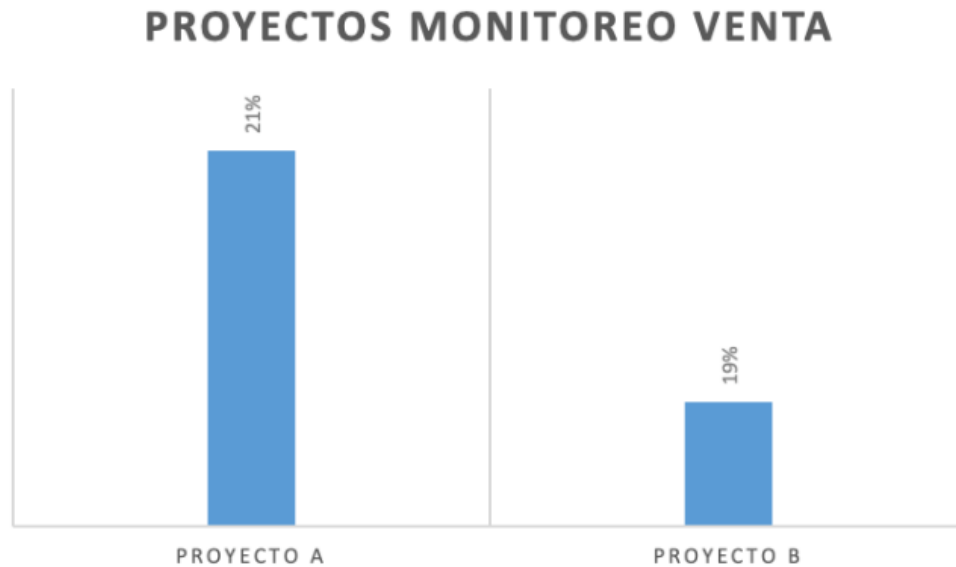
Para complementar este análisis, se estudió el comportamiento financiero de catorce (14) proyectos de eficiencia energética, que correspondieron a la totalidad de los proyectos finalizados sobre los cuales el equipo de Digitalización disponía de trazabilidad completa. De estos, diez (10) correspondieron a proyectos de monitoreo como servicio, dos (2) a monitoreo como venta y dos (2) a gestión energética como venta. La estructuración financiera de dichos proyectos fue validada inicialmente por el equipo técnico y posteriormente procesada mediante un cotizador desarrollado internamente por la compañía, diseñado de acuerdo con las condiciones comerciales del negocio tradicional de la energía.

Es importante señalar que los detalles administrativos, financieros y económicos individuales de cada proyecto fueron clasificados por Celsia Colombia como información sensible y de carácter confidencial; por consiguiente, el análisis se presentó en términos de porcentajes y proporciones relativas, con el propósito de preservar la confidencialidad de los datos y garantizar la integridad de la información corporativa.

Los proyectos de monitoreo bajo modalidad de venta mostraron ventajas competitivas para Celsia, dado que el cliente asumió el costo total de los equipos y las adecuaciones necesarias para su instalación. Estas operaciones se ejecutaron mediante un único pago, efectuado una vez que los equipos fueron entregados y puestos en funcionamiento a satisfacción.

En general, cada uno de estos proyectos de venta no superó los 200 millones de pesos colombianos (CAPEX), con periodos de ejecución inferiores a seis meses. Esta característica redujo el riesgo de variaciones en precios o imprevistos técnicos. Los proyectos ejecutados bajo esta modalidad presentaron un margen promedio del 20 %, en línea con los valores esperados al momento de su estructuración (15 %).

Figura 4 - Margen proyectos monitoreo como venta



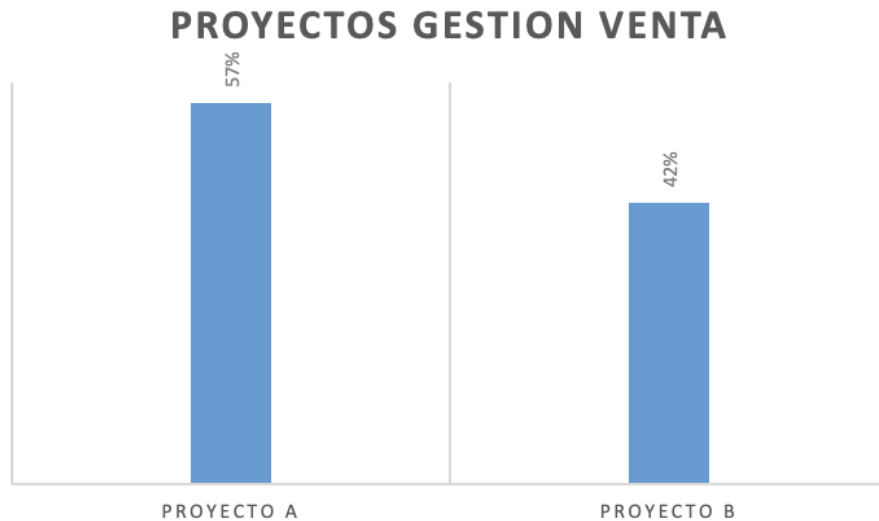
Nota. Elaboración de las autoras con base en la información financiera de los proyectos suministrada por la compañía.

Por otro lado, los proyectos de gestión energética como venta no requirieron inversión en activos de capital (CAPEX), ya que su valor dependió principalmente de las horas de desarrollo necesarias para automatizar los modelos o algoritmos de análisis entregados al cliente. Aunque estos proyectos reflejaron márgenes promedio del 50 %, la sostenibilidad del modelo se vio limitada por la ausencia de ingresos recurrentes y la dificultad para cuantificar con precisión los costos asociados al uso de recursos tecnológicos tales como servicios de internet, energía eléctrica para servidores, almacenamiento en la nube y licencias de software.

A pesar de presentar una alta rentabilidad nominal, este tipo de proyectos resultó menos atractivo para Celsia debido al ingreso potencial no percibido en comparación con la modalidad de gestión energética como servicio. Esto se debe a que, si los contratos se hubiesen estructurado bajo un esquema de servicio basado en un porcentaje del ahorro energético alcanzado, los ingresos acumulados habrían sido significativamente mayores, considerando los resultados de ahorro observados desde el inicio hasta la finalización de los proyectos. No obstante, implementar exclusivamente este tipo de esquemas implicaría el reto adicional de establecer un método de cuantificación confiable del ahorro proyectado

y de su impacto financiero, garantizando la precisión en la estimación de beneficios y la sostenibilidad del modelo.

Figura 5 - Margen proyectos de gestión como venta



Nota. Elaboración de las autoras con base en la información financiera de los proyectos suministrada por la compañía.

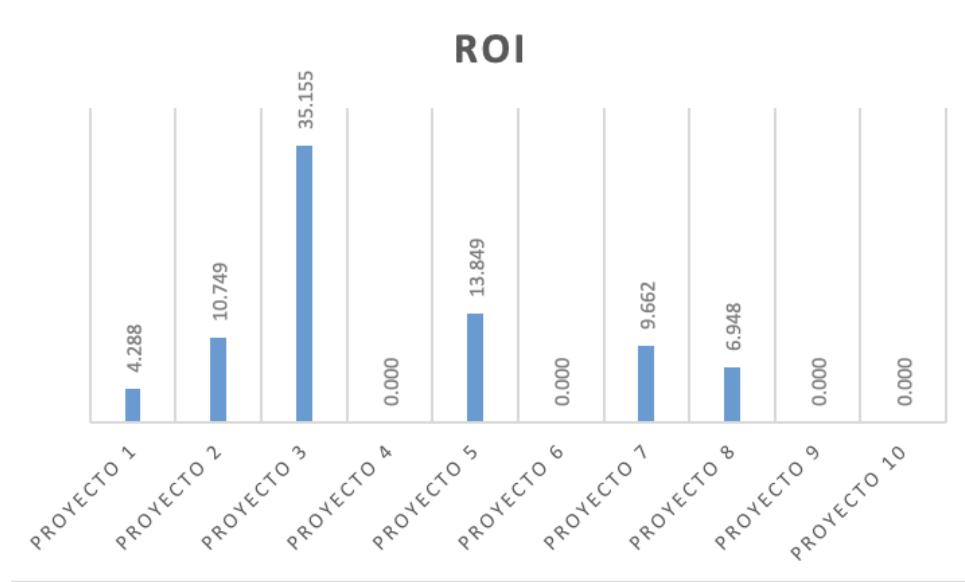
Finalmente, los proyectos de monitoreo bajo modalidad de servicio representaron el mayor reto financiero y operativo para la empresa. En estos casos, la organización prestadora del servicio mantuvo la propiedad de los activos y asumió la responsabilidad de su operación, mantenimiento y funcionamiento, recibiendo a cambio una tarifa mensual de renta o suscripción.

Este tipo de proyectos enfrentó diversos desafíos, entre ellos la variación en los precios de suministros, los costos asociados a servicios de terceros, los mantenimientos no previstos, el deterioro prematuro de materiales y las dificultades logísticas en campo. Estas condiciones evidenciaron limitaciones del modelo financiero vigente, especialmente en su capacidad para anticipar desviaciones en costos y márgenes operativos.

El análisis del Retorno sobre la Inversión (ROI) evidenció que, aunque ninguno de los proyectos presentó pérdidas, el 40 % alcanzó un ROI de 0 %, lo que indica recuperación de la inversión sin generación de utilidad. Este comportamiento representa un desgaste operativo para la compañía, al implicar el uso de recursos humanos y técnicos que podrían

haberse destinado a proyectos de mayor rentabilidad. Solo el 10 % de los proyectos presentó un ROI superior al 20 %, mientras que el restante obtuvo utilidades inferiores a las esperadas.

Figura 6 - ROI proyectos monitoreo como servicio



Nota. Elaboración de las autoras con base en la información financiera de los proyectos suministrada por la compañía.

El análisis detallado de la muestra permitió identificar los puntos específicos en los que se presentaron diferencias entre los valores proyectados y ejecutados del CAPEX. Se determinó que seis (6) de los diez (10) proyectos de monitoreo como servicio presentaron sobreejecución en los costos de mano de obra, debido principalmente a una mayor dedicación del personal técnico, ajustes en tiempos de instalación, visitas adicionales y actividades de desinstalación no contempladas.

Asimismo, cuatro (4) proyectos evidenciaron sobrecostos en gastos administrativos, incluyendo trámites de certificación, carnetización y otros requerimientos formales, mientras que otros cuatro (4) registraron incrementos en viáticos, principalmente por desplazamientos del personal técnico y transporte de materiales.

Por otra parte, un proyecto presentó sobrecostos en equipos de medición, asociados a fluctuaciones cambiarias, escasez de materiales o sustituciones técnicas, y otro mostró incrementos en materiales de montaje, como adecuaciones en gabinetes eléctricos, tuberías o cableado especializado.

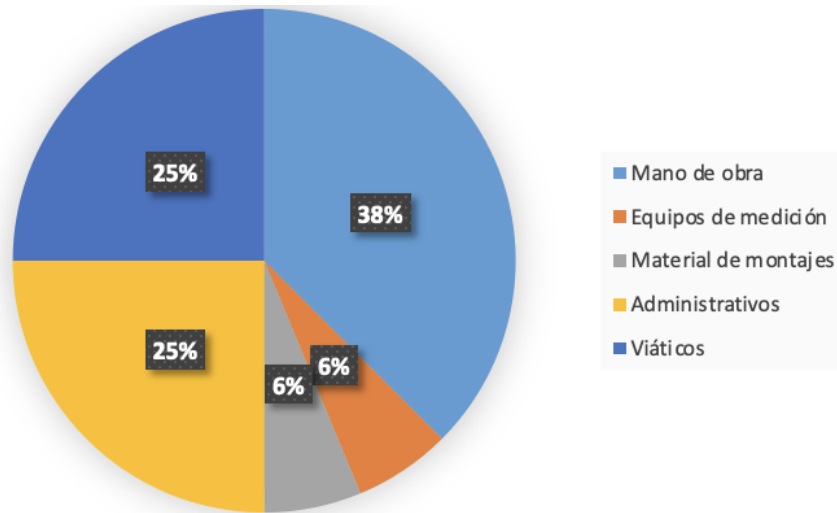
La mano de obra fue el componente con mayor incidencia, representando el 38 % del total de desviaciones entre valores proyectados y ejecutados. Le siguieron los viáticos y costos administrativos, con un 25 % cada uno, mientras que los materiales de montaje y equipos de medición representaron el 6 % cada uno.

Tabla 6 - Diferencia entre CAPEX proyectado y ejecutado en proyectos de monitoreo como servicio

Proyecto	Mano de Obra	Equipos de medición	Material de montajes	Administrativos	Viáticos
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Nota. Elaboración de las autoras con base en la información financiera de los proyectos suministrada por la compañía.

Figura 7 - Causas de diferencia entre CAPEX proyectado y ejecutado



Nota. Elaboración de las autoras con base en la información financiera de los proyectos suministrada por la compañía.

Fortalezas Actuales

Dentro de las fortalezas identificadas en el equipo de Digitalización se destacaron los siguientes aspectos:

- **Personal capacitado:** El equipo estuvo conformado por profesionales con formación técnica y experiencia en el sector energético, quienes demostraron un conocimiento claro del negocio y realizarán aportes significativos en cada una de las etapas de los proyectos.
- **Conocimiento de indicadores financieros clave:** Los colaboradores entrevistados identificaron de manera consistente indicadores como el Retorno sobre la Inversión (ROI), Inversión de Capital (CAPEX), Gastos Operativos (OPEX), Tasa Interna de Retorno (TIR), Utilidades antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones (EBITDA), margen, utilidad y payback como elementos esenciales para el análisis financiero. Este hallazgo evidenció un nivel sólido de comprensión sobre las variables críticas que determinan la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética.
- **Reconocimiento de variables operativas:** Se evidenció que el equipo comprendía los factores que podían generar desviaciones entre el CAPEX proyectado y el ejecutado, tales como los costos de instalación, la mano de obra tercerizada, la disponibilidad de equipos especializados y los ajustes técnicos durante la fase de implementación.
- **Compromiso con la mejora continua:** El consenso entre los participantes sobre la necesidad de contar con un modelo financiero estructurado reflejó una actitud proactiva hacia la mejora constante y la búsqueda de herramientas que fortalecieran la toma de decisiones basada en evidencia.

Oportunidades de Mejora

El análisis permitió determinar que las desviaciones recurrentes se concentraron en los componentes operativos y de ejecución, lo que puso en evidencia la necesidad de contar con un modelo financiero estandarizado que orientara la evaluación y gestión de los proyectos de eficiencia energética.

En este sentido, se definió que un modelo homogéneo debía caracterizarse por su uniformidad en la estructura, los criterios de cálculo y la metodología de evaluación, de modo que pudiera aplicarse de manera consistente en todos los proyectos de monitoreo y eficiencia energética. Por su parte, un modelo formal debía encontrarse documentado, validado y ser replicable, garantizando la trazabilidad de los datos y la transparencia en los resultados, superando así la variabilidad metodológica observada en el esquema previo.

Asimismo, se estableció que las variaciones significativas correspondían a desviaciones superiores al 10 % respecto al valor proyectado, parámetro que se consideró adecuado para el seguimiento y control de las desviaciones financieras relevantes dentro del modelo.

A partir de estos hallazgos, se identificaron las siguientes oportunidades de mejora:

- **Estandarización del modelo financiero:** Se recomendó consolidar el modelo desarrollado en Excel, asegurando su adopción institucional por todas las áreas involucradas en los proyectos. Este modelo debía incluir plantillas base con indicadores priorizados, mecanismos de seguimiento y análisis comparativo respecto a la línea base.
- **Capacitación y apropiación del modelo:** El nivel de indiferencia y desacuerdo identificado en los resultados de la encuesta reflejó la necesidad de fortalecer las competencias del equipo en temas de análisis financiero. Por ello, se propuso implementar programas de formación y espacios de transferencia de conocimiento que garantizaran la correcta interpretación y aplicación del modelo.

- **Incorporación de riesgos y análisis de desviaciones:** El modelo propuesto integró variables con alta probabilidad de presentar desviaciones, tales como los costos de mano de obra tercerizada, las condiciones técnicas imprevistas y los cambios surgidos durante la ejecución. Se recomendó la aplicación de simulaciones y análisis de sensibilidad para anticipar y mitigar el impacto financiero de estos factores.
- **Integración con herramientas digitales:** Se planteó la necesidad de realizar futuras integraciones del modelo mediante la incorporación de plataformas digitales que automatizaran la captura, almacenamiento y análisis de los indicadores financieros. Herramientas como Power BI, Tableau, SAP Analytics Cloud o paneles desarrollados en Python y HTML permitirían conectar el modelo con bases de datos corporativas, posibilitando análisis en tiempo real y decisiones basadas en información verificable.
- **Documentación y lecciones aprendidas:** Se sugirió establecer un sistema de registro de experiencias y lecciones aprendidas derivadas de los proyectos ejecutados, con el fin de retroalimentar de manera continua el modelo, aumentar su precisión y mejorar su aplicabilidad en futuros proyectos.

- Ahorros energéticos proyectados (cuando aplique)
- Costos operativos y de mantenimiento
- Vida útil del proyecto
- Definir la tasa de descuento apropiada que refleje el costo de capital y riesgo inherente al proyecto.
- Calcular el Valor Presente Neto (VPN) bajo valores determinísticos.

Etapas dos: Identificación y Definición de Variables Clave

- Determinar las variables que presentan mayor incertidumbre y afectan significativamente los flujos de caja (por ejemplo, precio de la energía, tasa de inflación, vida útil del equipo).
- Asignar distribuciones probabilísticas adecuadas a cada variable, basadas en datos históricos, estudios sectoriales o experticia técnica.

Etapas tres: Ejecución de la Simulación Monte Carlo

- Simular iteraciones dentro del modelo.
- Obtener una distribución probabilística del VPN y otros indicadores financieros relevantes.

Etapas cuatro: Análisis de Resultados y Evaluación del Riesgo

- Analizar la distribución de resultados, identificando probabilidades de obtener valores positivos o negativos.
- Determinar percentiles clave para evaluar escenarios extremos.

Etapas cinco: Análisis de Sensibilidad

- Evaluar el impacto de cambios incrementales en cada variable clave sobre el VPN.
- Identificar las variables que más afectan la rentabilidad y, por ende, deben ser gestionadas prioritariamente.

Este enfoque metodológico no solo fortalece el análisis financiero, sino que también aporta transparencia y rigor en la evaluación de proyectos de eficiencia energética, facilitando la identificación y gestión de riesgos inherentes y aumentando la confianza de clientes e inversionistas.

Construcción del Modelo Financiero

En el marco de la estructuración de proyectos de inversión en eficiencia energética, resultó indispensable desarrollar un modelo financiero que permitiera evaluar de manera rigurosa la rentabilidad, sostenibilidad y viabilidad económica de las iniciativas analizadas. Este tipo de modelos constituye una herramienta esencial para garantizar que las decisiones de inversión estén fundamentadas en criterios objetivos, medibles y reproducibles, permitiendo al mismo tiempo identificar y mitigar los riesgos financieros asociados a la variabilidad de los costos, ingresos y condiciones del entorno operativo.

Para tal fin, se diseñó una plantilla en Microsoft Excel, seleccionada por su flexibilidad, capacidad de personalización y amplia aceptación en los ámbitos empresarial y académico como plataforma de planeación y análisis cuantitativo (Benninga & Sarig, 2020). Excel ofreció la posibilidad de integrar información histórica, proyecciones financieras, parámetros operativos y escenarios de riesgo, lo cual facilitó la implementación de un marco metodológico dinámico, adaptable a distintos tipos de proyectos y esquemas contractuales. Asimismo, el software permitió incorporar metodologías financieras avanzadas, tales como el análisis de sensibilidad y la simulación Monte Carlo, que aportaron una visión probabilística del desempeño económico de los proyectos. Estas técnicas fortalecieron la capacidad predictiva del modelo al capturar la variabilidad de las condiciones de mercado, las fluctuaciones en precios energéticos y los cambios en los costos operativos (Savvides, 2021).

El objetivo central consistió en construir un modelo que combinara enfoques determinísticos y probabilísticos, con el propósito de fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia empírica y reducir la incertidumbre financiera inherente a los proyectos de eficiencia energética (Brigham & Ehrhardt, 2021). Mientras el componente determinístico permitió calcular indicadores financieros tradicionales como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (Payback), el componente probabilístico incorporó la variabilidad de los insumos mediante distribuciones estadísticas que representaron comportamientos más realistas del entorno económico y operativo.

De esta manera, el modelo ofreció un marco de análisis integral y flexible, capaz de proporcionar a los estructuradores financieros y tomadores de decisiones una comprensión detallada del comportamiento económico de cada proyecto bajo distintos escenarios de riesgo. Con ello, se buscó no solo facilitar la valoración económica y la comparación entre alternativas de inversión, sino también contribuir a la formulación de estrategias de mitigación de riesgos, fortaleciendo la sostenibilidad de las inversiones en el tiempo y promoviendo una gestión financiera más resiliente y transparente dentro del proceso de estructuración de proyectos de eficiencia energética.

El modelo financiero desarrollado constó de cinco hojas principales, cada una diseñada con un propósito específico y orientada a garantizar la trazabilidad de los datos, la coherencia de los cálculos y la validación de los resultados. En conjunto, estas hojas permitieron integrar los componentes determinísticos y probabilísticos del modelo, articulando un flujo metodológico que facilitó la evaluación del desempeño financiero de los proyectos de eficiencia energética bajo diferentes escenarios.

Cada una de las hojas fue construida bajo los siguientes criterios:

- **Resumen:**

Esta hoja constituyó el núcleo central del modelo, ya que consolidó los resultados finales de las proyecciones y simulaciones. En ella se presentaron los indicadores clave de desempeño (KPIs), indispensables para evaluar la viabilidad y rentabilidad de los proyectos.

Los principales indicadores fueron:

- Tarifa proyectada para el primer año antes de impuestos.
- Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), como criterios base de decisión de inversión (Brealey et al., 2020).
- Retorno sobre la Inversión (ROI), EBITDA y utilidad neta esperada, calculados con base en los flujos de caja descontados.

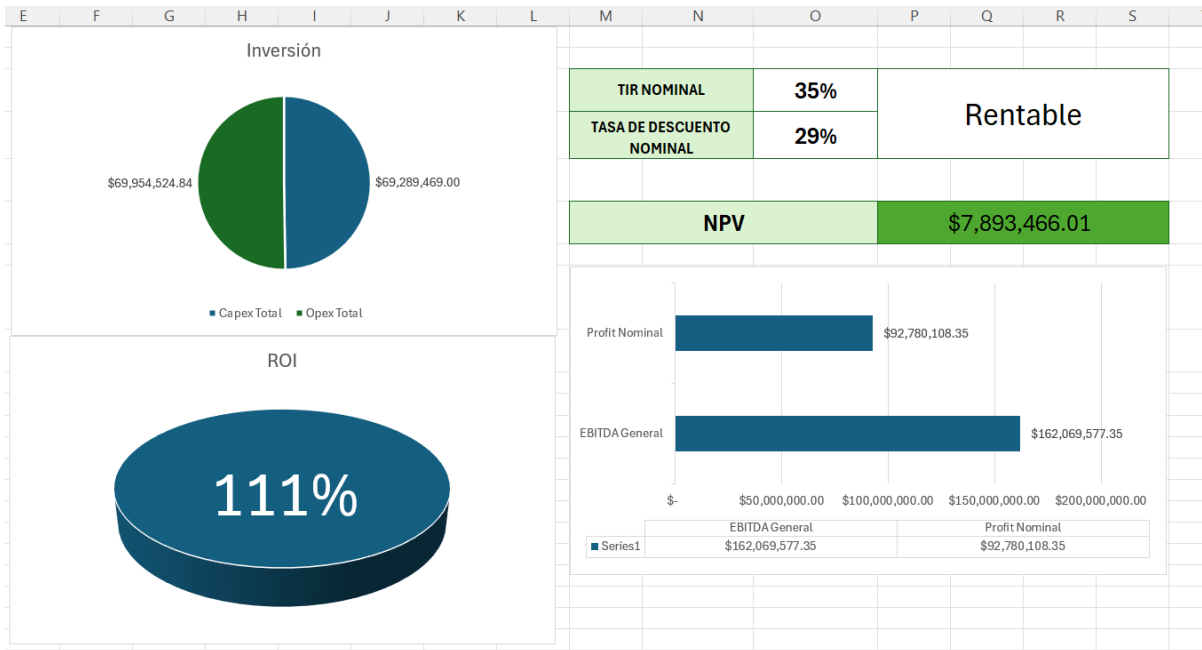
Además, se incluyeron gráficos comparativos en escala de grises que representaron la distribución porcentual de CAPEX y OPEX, la evolución del flujo neto de caja y la relación entre rentabilidad proyectada y riesgo asumido. Estos elementos gráficos cumplieron una función tanto pedagógica como estratégica, al facilitar la interpretación visual de los resultados y brindar soporte para la toma de decisiones gerenciales.

Figura 8 - Tabla Resumen Modelo Financiero

	A	B	C	D
	Nombre	Indicador	Valor	Comentarios
1	Valor Presente Neto	NPV	\$7,893,466.01	
2	Tasa Interna de Retorno Nominal	TIR Nominal	35%	
3	Tasa Interna de Retorno Real	TIR Real	25%	
4	Tiempo de Recuperación de la Inversión	Payback	2026	
5	Año de Punto de Equilibrio	Breakeven Year	2027	
6	Retorno sobre la Inversión	ROI	111%	Alto
7	Ganancias antes de Intereses, Impuestos, Depreciación y Amortización	EBITDA General	\$ 162,069,577.35	70%
8	Utilidad Total del Proyecto Nominal	Profit Nominal	\$ 92,780,108.35	40%
9	Capex	Capex Total	\$ 69,289,469.00	
10	Opex	Opex Total	\$ 69,954,524.84	
11				
12				
13				
14	Tarifa mínima mensual primer año antes de IVA		\$	3,312,966.78
15				
16				

Nota. Captura tomada del modelo financiero elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

Figura 9 - Gráficos Resumen Modelo Financiero



Nota. Captura tomada del modelo financiero elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

• **Inputs:**

En esta hoja se consolidaron los parámetros de entrada y los supuestos operativos y financieros del modelo. Su diseño permitió que todas las variables críticas fueran visibles y fácilmente actualizables, garantizando la flexibilidad necesaria para ajustar el modelo a distintos tipos de proyectos.

Entre los datos registrados se incluyeron:

- Nombre del proyecto, tipo de contrato (venta o servicio), fecha de elaboración de la oferta y moneda base (COP o USD).
- Duración contractual, establecida entre uno (1) y diez (10) años, según el tipo y alcance del proyecto, conforme a las directrices del equipo de estructuración de Celsia Colombia S.A. E.S.P.
- Margen operativo esperado, con valores entre 20 % y 40 %, a solicitud del equipo de estructuración de Celsia. Estos valores fueron definidos de acuerdo con la complejidad y el riesgo técnico-financiero de cada caso.

- Tasa de descuento real, variable entre 12 % y 20 %, establecida conforme al costo promedio ponderado de capital (Weighted Average Cost of Capital, WACC) y el perfil de riesgo del proyecto. El rango fue solicitado con el equipo de estructuración de proyectos de la compañía.
- Índice de Precios al Consumidor (IPC) proyectado en 7,74 %, con base en las proyecciones del Banco de la República (2025) y a solicitud de la compañía.
- CAPEX y OPEX anuales, expresados en pesos constantes y ajustados mediante indexación.

Asimismo, se incluyeron variables contextuales como la tasa de cambio, los costos indirectos y las condiciones de indexación, y una tabla de variables operativas transversales, lo cual aseguró la estandarización de los criterios en todos los proyectos de la organización.

Tabla 7 - Variables de entrada y parámetros definidos en el modelo financiero

Variable	Descripción	Unidad	Fuente / Justificación
CAPEX	Inversión inicial en infraestructura y equipos	COP	Estructuración de proyectos Celsia
OPEX	Costos operativos anuales	COP	Datos históricos y proyecciones
Margen esperado	20 - 40 % según riesgo	%	Política interna Celsia
Tasa de descuento real	12 - 20 %	%	WACC ajustado por riesgo Estructuración de proyectos Celsia
IPC proyectado	7,74%	%	Banco de la República (2025) Estructuración de proyectos Celsia
Duración contractual	1 - 10 años	Años	Naturaleza del proyecto
Moneda base	COP / USD	-	Condiciones contractuales

Nota. Elaboración propia con base en la plantilla "Inputs" del modelo financiero (2025).

Donde:

FCL_t = flujo de caja libre en el período t

r = tasa de descuento real

I_0 = inversión inicial (CAPEX)

n = horizonte temporal del proyecto.

Adicionalmente, se calcularon indicadores complementarios como el Periodo de Recuperación (Payback) y el Retorno sobre la Inversión (ROI). Esta hoja integró los valores de CAPEX y OPEX provenientes de los “Inputs”, aplicando el IPC proyectado para ajustar los valores nominales, conforme a las recomendaciones de gestión financiera en proyectos de inversión (Maciariello & Kirby, 2021).

Figura 11 - Hoja Proyecciones Modelo Financiero

Año	CAPEX	OPEX	Ingreso Anual Nominal	Flujo Neto Nominal	Flujo Descontado Nominal	Flujo Acumulado	EBITDA Anual
0	\$ 69,289,469.00	\$ -	\$ -	\$ (69,289,469.00)	\$ (69,289,469.00)	\$ (69,289,469.00)	\$ -
2025	\$ -	\$ 11,832,000.00	\$ 39,755,601.38	\$ 27,923,601.38	\$ 21,597,983.87	\$ (41,365,867.62)	\$ 27,923,601.38
2026	\$ -	\$ 12,824,626.06	\$ 42,832,684.93	\$ 30,008,058.87	\$ 17,952,356.70	\$ (11,357,808.75)	\$ 30,008,058.87
2027	\$ -	\$ 13,900,526.83	\$ 46,147,934.74	\$ 32,247,407.91	\$ 14,921,763.74	\$ 20,889,599.16	\$ 32,247,407.91
2028	\$ -	\$ 15,066,688.53	\$ 49,719,784.89	\$ 34,653,096.37	\$ 12,402,498.33	\$ 55,542,695.53	\$ 34,653,096.37
2029	\$ -	\$ 16,330,683.42	\$ 53,568,096.24	\$ 37,237,412.82	\$ 10,308,332.37	\$ 92,780,108.35	\$ 37,237,412.82

Nota. Captura tomada del modelo financiero elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

- **Sensibilidad:**

La cuarta hoja del modelo financiero se centró en el análisis de sensibilidad, con el objetivo de evaluar la robustez del modelo frente a variaciones en los supuestos técnicos y financieros definidos durante la estructuración. Este tipo de análisis permitió identificar el grado de influencia que ejercía cada variable crítica sobre los resultados del proyecto, principalmente sobre el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) (Fernández & Carabias, 2020). De igual forma, esta hoja de sensibilidad les permitió a los estructuradores hacer ajustes en los valores contemplados con el objetivo de proteger la rentabilidad de los proyectos frente a situaciones de incertidumbre.

El análisis realizado se fundamentó en la aplicación de la fórmula de elasticidad parcial, la cual determina la variación porcentual del VPN frente a un cambio porcentual en una variable independiente, manteniendo las demás constantes. La expresión matemática utilizada fue la siguiente:

$$E = \frac{(\Delta\text{VPN} / \text{VPN})}{(\Delta X / X)}$$

Donde: E representa el coeficiente de sensibilidad, ΔVPN indica la variación del valor presente neto, ΔX corresponde al cambio aplicado sobre la variable analizada, y VPN y X son los valores de referencia del escenario base.

Tabla 8 - Resultados del análisis de sensibilidad sobre VPN

Variable	Rango de variación (%)	Elasticidad (E)	Impacto sobre el VPN	Nivel de sensibilidad
CAPEX	±10 - 30	1.10 - 1.30	Inverso	Alta
Margen operativo	±10 - 30	0.90 - 1.00	Directo	Alta
Tasa de descuento	±10 - 30	0.70 - 0.80	Inverso	Media
OPEX	±10 - 30	0.60 - 0.70	Inverso	Media
IPC	±10 - 30	0.40 - 0.50	Inverso	Baja

Nota. Elaboración propia con base en la plantilla "Inputs" del modelo financiero (2025).

El análisis evidenció que el CAPEX presentó la mayor sensibilidad, dado que un aumento del 10 % en la inversión inicial redujo en promedio 11 % el VPN, mientras que una disminución del mismo porcentaje incrementó proporcionalmente el valor presente neto. Por su parte, el margen operativo exhibió una relación directa con el VPN: incrementos en los márgenes derivaron en mejoras sustanciales en la rentabilidad proyectada.

La tasa de descuento real, definida entre el 12 % y el 20 % según lineamientos de Celsia Colombia S.A. E.S.P., mostró un efecto moderado, con una elasticidad

promedio de 0.75. Esto reflejó que los proyectos mantenían estabilidad relativa frente a fluctuaciones en el costo del capital. En tanto, las variaciones en OPEX e IPC generaron efectos acumulativos, más notorios en contratos de 7 a 10 años.

La aplicación del análisis de sensibilidad permitió cuantificar el nivel de vulnerabilidad del VPN ante variaciones en los supuestos del modelo, proporcionando evidencia empírica para la priorización de riesgos. Esta hoja fortaleció la trazabilidad metodológica y la capacidad predictiva del modelo financiero, ofreciendo a los estructuradores una herramienta sólida para la toma de decisiones informadas en proyectos de eficiencia energética.

Figura 12 - Hoja Sensibilidad Modelo Financiero

A	B	C	D	E	F	G	H
Inputs	Valor						
Capex	20%		ROI	104%		Capex Total	\$ 83,147,362.80
Opex	5%		EBITDA General	72%		Opex Total	\$ 73,452,251.08
Margen	30%		PROFIT Nominal	\$ 105,723,609.58			
Tasa de Descuento Real	20%		Margen	40%			
IPC	9%		Payback	2026			
Ingreso Total Esperado Valor Presente	\$ 219,161,159.63		TIR Nominal	33%			
Ingreso Total Nominal Proyectado	\$ 262,323,223.46		VPN	\$ 3,339,598.99			
Pago mensual Valor Presente	\$ 3,652,685.99						
Tasa de Descuento Nominal	30.80%						
Año	CAPEX	OPEX	Ingreso Anual Nominal	Flujo Neto Nominal	Flujo Descontado Nominal	Flujo Acumulado	EBITDA Anual
0	\$ 83,147,362.80	\$ -	\$ -	\$ (83,147,362.80)	\$ (83,147,362.80)	\$ (83,147,362.80)	\$ -
2025	\$ -	\$ 12,423,600.00	\$ 43,832,231.93	\$ 31,408,631.93	\$ 24,012,715.54	\$ (51,738,730.87)	\$ 31,408,631.93
2026	\$ -	\$ 13,465,857.36	\$ 47,777,132.80	\$ 34,311,275.44	\$ 20,054,940.33	\$ (17,427,455.44)	\$ 34,311,275.44
2027	\$ -	\$ 14,595,553.18	\$ 52,077,074.75	\$ 37,481,521.57	\$ 16,749,196.62	\$ 20,054,066.14	\$ 37,481,521.57
2028	\$ -	\$ 15,820,022.95	\$ 56,764,011.48	\$ 40,943,988.53	\$ 13,988,114.25	\$ 60,998,054.66	\$ 40,943,988.53
2029	\$ -	\$ 17,147,217.59	\$ 61,872,772.51	\$ 44,725,554.92	\$ 11,681,995.04	\$ 105,723,609.58	\$ 44,725,554.92

Nota. Captura tomada del modelo financiero elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

- **Simulación Monte Carlo:**

La quinta hoja del modelo financiero integró la técnica de simulación Monte Carlo, orientada a incorporar la incertidumbre y variabilidad de las condiciones de mercado dentro del análisis financiero. A diferencia del enfoque determinista, esta herramienta permitió evaluar el comportamiento del proyecto ante combinaciones simultáneas de múltiples variables aleatorias, generando una representación más realista del rango de posibles resultados.

Se seleccionó un tamaño muestral de 100 combinaciones aleatorias, criterio que equilibra la precisión estadística con la eficiencia computacional del modelo. A partir de este número de iteraciones, los indicadores estadísticos del VPN (promedio y

desviación estándar) mostraron convergencia y estabilidad, evidenciando que incrementos adicionales no aportaban mejoras significativas en la precisión de los resultados. Este tamaño de muestra es coherente con los estándares de análisis financiero en entornos de simulación con múltiples variables (Savvides, 2021; Hertz & Thomas, 1983).

Tabla 9 - Distribuciones probabilísticas aplicadas en la simulación Monte Carlo

Variable	Tipo de distribución	Parámetros utilizados	Justificación
CAPEX	Triangular	Mín: -10 %, Modo: 0 %, Máx: +10 %	Variabilidad moderada controlada
OPEX	Normal	Media: histórico	Oscilación operativa regular
Margen operativo	Triangular	20 % - 40 %	Política de precios variable según proyecto
Tasa de descuento real	Uniforme	12 % - 20 %	Definida por política financiera de Celsia
IPC	Normal	Media: 7,74 %	Basado en proyecciones del Banco de la República
Duración contractual	Discreta	1 a 10 años	Dependiente del tipo de contrato

Nota. Elaboración propia con base en parámetros definidos por Celsia Colombia S.A. E.S.P. (2025).

Tabla 10 - Indicadores estadísticos del VPN resultante de la simulación

Estadístico	Valor estimado	Interpretación
VPN promedio	1.185 millones COP	Escenario medio probable
VPN percentil 5	910 millones COP	Escenario adverso (peor 5 %)
VPN percentil 95	1.430 millones COP	Escenario favorable (mejor 5 %)
Probabilidad de VPN > 0	96 %	Alta probabilidad de rentabilidad
Desviación estándar	125 millones COP	Volatilidad moderada del retorno

Nota. Resultados obtenidos de 100 combinaciones aleatorias simuladas en Microsoft Excel (2025).

La simulación Monte Carlo complementó el análisis de sensibilidad al incorporar la incertidumbre conjunta de todas las variables. El uso de 100 combinaciones aleatorias permitió estimar el comportamiento probabilístico del VPN, validar la estabilidad del modelo y fundamentar decisiones financieras con base en evidencia cuantitativa. Esta hoja aportó una perspectiva más realista del riesgo financiero y fortaleció la capacidad del modelo para anticipar desviaciones y optimizar estrategias de inversión dentro del portafolio de Celsia Colombia S.A. E.S.P.

Figura 13 - Hoja Simulación Monte Carlo Modelo Financiero

Valores para la Simulación Monte Carlo			Concepto	Años
Variable	Mínimo	Máximo	Duración del proyecto	5
CAPEX Total Valor Presente	\$ 34,644,734.50	\$ 138,578,938.00		
OPEX Total Valor Presente	\$ 29,580,000.00	\$ 118,320,000.00		
Margen (%)	15%	40%		
Tasa de Descuento Real	12%	20%		
Simulación	CAPEX	OPEX	Margen	Tasa de Descuento real
	\$ 99,153,876.00	\$ 39,028,928.00	16%	19%
1	Ingreso Anual Valor Presente		\$ 32,195,543.28	
	Ingreso Total Valor Presente		\$ 160,977,716.40	
	Flujo Neto Anual Valor Presente		\$ 24,389,757.68	
	VPN		(\$24,574,767.31)	
	\$ 71,362,890.00	\$ 105,670,278.00	38%	13%
2	Ingreso Anual Valor Presente		\$ 49,012,800.58	
	Ingreso Total Valor Presente		\$ 245,064,002.88	
	Flujo Neto Anual Valor Presente		\$ 27,878,744.98	
	VPN		\$27,615,970.53	

Nota. Captura tomada del modelo financiero elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

En conjunto, la construcción de este modelo financiero permite articular de manera coherente un análisis integral que combina supuestos deterministas con escenarios probabilísticos. Esto no solo favorece una comprensión más robusta de la rentabilidad del proyecto, sino que también contribuye a fortalecer los procesos de planeación y gestión financiera en la organización, asegurando decisiones más fundamentadas y sostenibles en el tiempo en torno a la estructuración de sus potenciales negocios.

Evaluación del Modelo Financiero

Con el fin de validar la pertinencia y aplicabilidad del modelo financiero diseñado, basado en la metodología de Flujo de Caja Descontado (DCF), complementado con simulación Monte Carlo y análisis de sensibilidad, se realizó una evaluación utilizando información real de seis proyectos ejecutados por el equipo de Digitalización de la compañía Celsia Colombia. Estos incluyeron: dos proyectos de monitoreo bajo la modalidad de venta, dos proyectos de monitoreo bajo la modalidad de servicio con depreciación de activos al periodo de duración del contrato, y dos proyectos de gestión energética bajo la modalidad de venta. La selección de estos casos tuvo como propósito verificar la coherencia de los resultados obtenidos frente al comportamiento real y, adicionalmente, comprender el impacto que el uso de análisis de sensibilidad y simulaciones probabilísticas hubiera tenido en la capacidad del equipo para anticipar riesgos y optimizar decisiones.

Los resultados evidenciaron que, en cinco de los seis proyectos analizados, el modelo habría permitido prever afectaciones financieras significativas. Esto se traduce en la posibilidad de haber ajustado oportunamente la tarifa propuesta, garantizando así la estabilidad de los ingresos y la protección de los márgenes esperados. Tal hallazgo confirma el valor del análisis de sensibilidad como herramienta de gestión preventiva, ya que facilita identificar cómo variaciones en variables críticas impactan los indicadores de rentabilidad (Fernández & Carabias, 2020). Asimismo, la inclusión de la simulación Monte Carlo refuerza la capacidad de anticipación al ofrecer una visión probabilística de los posibles escenarios, lo que coincide con la literatura que resalta la utilidad de este enfoque para reducir la incertidumbre en proyectos de inversión (Savvides, 2021). En contraste, se identificó un único proyecto en el cual no habría sido posible mantener los porcentajes de utilidad esperados, debido a la combinación de dos factores externos: la fluctuación en el valor de cambio de la moneda y las dificultades internas para la asignación de presupuestos en los plazos requeridos. A pesar de ello, el modelo evidenció que, bajo el esquema alternativo, la situación financiera resultaba más favorable que la obtenida con la estructuración original. Este resultado resalta la importancia de contar con modelos robustos y flexibles que no solo permitan proyectar escenarios ideales, sino también ofrecer alternativas más eficientes en contextos de alta volatilidad y restricciones operativas.

Modelo para el Seguimiento de Proyectos Ejecutados o en Ejecución

Con el propósito de que el equipo de Digitalización pudiera realizar un seguimiento sistemático y detallado de los proyectos, tanto ejecutados como en curso, y utilizar las variaciones detectadas para efectuar ajustes que fortalecieran la eficiencia del modelo financiero propuesto, se desarrolló un formato en Microsoft Excel diseñado para comparar los datos inicialmente proyectados con los registros reales de facturación. Esta herramienta permitió verificar la coherencia entre las proyecciones financieras generadas durante la estructuración y los resultados efectivamente observados durante la operación. Para validar su funcionalidad, se emplearon datos reales correspondientes a seis proyectos previamente ejecutados por el equipo de Digitalización de Celsia Colombia S.A. E.S.P.

Durante la estructuración de uno de los proyectos analizados, las tarifas definidas no consideraron mecanismos de indexación, ya que fueron estimadas con base en la relación entre el gasto operativo (OPEX) y los ahorros energéticos esperados. No obstante, en la etapa de ejecución se identificaron ajustes estratégicos en la configuración de los equipos físicos, lo cual generó un aumento de los ingresos frente a los valores inicialmente proyectados. Este comportamiento evidenció la necesidad de contar con herramientas de retroalimentación financiera que permitieran comparar proyecciones y resultados, facilitando la toma de decisiones correctivas en etapas tempranas.

Para el diligenciamiento del formato se requirió la siguiente información: nombre del proyecto, fecha de inicio, duración contractual (en meses), tipo de moneda, tasa de descuento real anual, margen operativo esperado, tipo de contrato e índice de precios al consumidor (IPC) proyectado. Estos parámetros correspondieron a los supuestos definidos durante la estructuración, complementados con los registros obtenidos en la fase de ejecución. Asimismo, fue necesario registrar el CAPEX, el OPEX y los ingresos mensuales tanto proyectados como reales, lo que permitió evaluar la eficiencia de las estimaciones y el grado de desviación respecto a los resultados observados.

Figura 14 - Modelo para el Seguimiento de Proyectos Parámetros Generales

	A	B	C
1	Parametros Generales		
2			
3	N	Parametro	Valor
4	1	Nombre del proyecto	Proyecto A
5	2	Fecha de Inicio	01/08/2022
6	3	Duración (Meses)	36
7	4	Moneda	COP
8	5	Tasa de descuento real Anual(%)	20%
9	6	Margen Esperado (%)	20%
10	7	Tipo de Contrato	Servicio
11	8	IPC%	0%
12	9	Tasa de descuento Anual Nominal	20.000%
13	10	Tasa de descuento Mensual Real	1.531%
14	11	Tasa de descuento Mensual Nominal	1.531%

Nota. Captura tomada del modelo de seguimiento elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

Figura 15 - Proyecciones Iniciales

F	G	H	I	J	K
Proyecciones Iniciales					
Periodo	Capex Proyectado	Opex Proyectado	Ingreso Proyectado	Margen Proyectado	EBITDA Proyectado
Mes 0	\$ 33,000,000.00	\$ -	\$ -		\$ -
Mes 1	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 2	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 4	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 5	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 6	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 7	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 8	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 9	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 10	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 11	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 12	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 13	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 14	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 15	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 16	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 17	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 18	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00

Nota. Captura tomada del modelo de seguimiento elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

Figura 16 - Datos Reales

M	N	O	P	Q	R
Datos Posteriores a la Ejecución					
Periodo	Capex Ejecutado	Opex Ejecutado	Ingreso Real	Margen Real	EBITDA Real
Mes 0	\$ 33,000,000.00	\$ -	\$ -		\$ -
Mes 1	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 2	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 4	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 5	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 6	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 7	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 8	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 9	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 10	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 11	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 12	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 6,600,000.00	26%	\$ 1,698,000.00
Mes 13	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 7,283,000.00	33%	\$ 2,381,000.00
Mes 14	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 7,283,000.00	33%	\$ 2,381,000.00
Mes 15	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 7,283,000.00	33%	\$ 2,381,000.00
Mes 16	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 7,283,000.00	33%	\$ 2,381,000.00
Mes 17	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 7,283,000.00	33%	\$ 2,381,000.00
Mes 18	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 7,283,000.00	33%	\$ 2,381,000.00
Mes 19	\$ -	\$ 4,902,000.00	\$ 7,283,000.00	33%	\$ 2,381,000.00

Nota. Captura tomada del modelo de seguimiento elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

Una vez ingresados los datos requeridos, el archivo ejecutó un proceso de comparación automática entre la información proyectada y la información real. Para ello, se aplicó la fórmula de desviación porcentual:

$$Desviación(\%) = \frac{Valor Real - Valor Proyectado}{Valor Proyectado} \times 100$$

De esta forma, se cuantificaron las diferencias entre los indicadores financieros obtenidos y los esperados, expresadas en términos porcentuales. Este procedimiento facilitó la identificación de sobrecostos, ahorros y variaciones en márgenes operativos o tiempos de ejecución, fortaleciendo la capacidad de evaluación del desempeño financiero de cada proyecto.

Figura 17 - Comparación de Datos Proyectados con Ejecutados

Indicador	Proyectado	Real	Diferencia	Desviación
Ingreso Acumulado	\$ 231,000,000.00	\$ 247,392,000.00	\$ 16,392,000.00	7%
Opex Acumulado	\$ 171,570,000.00	\$ 171,570,000.00	\$ -	0%
EBITDA Acumulado	\$ 59,430,000.00	\$ 75,822,000.00	\$ 16,392,000.00	28%
Margen promedio Acumulado	26%	31%	5%	19%

Nota. Captura tomada del modelo de seguimiento elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

Figura 18 - Datos generales del comparativo

Meses transcurridos	36	CAPEX Proyectado	\$ 33,000,000.00
Duración del Contrato	36	CAPEX Real	\$ 33,000,000.00
Meses faltantes	0		
Tasa de descuento nominal mensual	1.531%		

Nota. Captura tomada del modelo de seguimiento elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

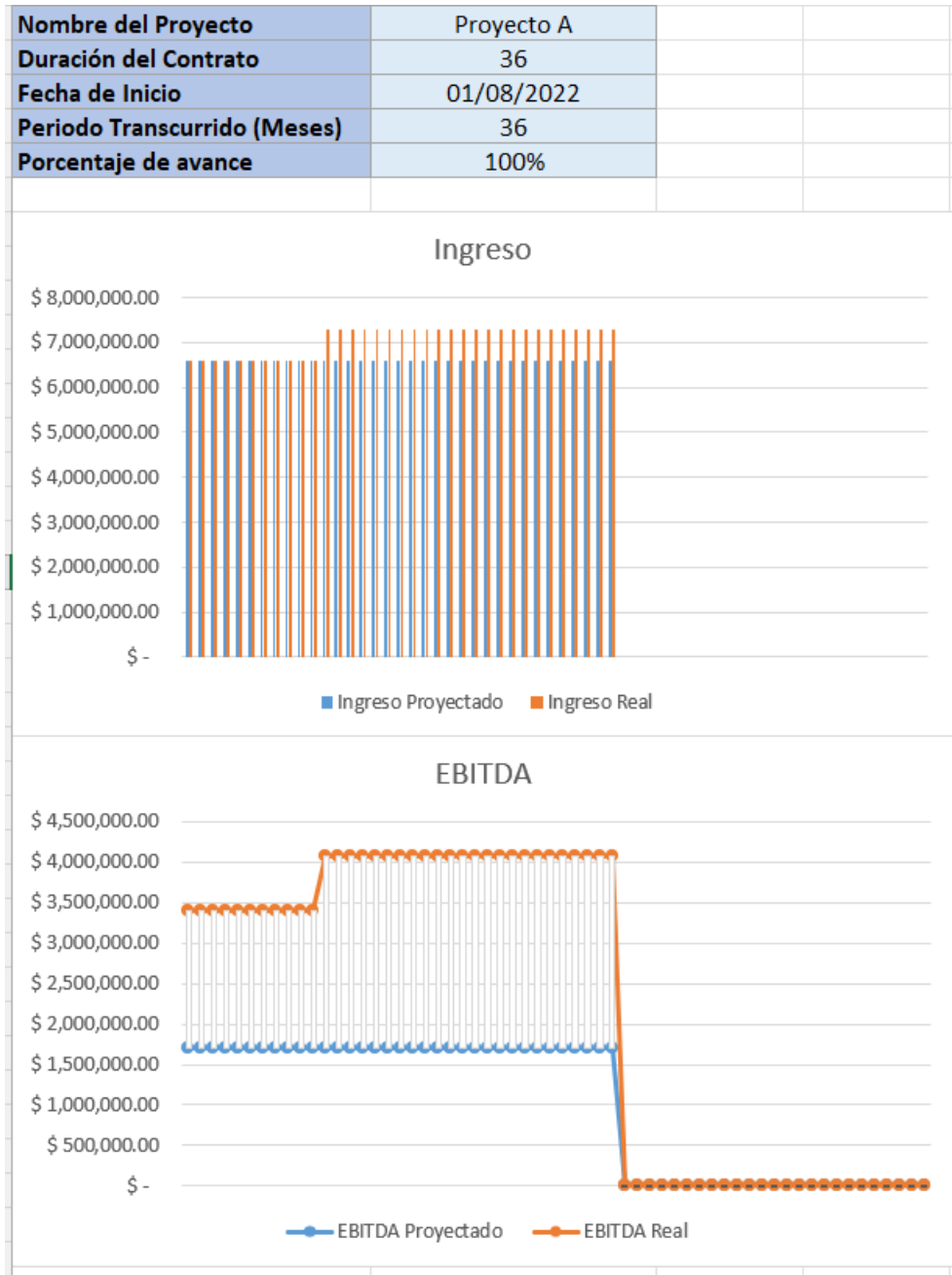
Figura 19 - Tabla comparativa proyectado vs ejecutado

Periodo	Comparativo									
	Ingreso Proyectado	Ingreso Real	Opex Proyectado	Opex Real	EBITDA Proyectado	EBITDA Real	Margen EBITDA Proyectado	Margen EBITDA Real	Margen Proyectado	Margen Real
Mes 1	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%
Mes 2	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%
Mes 4	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%
Mes 5	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%
Mes 6	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%
Mes 7	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%
Mes 8	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%
Mes 9	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%
Mes 10	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%
Mes 11	\$ 6,600,000.00	\$ 6,600,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 4,902,000.00	\$ 1,698,000.00	\$ 1,698,000.00	26%	26%	26%	26%

Nota. Captura tomada del modelo de seguimiento elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

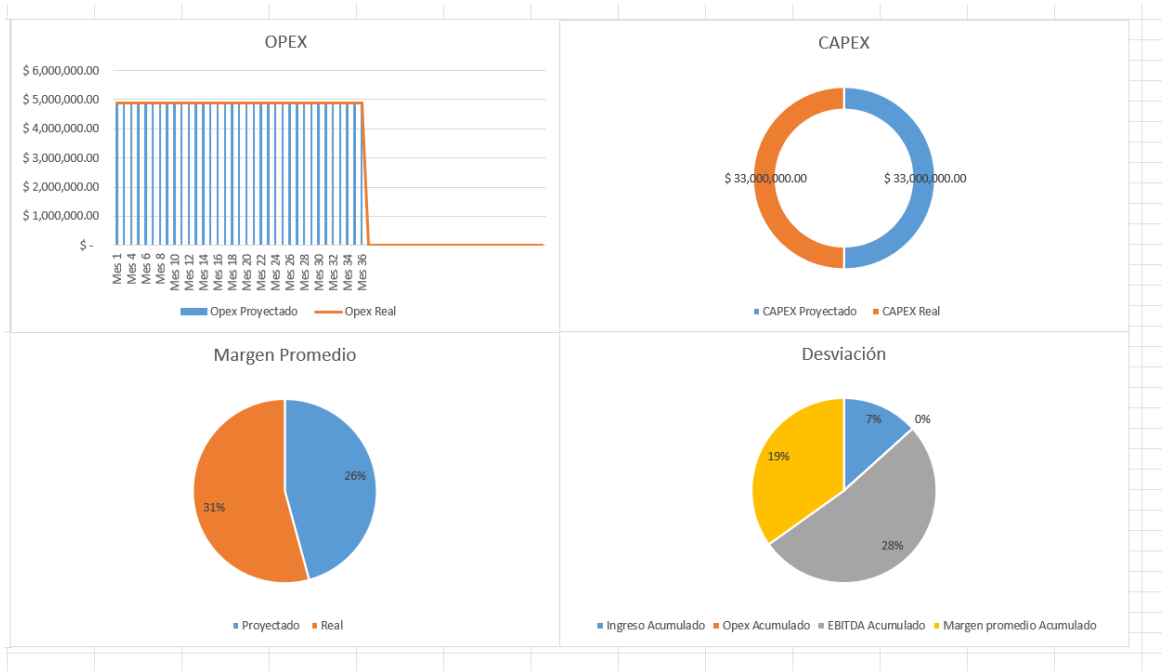
Finalmente, el archivo integró una hoja de visualización que permitió representar de manera gráfica las desviaciones identificadas y los principales indicadores financieros. Estas visualizaciones se actualizaron de forma dinámica, generando un dashboard comparativo que mostró el comportamiento del proyecto frente a sus proyecciones iniciales, tanto en términos de ingresos como de rentabilidad. Este tablero constituyó una herramienta de monitoreo continuo, que no solo facilitó la interpretación de resultados, sino que también permitió retroalimentar el modelo financiero principal basado en DCF y simulación Monte Carlo, ajustando los supuestos de futuras estructuraciones con base en evidencia empírica.

Figura 20 - Dashboard Comparación de Datos A.



Nota. Captura tomada del modelo de seguimiento elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

Figura 21 - Dashboard Comparación de Datos B.



Nota. Captura tomada del modelo de seguimiento elaborado en Microsoft Excel por las autoras, con base en la metodología propuesta (2025).

Este modelo de seguimiento permitió cerrar el ciclo analítico entre la planeación y la ejecución, fortaleciendo la trazabilidad de la información y la capacidad de aprendizaje organizacional. Además, proporcionó una base para evaluar la efectividad de los supuestos utilizados en el modelo DCF - Monte Carlo y mejorar la precisión de los futuros análisis de rentabilidad y riesgo de los proyectos de eficiencia energética.

Conclusiones

El presente trabajo tuvo como propósito diseñar y evaluar un modelo financiero que incorporara técnicas de valoración mediante Flujo de Caja Descontado (DCF), simulación Monte Carlo y análisis de sensibilidad, con el fin de fortalecer la estructuración de proyectos de monitoreo y gestión energética en Celsia Colombia S.A. E.S.P.

A partir de los objetivos planteados y del análisis desarrollado, se pueden extraer conclusiones de carácter técnico, metodológico y estratégico que dan respuesta al problema central de la investigación.

En primer lugar, se evidenció que la construcción de modelos financieros basados únicamente en proyecciones determinísticas resulta insuficiente para capturar la incertidumbre inherente a los proyectos de monitoreo y gestión energética. Si bien indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación (Payback) son métricas fundamentales para medir la rentabilidad y sostenibilidad de las iniciativas, su interpretación aislada puede conducir a decisiones limitadas.

El uso complementario del análisis de sensibilidad y la simulación Monte Carlo incrementó la robustez del modelo al permitir visualizar cómo las variaciones en variables críticas (CAPEX, OPEX, margen operativo, tasa de descuento e IPC) modifican los resultados financieros. Esta integración permitió anticipar escenarios adversos y cuantificar el grado de impacto de cada variable sobre los indicadores de rentabilidad, fortaleciendo así la capacidad predictiva del modelo y la toma de decisiones estratégicas bajo condiciones de incertidumbre.

En segundo lugar, la conceptualización de las condiciones financieras y operativas necesarias para la estructuración de proyectos evidenció que los supuestos iniciales son determinantes en la precisión de los resultados.

El análisis de tres modalidades de negocio, venta directa, servicio con depreciación de activos y gestión energética, demostró que cada esquema requiere un tratamiento financiero diferenciado.

Los proyectos bajo modalidad de servicio demandan un control más riguroso del OPEX y de la estructura de pagos periódicos, mientras que los de venta directa son más sensibles a las fluctuaciones cambiarias y a los tiempos de recuperación del CAPEX. Estos hallazgos reafirman la necesidad de emplear metodologías flexibles que ajusten el modelo según la naturaleza del contrato, la duración y el perfil de riesgo de cada cliente.

En tercer lugar, la evaluación empírica con datos simulados y reales permitió validar la coherencia del modelo frente al comportamiento histórico de los proyectos. En cinco de los seis casos de proyectos finalizados estudiados, la implementación del modelo habría permitido identificar oportunamente desviaciones que afectaron la rentabilidad proyectada, posibilitando ajustes preventivos en tarifas o márgenes. En el caso restante, afectado por la volatilidad cambiaria y restricciones presupuestales, el modelo aún logró entregar una estimación más precisa que la obtenida con métodos deterministas.

La simulación Monte Carlo, con cien combinaciones aleatorias, ofreció resultados estables y coherentes, alcanzando una probabilidad del 96 % de obtener valores positivos de VPN, lo que evidencia una adecuada convergencia estadística y sustenta la validez del tamaño muestral empleado.

En cuarto lugar, la integración del modelo de seguimiento constituyó un aporte significativo, al permitir la comparación entre los datos proyectados y los registros reales de facturación de los proyectos ejecutados. Esta funcionalidad facilitó la identificación de desviaciones financieras y técnicas, promoviendo la retroalimentación continua del modelo y su mejora iterativa en función de la experiencia operativa.

Finalmente, desde una perspectiva organizacional, la implementación de un modelo financiero robusto no solo contribuye a mejorar la precisión analítica y la rentabilidad económica de los proyectos, sino que también fortalece la capacidad institucional y técnica del equipo de Digitalización de Celsia.

El modelo propuesto proporciona un marco estructurado que promueve una cultura de gestión basada en evidencia, favorece la estandarización metodológica y potencia la innovación financiera dentro del sector energético colombiano.

En síntesis, el modelo diseñado cumplió los objetivos trazados al ofrecer un marco analítico integral que combina el rigor del cálculo determinista con la adaptabilidad del enfoque probabilístico. Su adopción contribuye a anticipar escenarios de riesgo, mejorar la precisión de las proyecciones y optimizar la toma de decisiones estratégicas, marcando un avance sustancial en la gestión financiera de proyectos de eficiencia energética y abriendo la posibilidad de extender su aplicación a otros negocios del portafolio corporativo.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y del proceso de validación desarrollado, se formulan las siguientes recomendaciones orientadas a potenciar la implementación, estandarización y evolución del modelo financiero dentro de Celsia Colombia S.A. E.S.P.

1. **Institucionalización del modelo financiero:** Se recomienda formalizar el modelo DCF - Monte Carlo como herramienta estándar en la evaluación de proyectos de monitoreo y eficiencia energética. El equipo de Digitalización debería liderar la implementación técnica y la Dirección Financiera Corporativa supervisar su actualización anual, garantizando la coherencia metodológica y el cumplimiento de las políticas financieras de la organización.
2. **Capacitación técnica del personal:** Se sugiere diseñar un plan de formación continua, de carácter semestral o cuando existan cambios u hallazgos significativos en el funcionamiento del modelo, para analistas financieros, ingenieros de proyectos y personal de planeación. Este programa debe abordar modelación financiera avanzada, simulación probabilística, análisis de riesgo y lectura de indicadores, fortaleciendo la autonomía técnica de los equipos y la sostenibilidad del modelo en el tiempo.
3. **Actualización macroeconómica y regulatoria:** Dado que el sector energético colombiano está expuesto a variaciones en precios, tasas de cambio y políticas regulatorias, se recomienda incluir escenarios macroeconómicos actualizados semestralmente, utilizando fuentes oficiales como el Banco de la República, el DANE y la UPME. Esta práctica permitirá mejorar la pertinencia del análisis financiero y la capacidad de respuesta ante cambios externos.
4. **Ampliación del modelo a nuevas líneas de negocio:** El modelo puede adaptarse a proyectos de generación renovable, autogeneración y soluciones de generación distribuida, ajustando los parámetros de entrada, la vida útil de los activos y las tasas de depreciación. Esto ampliaría su aplicabilidad y optimizaría el retorno sobre la inversión realizada en su desarrollo.

5. **Gestión diferenciada del riesgo financiero y operativo:** Se recomienda mantener una distinción clara entre el riesgo financiero (relacionado con los flujos de caja y tasas de retorno) y el riesgo operativo (asociado al desempeño técnico y cumplimiento de cronogramas). La combinación de ambos dentro de simulaciones integradas fortalecerá la resiliencia y el control preventivo de los proyectos.

6. **Integración tecnológica y analítica avanzada:** A mediano plazo, se sugiere migrar el modelo desde Excel hacia plataformas analíticas como Power BI, Python o SAP Analytics Cloud, que permitan automatizar cálculos, gestionar bases de datos en tiempo real y generar tableros dinámicos para el seguimiento financiero de los proyectos.

7. **Vinculación académica y de innovación:** Finalmente, se recomienda establecer alianzas con universidades y centros de investigación para continuar mejorando el modelo, incorporando técnicas de inteligencia artificial y big data que optimicen la predicción de riesgos y el análisis financiero de proyectos energéticos. Esta articulación consolidaría el liderazgo de Celsia en innovación aplicada a la sostenibilidad energética.

Referencias

Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (ALCOGEN). (2024). Alcogen. <https://www.alcogen.org.co>

Banco de la República. (2024). Informe de política monetaria 2024.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). Superando barreras a la eficiencia energética en América Latina y el Caribe. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Superando-barreras-a-la-eficiencia-energ%C3%A9tica-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). Guía para el diseño e implementación de programas de eficiencia energética. <https://publications.iadb.org>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2023). Energy efficiency in Latin America.

Bancóldex. (2024). Guía para la estructuración de proyectos de eficiencia energética.

Bancóldex. (2025). Barreras de la eficiencia energética en Colombia. <https://www.bancoldex.com/es/noticias/barreras-de-la-eficiencia-energetica-en-colombia-443>

Benninga, S., & Sarig, O. (2020). Corporate finance: A valuation approach (3rd ed.). McGraw-Hill Education.

Bolsa de Valores de Colombia. (2023). Índice de sostenibilidad empresarial 2023.

Boronat Ombuena, G., Leotescu, R., & Navarro Enguïdanos, J. (2019). CapEx y OpEx: La gestión de las inversiones empresariales. Técnica Contable y Financiera, 16. Wolters Kluwer.

Brans, K. (2023). OPEX (operational expenditure). TechTarget. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/OPEX-operational-expenditure>

Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). Principles of corporate finance (13th ed.). McGraw-Hill Education.

Brealey, R. A., Myers, S. C., & Marcus, A. J. (2007). Fundamentos de finanzas corporativas (5.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Brigham, E. F., & Ehrhardt, M. C. (2021). Financial management: Theory & practice (16th ed.). Cengage Learning.

Celsia. (2022). Reporte integrado 2022: Negocios que nos retan - Generación, transmisión, distribución y comercialización. <https://reporteintegrado2022.celsia.com/negocios-que-nos-retan/>

Celsia. (2023). Reporte integrado 2023. <https://reporteintegrado2023.celsia.com/experiencia-del-cliente/enriquecemos-al-cliente/>

Celsia S.A. (2025). Reporte integrado 2024: Nuestra gestión 2024 [Documento PDF]. Grupo Argos. <https://files.grupoargos.com/uploads-grupo-argos/2025/03/grupo-argos-reporte-integrado-celsia-2024.pdf>

Celsia. (2024a). Informe interno del equipo de digitalización.

Celsia. (2024b). Metodología para el diseño e implementación de proyectos de eficiencia energética. <https://www.celsia.com>

Celsia. (2024c). Procedimiento para la estructuración de proyectos de eficiencia energética.

Celsia. (2024d). Soluciones en eficiencia energética. <https://www.celsia.com/es/soluciones-en-eficiencia-energetica-para-empresas-y-constructoras/>

Celsia. (s. f.). Celsia. <https://www.celsia.com/es/>

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2023). Informe anual de tarifas eléctricas 2023.

Congreso de la República de Colombia. (2021). Ley 2099 de 2021 - Por la cual se promueve la transición energética en Colombia.

Congreso Colombiano. (2024). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Corporate Finance Institute (CFI). (2023). Capital expenditure (CapEx). <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/accounting/capital-expenditure-capex/>

Damodaran, A. (2021). Investment valuation: Tools and techniques for determining the value of any asset (3rd ed.). Wiley.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024, febrero 15). Boletín técnico: Producto Interno Bruto (PIB) - IV trimestre de 2023. <https://www.dane.gov.co>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). Encuesta Pulso Social 2024.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2025, enero 31).

Boletín técnico: Mercado laboral - GEIH diciembre 2024. <https://www.dane.gov.co>

Efficiency Valuation Organization (EVO). (2021a). International performance measurement and verification protocol (IPMVP) - Core concepts 2021. <https://www.evo-world.org>

Efficiency Valuation Organization (EVO). (2021b). Measurement & verification: At the core of energy performance contracting.

El Tiempo. (2024, enero 12). En 2024, las energías renovables alcanzarían el 9 % de la capacidad total del parque generador. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/en-2024-las-energias-renovables-alcanzarian-el-9-de-la-capacidad-total-del-parque-generador-3334066>

Fedesarrollo. (2024). Informe mensual de energía y minería: Diciembre 2024. https://repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4751/Repor_Diciembre_2024_Benavides_%26_Cabrales.pdf

Fernández, P., & Carabias, J. M. (2020). Sensitivity analysis in project valuation: A practical approach. *Journal of Applied Corporate Finance*, 32(2), 85–94.

Hernández-Sampieri, R., Mendoza, C., & Torres, P. (2022). *Metodología de la investigación* (7.^a ed.). McGraw-Hill.

IBM. (s. f.). What is a digital twin? <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin>

IBM. (s. f.). What is machine learning? <https://www.ibm.com/topics/machine-learning>

IBM. (s. f.). What is the Internet of Things (IoT)? <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>

Independent Electricity System Operator (IESO). (2021). Cost effectiveness guide for energy efficiency (Version 4). https://www.ieso.ca/-/media/Files/IESO/Document-Library/EMV/CDM_CE-TestGuide.ashx

International Energy Agency (IEA). (2023). Energy efficiency 2023: The crucial decade for energy efficiency. <https://www.iea.org>

International Energy Agency (IEA). (2025). Tracking SDG7: The energy progress report 2025. <https://www.iea.org>

International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 31000:2018 - Risk management - Guidelines. <https://www.iso.org/standard/65694.html>

Linares, P. (2009). Ahorro y eficiencia energética: Claves para el futuro energético sostenible. *Revista de Economía Aplicada*, 17(49), 5–28.

Low-Carbon Power. (2024). Colombia - Mezcla de generación eléctrica. <https://lowcarbonpower.org/es/region/Colombia>

Maciariello, J., & Kirby, C. (2021). *Management lessons from finance and economics*. Routledge.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). Decreto 2143 de 2015 - Reglamenta los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014.

Mun, J. (2014). *Modeling risk: Applying Monte Carlo simulation, real options analysis, forecasting, and optimization* (3rd ed.). Wiley.

Pérez Peña, R. (2019). *Modelación financiera: Conceptos y aplicaciones*. Universidad Piloto de Colombia. https://www.unipiloto.edu.co/descargas/Modelacion-Financiera_Concep-Aplicaciones.pdf

Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2021). *Corporate finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.

Sapag, N., & Sapag, R. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Savvides, S. (2021). Risk analysis in investment appraisal using Monte Carlo simulation. *International Journal of Project Management*, 39(5), 547–560.

Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425-442. <https://doi.org/10.2307/2977928>

Trigeorgis, L. (1996). Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation. MIT Press.

Trujillo Navarrete, J., & Martínez Herrera, O. (2024). Matemáticas financieras y decisiones de inversión (Vol. 1). Alphaomega.

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2018). Guía para la formulación de planes de gestión eficiente de la energía en entidades públicas. https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/UPME_Guia_implementation_PGEE_EE.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2023). Informe anual de eficiencia energética 2023.

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2024). Cifras del parque generador y proyecciones de capacidad 2024 [Base de datos y reportes]. Ministerio de

Minas y Energía de Colombia. <https://www1.upme.gov.co>

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2024). Informe de gestión en eficiencia energética industrial. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. <https://www.upme.gov.co>

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (s. f.). Eficiencia en la industria colombiana. <https://www.upme.gov.co/simec/eficiencia-energetica/eficiencia-en-la-industria/>

United Nations. (s. f.). Goal 7: Affordable and clean energy. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>


University of Arizona. (s. f.). Monte Carlo simulation and sensitivity analysis. <https://cales.arizona.edu/classes/rnr485/ch10.htm>

U.S. Department of Energy. (2024a). Measurement and verification guidelines: For federal energy projects. <https://www.energy.gov>


U.S. Department of Energy, Federal Energy Management Program. (2024b). M&V guidelines: Measurement and verification for performance-based contracts (Version 5.0).

A. Anexo


Anexo 1 - Instrumento de Medición

	Instrumento de Medición											
	Departamento:	Desarrollo de producto										
	Dirigido a:	Equipo digitalización										
	Fecha:	8/11/2024										
<p>OBJETIVO: Recolectar información del equipo de digitalización para identificar variables que se deben tener en cuenta para el modelo financiero propuesto para proyectos de eficiencia energética.</p>												
<p>1. ¿Cuál es su rol dentro de Celsia?</p>												
<p>2. ¿Cómo es su participa en la estructuración y/o análisis financiero de los proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>												
<p>3. Considera que Celsia tiene estructurado el análisis financiero correcto para los proyectos de eficiencia energética?</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>Totalmente en desacuerdo</td></tr> <tr><td>2</td><td>En desacuerdo</td></tr> <tr><td>3</td><td>Indiferente</td></tr> <tr><td>4</td><td>De acuerdo</td></tr> <tr><td>5</td><td>Totalmente de acuerdo</td></tr> </table>			1	Totalmente en desacuerdo	2	En desacuerdo	3	Indiferente	4	De acuerdo	5	Totalmente de acuerdo
1	Totalmente en desacuerdo											
2	En desacuerdo											
3	Indiferente											
4	De acuerdo											
5	Totalmente de acuerdo											
<p>4. ¿Considera importante tener un modelo financiero que permita evaluar la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética?</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>Totalmente en desacuerdo</td></tr> <tr><td>2</td><td>En desacuerdo</td></tr> <tr><td>3</td><td>Indiferente</td></tr> <tr><td>4</td><td>De acuerdo</td></tr> <tr><td>5</td><td>Totalmente de acuerdo</td></tr> </table>			1	Totalmente en desacuerdo	2	En desacuerdo	3	Indiferente	4	De acuerdo	5	Totalmente de acuerdo
1	Totalmente en desacuerdo											
2	En desacuerdo											
3	Indiferente											
4	De acuerdo											
5	Totalmente de acuerdo											
<p>5. ¿Qué variables e indicadores considera de interés para el análisis financiero de los proyectos de Eficiencia Energética?</p>												
<p>6. ¿Cuáles considera que son los ítems en los que se presenta una mayor diferencia entre el CAPEX proyectado y el CAPEX ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>												
<p>7. ¿Qué razones considera las más influyentes en la diferencia entre el CAPEX proyectado y el ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>												
<p>8. Mencione alguna consideración final que no se haya nombrado anteriormente y crea pertinente tenerla en cuenta en el diseño del modelo financiero.</p>												


Anexo 2 - Resultados Entrevistado #1

		Tabulación de Resultados
1. ¿Cuál es su rol dentro de Celsia?		Entrevista # 1 Mi rol en Celsia es de Ciencia de Datos .
2. ¿Cómo es su participa en la estructuración y/o análisis financiero de los proyectos de monitoreo y/o gestión energética?		Entrevista # 1 Mi participación en el análisis financiero consiste en ofrecer una perspectiva técnica o tecnológica que permita evaluar la viabilidad de las soluciones propuestas en los proyectos. Esto implica analizar qué alternativas son más adecuadas desde un punto de vista tecnológico, considerando costos, desarrollos y complejidad, entre otros factores.
3. Considera que Celsia tiene estructurado el análisis financiero correcto para los proyectos de eficiencia energética?		Entrevista # 1
1 Totalmente en desacuerdo 2 En desacuerdo 3 Indiferente 4 De acuerdo 5 Totalmente de acuerdo		4
4. ¿Considera importante tener un modelo financiero que permita evaluar la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética.		Entrevista # 1
1 Totalmente en desacuerdo 2 En desacuerdo 3 Indiferente 4 De acuerdo 5 Totalmente de acuerdo		5
5. ¿Qué variables e indicadores considera de interés para el análisis financiero de los proyectos de Eficiencia Energética?		Entrevista # 1 Los indicadores y variables de interés para el análisis financiero incluyen el ahorro obtenido en el desarrollo del proyecto, la eficiencia en comparación con la línea base, el Opex, el Capex, la TR y la rentabilidad.
6. ¿Cuáles considera que son los ítems en los que se presenta una mayor diferencia entre el CAPEX proyectado y el CAPEX ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?		Entrevista # 1 Los ítems con mayor variación entre el Capex proyectado y ejecutado suelen ser la mano de obra o la instalación de equipos. Esto se debe a que estas actividades son tercerizadas y sus costos pueden variar dependiendo del contratista y la ubicación.
7. ¿Qué razones considera las más influyentes en la diferencia entre el CAPEX proyectado y el ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?		Entrevista # 1 Las principales razones que influyen en la diferencia entre el Capex proyectado y ejecutado son los gastos imprevistos. Esto incluye factores como no prever algún punto de conexión, la necesidad de cambiar la solución inicialmente propuesta, o tener que reemplazar al contratista de instalación a última hora debido a imprevistos, lo cual genera sobrecostos.
8. Mencione alguna consideración final que no se haya nombrado anteriormente y crea pertinente tenerla en cuenta en el diseño del modelo financiero.		Entrevista # 1 Debe ser un modelo fácil de utilizar para los miembros del equipo que no tienen un enfoque financiero.


Anexo 3 - Resultados Encuestado #2

		Tabulación de Resultados
<p>1. ¿Cuál es su rol dentro de Celsia?</p>		<p>Entrevista # 2</p> <p>M rol en Celsia está enfocado en el análisis y la gestión de datos para los proyectos de monitoreo y gestión energética en el equipo de desarrollo de producto del área comercial. Apoyo en la evaluación de proyectos, generación de reportes, y comunicación con los clientes, facilitando así una toma de decisiones informada. Utilizo herramientas avanzadas de análisis de datos para identificar oportunidades de mejora, optimizar recursos y reducir costos energéticos.</p>
<p>2. ¿Cómo es su participa en la estructuración y/o análisis financiero de los proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 2</p> <p>M rol en Celsia está enfocado en el análisis y la gestión de datos para los proyectos de monitoreo y gestión energética en el equipo de desarrollo de producto del área comercial. Apoyo en la evaluación de proyectos, generación de reportes, y comunicación con los clientes, facilitando así una toma de decisiones informada. Utilizo herramientas avanzadas de análisis de datos para identificar oportunidades de mejora, optimizar recursos y reducir costos energéticos.</p>
<p>3. Considera que Celsia tiene estructurado el análisis financiero correcto para los proyectos de eficiencia energética?</p>		<p>Entrevista # 2</p>
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p> <p>2 En desacuerdo</p> <p>3 Indiferente</p> <p>4 De acuerdo</p> <p>5 Totalmente de acuerdo</p>		<p>4</p>
<p>4. ¿Considera importante tener un modelo financiero que permita evaluar la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética.</p>		<p>Entrevista # 2</p>
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p> <p>2 En desacuerdo</p> <p>3 Indiferente</p> <p>4 De acuerdo</p> <p>5 Totalmente de acuerdo</p>		<p>5</p>
<p>5. ¿Qué variables e indicadores considera de interés para el análisis financiero de los proyectos de Eficiencia Energética?</p>		<p>Entrevista # 2</p> <p>Algunos de los indicadores y variables clave que considero relevantes para el análisis financiero incluyen:</p> <p>Retorno de Inversión (ROI)</p> <p>Costo de Energía Ahorrada (CEA)</p> <p>Costo de Capital (CAPEX)</p> <p>OPEX</p>
<p>6. ¿Cuáles considera que son los ítems en los que se presenta una mayor diferencia entre el CAPEX proyectado y el CAPEX ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 2</p> <p>Las mayores diferencias entre el CAPEX proyectado y el ejecutado suelen aparecer en los siguientes aspectos:</p> <p>Costos de instalación y adecuación de infraestructura: Estimar estos costos con precisión es desafiante, especialmente en instalaciones con infraestructura antigua o ubicaciones de difícil acceso.</p> <p>Equipos especializados: Los precios de algunos equipos pueden variar debido a fluctuaciones en el mercado o la disponibilidad limitada de tecnología específica para monitoreo energético.</p>
<p>7. ¿Qué razones considera las más influyentes en la diferencia entre el CAPEX proyectado y el ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 2</p> <p>Las principales razones que influyen en estas diferencias suelen ser:</p> <p>Variaciones en el alcance del proyecto: Durante el desarrollo del proyecto pueden surgir nuevas necesidades que aumentan los costos de implementación.</p> <p>Ajustes por condiciones de campo: Condiciones imprevistas en el sitio, como limitaciones de espacio o infraestructura, pueden requerir modificaciones en el diseño o la adquisición de equipos adicionales.</p> <p>Fluctuaciones de mercado: Los precios de los equipos pueden variar debido a cambios en la demanda o problemas en la cadena de suministro.</p> <p>Costos indirectos: Incluyen permisos, estudios adicionales y otros</p>
<p>8. Mencione alguna consideración final que no se haya nombrado anteriormente y crea pertinente tenerla en cuenta en el diseño del modelo financiero.</p>		<p>Entrevista # 2</p> <p>Tener en cuenta las variables de interés para el análisis</p>


Anexo 4 - Resultados Encuestado #3

		Tabulación de Resultados
<p>1. ¿Cuál es su rol dentro de Celsia?</p>		<p>Entrevista # 3</p> <p>Practicante de análisis de datos en el equipo de Digitalización en Eficiencia Energética.</p>
<p>2. ¿Cómo es su participa en la estructuración y/o análisis financiero de los proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 3</p> <p>Colaboro en la elaboración de propuestas mediante el análisis de la viabilidad técnica y tecnológica, así como en la estimación de las horas de desarrollo requeridas para las soluciones de análisis de datos y desarrollo de software.</p>
<p>3. Considera que Celsia tiene estructurado el análisis financiero correcto para los proyectos de eficiencia energética?</p>		<p>Entrevista # 3</p>
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p> <p>2 En desacuerdo</p> <p>3 Indiferente</p> <p>4 De acuerdo</p> <p>5 Totalmente de acuerdo</p>		<p>2</p>
<p>4. ¿Considera importante tener un modelo financiero que permita evaluar la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética?</p>		<p>Entrevista # 3</p>
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p> <p>2 En desacuerdo</p> <p>3 Indiferente</p> <p>4 De acuerdo</p> <p>5 Totalmente de acuerdo</p>		<p>5</p>
<p>5. ¿Qué variables e indicadores considera de interés para el análisis financiero de los proyectos de Eficiencia Energética?</p>		<p>Entrevista # 3</p> <p>Margen neto, ROI, Liquidez del proyecto, tiempo en llegar al punto de equilibrio, ROIC</p>
<p>6. ¿Cuáles considera que son los ítems en los que se presenta una mayor diferencia entre el CAPEX proyectado y el CAPEX ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 3</p> <p>Horas de desarrollo del proyecto.</p> <p>Implementación de los modelos (Análisis de datos, limpieza, métodos de solución.</p> <p>Análisis de complejidad del problema a solucionar.</p>
<p>7. ¿Qué razones considera las más influyentes en la diferencia entre el CAPEX proyectado y el ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 3</p> <p>Fluctuaciones en los proyectos a cerrar para el próximo año, tener una visión muy optimista/pesimista.</p> <p>Tener imprevistos tanto de generar nuevos proyectos como de acabar con otros.</p> <p>Licencias de plataformas necesarias para avanzar en ciertos proyectos.</p>
<p>8. Mencione alguna consideración final que no se haya nombrado anteriormente y crea pertinente tenerla en cuenta en el diseño del modelo financiero.</p>		<p>Entrevista # 3</p> <p>Analizar la información previa disponible para intentar sacarle el mayor provecho</p>


Anexo 5 - Resultados Encuestado #4

		Tabulación de Resultados
<p>1. ¿Cuál es su rol dentro de Celsia?</p>		<p>Entrevista # 4</p> <p>Ingeniera de soluciones IoT en el equipo de Digitalización. Me encargo de la selección, instalación e integración de equipos de medición en proyectos de monitoreo y eficiencia energética.</p>
<p>2. ¿Cómo es su participa en la estructuración y/o análisis financiero de los proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 4</p> <p>Mi participación en la estructuración de proyectos de eficiencia energética es a través de apoyo en el análisis de la viabilidad técnica. De igual forma me encargo de seleccionar las soluciones tecnológicas a implementar dentro de estos proyectos, desde su colización hasta puesta en marcha.</p>
<p>3. Considera que Celsia tiene estructurado el análisis financiero correcto para los proyectos de eficiencia energética?</p>		<p>Entrevista # 4</p>
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p>		<p>3</p>
<p>2 En desacuerdo</p>		
<p>3 Indiferente</p>		
<p>4 De acuerdo</p>		
<p>5 Totalmente de acuerdo</p>		
<p>4. ¿Considera importante tener un modelo financiero que permita evaluar la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética.</p>		<p>Entrevista # 4</p>
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p>		<p>5</p>
<p>2 En desacuerdo</p>		
<p>3 Indiferente</p>		
<p>4 De acuerdo</p>		
<p>5 Totalmente de acuerdo</p>		
<p>5. ¿Qué variables e indicadores considera de interés para el análisis financiero de los proyectos de Eficiencia Energética?</p>		<p>Entrevista # 4</p> <p>Los valores que se tienen inicialmente son el Capex y el Opex y los que creo que se necesitan para analizar a profundidad un proyecto son ROI, EBDTA, TR, payback y Utilidad</p>
<p>6. ¿Cuáles considera que son los ítems en los que se presenta una mayor diferencia entre el CAPEX proyectado y el CAPEX ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 4</p> <p>Creo que la mayor diferencia entre el Capex proyectado y el ejecutado se encuentra en la mano de obra, tanto del equipo como la subcontratada, ya que muchas veces al momento de elaborar las ofertas no se tienen en cuenta limitaciones administrativas o complejidades técnicas que se traducen en un mayor tiempo de trabajo.</p>
<p>7. ¿Qué razones considera las más influyentes en la diferencia entre el CAPEX proyectado y el ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 4</p> <p>Desconocimiento de condiciones particulares de cada cliente, variaciones de moneda y desabastecimiento de materiales.</p>
<p>8. Mencione alguna consideración final que no se haya nombrado anteriormente y crea pertinente tenerla en cuenta en el diseño del modelo financiero.</p>		<p>Entrevista # 4</p> <p>Ser claro y conciso</p>

Anexo 6 - Resultado Encuestado #5

		Tabulación de Resultados
<p>1. ¿Cuál es su rol dentro de Celsia?</p>		Entrevista # 5
		Líder de Digitalización - Eficiencia Energética
<p>2. ¿Cómo es su participa en la estructuración y/o análisis financiero de los proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		Entrevista # 5
		Junto con el resto del equipo se analizan todos los costos de inversión y de operación de los proyectos de monitoreo y eficiencia energética, los plazos del contrato, los riesgos a los que están sometidos, se hacen las cotizaciones con los diferentes aliados y posteriormente con toda esta información se corre el modelo financiero para poder definir el precio de venta de las soluciones.
<p>3. Considera que Celsia tiene estructurado el análisis financiero correcto para los proyectos de eficiencia energética?</p>		Entrevista # 5
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p>		4
<p>2 En desacuerdo</p>		
<p>3 Indiferente</p>		
<p>4 De acuerdo</p>		
<p>5 Totalmente de acuerdo</p>		
<p>4. ¿Considera importante tener un modelo financiero que permita evaluar la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética.</p>		Entrevista # 5
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p>		5
<p>2 En desacuerdo</p>		
<p>3 Indiferente</p>		
<p>4 De acuerdo</p>		
<p>5 Totalmente de acuerdo</p>		
<p>5. ¿Qué variables e indicadores considera de interés para el análisis financiero de los proyectos de Eficiencia Energética?</p>		Entrevista # 5
		Margen (para los proyectos en venta), TIR, CAPEX, OPEX, duración del contrato y depreciación para los proyectos en modalidad de servicio.
<p>6. ¿Cuáles considera que son los ítems en los que se presenta una mayor diferencia entre el CAPEX proyectado y el CAPEX ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		Entrevista # 5
		Normalmente la mayor diferencia se presenta en la mano de obra, ya que al momento de ejecutar los proyectos aparecen varias diferencias entre lo que se tenía estimado y la realidad.
<p>7. ¿Qué razones considera las más influyentes en la diferencia entre el CAPEX proyectado y el ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		Entrevista # 5
		La imposibilidad de hacer una ingeniería de mucho detalle previo a la ejecución del proyecto, ya que normalmente los clientes no están dispuestos a entregar toda la información hasta que el contrato esté firmado y normalmente estas actividades tienen costos muy elevados, por lo que es mejor considerar financieramente el riesgo.
<p>8. Mencione alguna consideración final que no se haya nombrado anteriormente y crea pertinente tenerla en cuenta en el diseño del modelo financiero.</p>		Entrevista # 5
		Debe ser un modelo que muestre la información resultante de forma clara

Anexo 7 - Resultados Encuestado #6

		Tabulación de Resultados
<p>1. ¿Cuál es su rol dentro de Celsia?</p>		<p>Entrevista # 6</p> <p>Lider Desarrollo de producto</p>
<p>2. ¿Cómo es su participa en la estructuración y/o análisis financiero de los proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 6</p> <p>No participo en el proceso de estructuración pero participo en el proceso de análisis financiero y de seguimiento de los proyectos</p>
<p>3. Considera que Celsia tiene estructurado el análisis financiero correcto para los proyectos de eficiencia energética?</p>		<p>Entrevista # 6</p> <p>3</p>
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p> <p>2 En desacuerdo</p> <p>3 Indiferente</p> <p>4 De acuerdo</p> <p>5 Totalmente de acuerdo</p>		
<p>4. ¿Considera importante tener un modelo financiero que permita evaluar la viabilidad de los proyectos de eficiencia energética.</p>		<p>Entrevista # 6</p> <p>5</p>
<p>1 Totalmente en desacuerdo</p> <p>2 En desacuerdo</p> <p>3 Indiferente</p> <p>4 De acuerdo</p> <p>5 Totalmente de acuerdo</p>		
<p>5. ¿Qué variables e indicadores considera de interés para el análisis financiero de los proyectos de Eficiencia Energética?</p>		<p>Entrevista # 6</p> <p>ROI, MARGEN, EBITDA, TIR, CAPEX Y OPEX</p>
<p>6. ¿Cuáles considera que son los ítems en los que se presenta una mayor diferencia entre el CAPEX proyectado y el CAPEX ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 6</p> <p>Creo que la mayor diferencia esta en la cuantificación de la dedicación del equipo, tanto el directo como el subcontratado</p>
<p>7. ¿Qué razones considera las más influyentes en la diferencia entre el CAPEX proyectado y el ejecutado en proyectos de monitoreo y/o gestión energética?</p>		<p>Entrevista # 6</p> <p>El costo que se asume a riesgo con la ingeniería de detalle previa a un contrato</p>
<p>8. Mencione alguna consideración final que no se haya nombrado anteriormente y crea pertinente tenerla en cuenta en el diseño del modelo financiero.</p>		<p>Entrevista # 6</p> <p>Se debe contar con la capacidad de tener la información clara de los proyectos</p>