



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**OPCIONES REALES BAJO MODELO BINOMIAL EN LA VALORACIÓN DE
INVERSIONES INMOBILIARIAS DE NAVES INDUSTRIALES**

Presentado por:

DIEGO ANDRÉS RUIZ FORERO

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL**

Dirigido por:

ANDRÉS FELIPE AMADOR RODRÍGUEZ, Ph.D

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Maestría en Ingeniería Civil

Santiago de Cali

22 de mayo de 2026

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a mi familia por su apoyo permanente, comprensión y respaldo incondicional a lo largo de este proceso de formación académica. Su confianza y acompañamiento fueron fundamentales para alcanzar esta meta profesional.

De igual forma, expreso mi reconocimiento y gratitud a mi director de trabajo de grado y a los docentes de la maestría por su orientación académica, disposición y valiosos aportes durante el desarrollo de este proyecto. Sus conocimientos, recomendaciones y acompañamiento contribuyeron significativamente al fortalecimiento de este trabajo y a mi formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Resumen.....	8
Abstract	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
2.1. Planteamiento del problema.....	13
2.2. Pregunta de investigación	16
2.3. Alcance del trabajo de grado.....	16
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	18
3.1. Objetivo general.....	18
3.2. Objetivos específicos	18
3.3. Resultados esperados	18
4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	20
5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	22
5.1. Enfoque de investigación.....	22
5.2. Alcance de la investigación	23
5.3. Diseño de la investigación	23
5.4. Hipótesis	24
5.5. Variables o categorías	24
5.6. Operacionalización de variables	24
5.7. Búsqueda y análisis de literatura.....	25
5.8. Valoración del caso de estudio	25

5.9.	Análisis de resultados	26
6.	REVISIÓN DE LA LITERATURA	27
7.	VALORACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	48
7.1.	Estimación del valor presente neto (VPN).....	49
7.2.	Modelación de inversiones mediante procesos estocásticos.....	57
7.3.	Análisis de las opciones reales basada en árbol binomial.....	74
7.4.	Análisis de escenarios bajo incertidumbre.....	81
8.	CONCLUSIONES	92
9.	RECOMENDACIONES.....	94
10.	REFERENCIAS.....	96

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Diagrama de metodología	26
Figura 2 Relación VPN y Tasa de descuento (TD)	32
Figura 3 Cursos de acción alternativos	39
Figura 4 Valor de una opción binomial.	42
Figura 5 Flujo de Caja	53
Figura 6 Histograma Simulación Montecarlo.....	69
Figura 7 Distribución Acumulativa Simulación Montecarlo.....	70
Figura 8 Opciones reales basadas en el Árbol binomial P50.....	78
Figura 9 Árbol binomial P10	86
Figura 10 Árbol binomial P90	87

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Riesgo país EMBI.....	50
Tabla 2 Estructura óptima de capital	51
Tabla 3 Flujo de caja proyectado	52
Tabla 4 Calculo VPN	54
Tabla 5 Calculo TIR, Payback y PI	55
Tabla 6 Supuestos de modelación.....	58
Tabla 7 Precios de Venta m2	59
Tabla 8 Precios de Venta m2	60
Tabla 9 Precios de Venta m2 ajustados método Lineal Min-Max.....	61
Tabla 10 Calculo Volatilidad	61
Tabla 11 Precios de Venta m2	63
Tabla 12 Costos construcción mt2 ajustados con IPP Construcción	63
Tabla 13 Costos Construcción mt2 Ajustados realidad del mercado	65
Tabla 14 Simulación Montecarlo.....	66
Tabla 15 Tabla de Estadística Simulación Montecarlo	68
Tabla 16 Tabla de Estadística Simulación Montecarlo	72
Tabla 17 Parámetros para modelación árbol binomial	74
Tabla 18 Valor futuro bajo incertidumbre y valor de ejercer la inversión P50 → Base	75
Tabla 19 Cálculo del VPNA	80
Tabla 20 Escenarios de modelación.....	82
Tabla 21 Diversos escenarios del valor futuro bajo incertidumbre y valor de ejercer la inversión.....	83

Tabla 22 P (Invertir) y P (No Invertir).....	88
Tabla 23 VPNA incertidumbre moderada y extrema	89
Tabla 24 Cuadro integrador del Modelo Binomial de las Opciones Reales.....	91

Resumen

El trabajo de investigación aquí desarrollado, se centró en la estructuración de un modelo binomial fundamentado en los procesos estocástico para valorar inversiones inmobiliarias en naves industriales por medio de las opciones reales, siendo necesario implementar múltiples métodos financieros tanto tradicionales como avanzados. Proceso el cual permitió evidenciar limitaciones en el Valor Presente Neto (VPN) con es el caso de no ser capaz de demostrar la flexibilidad gerencial para una mejor toma de decisiones bajo incertidumbre y sensibilidad presente en el ciclo de mercado.

A nivel metodológico, este se estructuró en tres fases iniciando con la valoración determinística mediante VPN, TIR y Payback, seguido del proceso de modelación probabilística fundamentada en la simulación Montecarlo generándose la estimación de la volatilidad del proyecto además de la construcción de los escenarios probabilísticos P10, P50 y P90, necesarios para las opciones reales bajo la construcción de árboles binomiales CCR cuyos resultados ayudaron a identificar la opcionalidad estratégica de esperar, expandir, abandonar o ejercer la inversión del proyecto.

En consecuencia, el modelo desarrollado logra demostrar que, aunque el proyecto obtuvo un VPN de COP \$634 millones, al introducir la simulación Montecarlo y opciones reales bajo árbol binomial, el valor estratégico de la inversión se logra expandir, logrando un Valor Presente Neto Ampliado (VPNA) de hasta COP \$3.641 millones con niveles de flexibilidad del 82,58% en escenarios de incertidumbre moderada. permitiendo demostrar la capacidad de esperar o ejercer la inversión considerando la incertidumbre del mercado.

Palabras clave: Opciones reales; procesos estocásticos; árbol binomial; simulación Montecarlo; flexibilidad estratégica.

Abstract

The research conducted here focused on developing a binomial model based on stochastic processes to value real estate investments in industrial warehouses using real options, which required the implementation of multiple financial methods, both traditional and advanced.

This process revealed limitations in the Net Present Value (NPV) method, such as its inability to account for managerial flexibility in decision-making under uncertainty and sensitivity to market cycle fluctuations.

Methodologically, the study was structured in three phases, beginning with deterministic valuation using NPV, IRR, and payback period, followed by a probabilistic modeling process based on Monte Carlo simulation. This generated an estimate of the project's volatility and constructed the P10, P50, and P90 probabilistic scenarios necessary for real options using CCR binomial trees, whose results helped identify the strategic flexibility to wait, expand, abandon, or exercise the project investment.

Consequently, the model developed demonstrates that, although the project yielded a NPV of COP \$634 million, by incorporating Monte Carlo simulation and real options under a binomial tree, the strategic value of the investment can be expanded, achieving an Expanded Net Present Value (ENPV) of up to COP \$3,641 million with flexibility levels of 82.58% in scenarios of moderate uncertainty. This demonstrates the ability to delay or exercise the investment while accounting for market uncertainty.

Keywords: Real options; stochastic processes; binomial tree; Montecarlo simulation; strategic flexibility.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los debates de mayor significancia dentro del mercado inmobiliario producto de las fuertes fluctuaciones en su ciclo económico, radica no tanto en el desarrollo de técnicas o sistemas constructivos eficientes, sino en poder identificar de manera equilibrada la planeación, evaluación como control financiero para lograr una viabilidad financiera positiva, la cual presente una flexibilidad dinámica ante la incertidumbre generada en precios de renta, tasa de ocupación, o costos de construcción, al igual tener una elasticidad favorable en aspectos claves como las fases de construcción, expansión modular, cambios de uso, o inclusive al momento de generar la venta del activo. Esto se fundamenta en lo expuesto por Geltner et al. (2007) al puntualizar que el éxito del sector inmobiliario son sus flujos de caja futuros potenciales, dada su naturaleza estos flujos, su magnitud, calendario y riesgo vendrán determinados principalmente por el mercado del alquiler, siendo esto el juego la economía urbana, por lo tanto, el sector inmobiliario moderno demanda un marco de herramientas analíticas rigurosamente fundamentadas que permitan acoplar la amplia variedad de datos disponibles debido a la segmentación del mercado inmobiliario, donde los precios, costos, tasas, entre otros varían considerablemente de una ubicación a otra, o de un tipo de edificio a otro, incluso dentro de la misma ubicación.

Ante este escenario, el presente trabajo plantea la necesidad de ir más allá de la implementación de un modelo de evaluación financiera tradicional los cuales presentan limitantes como son la decisión de invertir se fundamenta en un criterio rígido de ahora o nunca, no incorporan la incertidumbre, volatilidad del mercado, no valoran la flexibilidad gerencial para generar valor económico, la modelación no integra escenarios probabilísticos, sensibilidad multifactorial o análisis dinámicos bajo incertidumbre, lo que dificulta la capacidad de

comprender la realidad económico financiera en la ejecución de proyectos de inversión dinámicos. Siendo necesario integrar el uso de la metodología de opciones reales como una herramienta complementaria para esclarecer las incertidumbres, la irreversibilidad en la ejecución y la flexibilidad gerencial, apoyada en procesos estocásticos, para la valoración de proyectos inmobiliarios de naves industriales en Colombia.

Por medio de este planteamiento, se logra integrar una lectura más amplia del proyecto y abre espacio para decisiones flexibles en escenarios con variación en las condiciones del mercado. Este enfoque busca superar las limitaciones de los métodos tradicionales y su dificultad para adaptarse a entornos cambiantes y de alta incertidumbre, los cuales se basan en supuestos estáticos y valores tangibles que ignoran la flexibilidad estratégica en la toma de decisiones.

Lo expuesto anteriormente, presenta un nivel alto de relevancia debido a que, al momento de valorar un activo inmobiliario, los modelos de evaluación financiera tradicionales presentan limitaciones en la forma como se integran los efectos provenientes de la incertidumbre o el riesgo. En consecuencia, se omite el componente estratégico necesario para evaluar las oportunidades de flexibilidad, adaptación y la generación de valor presente en escenarios dinámicos del mercado. Es aquí, donde el enfoque de opciones reales evalúa de manera directa el potencial de riesgo al alza, integrando un nivel de argumentación clave donde la incertidumbre puede generar en múltiples escenarios una fuente de valor adicional, siendo esto de gran relevancia para aquellos inversionistas o empresas que tienen alta disposición para aprovecharla.

En el contexto de los proyectos inmobiliarios de naves industriales, cobra amplia importancia, debido a que un proyecto típico puede analizarse desde una compra de terreno, inmersión en el proceso de urbanización, construcción fase 1, expansión mediante la fase 2, venta o estabilización, indicando que cada una de dichas etapas son en si una opción sobre la

siguiente. Tal como lo sustenta Schwartz (2013) el enfoque de las opciones reales brinda la oportunidad de comprender toda la distribución de los flujos de caja en diferentes escenarios de incertidumbre, brindando así a la dirección la oportunidad de tomar una decisión estratégica clara sobre decidir si las inversiones a realizarse deban de retrasarse, ampliarse, abandonarse o reposicionarse. Caso en el cual un método tradicional de valoración no permitiría analizar a profundidad variaciones inesperadas en el ciclo económico del proyecto.

Mediante un caso de estudio, en este trabajo se elabora una valoración que combina procesos estocásticos sustentados en el modelo binomial, complementándose mediante la integración de la simulación Montecarlo para la estimación probabilística de la incertidumbre además de la generación de escenarios para analizar las opciones de espera, expansión y abandono en un proyecto inmobiliario de una nave industrial, con el propósito de reconocer ventajas, desventajas y aportes de la metodología de opciones reales, así como fortalecer la toma de decisiones estratégicas y proporcionar orientación para inversionistas y desarrolladores.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. Planteamiento del problema

Un proyecto de inversión inmobiliario además de ser una iniciativa estructurada fundamentada en desarrollar, edificar o modificar propiedades (terrenos, edificios, instalaciones) para un propósito concreto, tanto en función de tiempo como de presupuesto establecidos, respetando determinados criterios de calidad y rendimiento, siendo estos factores claves para su correcta ejecución.

Tal como lo menciona Čirjevskis (2021) al ejecutar la valoración de proyectos inmobiliarios se presentan diversos desafíos, en especial al momento de evaluar los flujos de caja cuyas variaciones están directamente influidas por la volatilidad de variables sensibles como precios de venta, costos de construcción, rentas inmobiliarias, inflación sectorial, condiciones de financiamiento, tasas de intervención, tasas de vacancia y ocupación, poder adquisitivo, velocidad de absorción del mercado y la incertidumbre de los ciclos económicos e inmobiliarios. Evidenciando así la necesidad de fortalecer la estructuración financiera del proyecto para evaluar de manera integral los riesgos como también la incertidumbre asociada al comportamiento y rendimientos futuros de la inversión a realizarse.

En un contexto más puntual, es pertinente comprender lo expuesto por Kumar y Sing (2018) quienes consideran que los proyectos inmobiliarios demandan una sincronización dinámica al igual que estratégica entre múltiples actividades, recursos y procesos, para poder alcanzar los objetivos delimitados como son la edificación de bodegas, viviendas, oficinas o infraestructuras industriales.

En este contexto, el sector inmobiliario industrial colombiano, específicamente el de naves industriales, se ha vuelto significativo por el crecimiento del comercio exterior, la necesidad de

almacenamiento, asimismo, la distribución de bienes y servicios, cumpliendo un papel estratégico en la competitividad del país. El desarrollo de tales activos implica elevados capitales, al igual que riesgos asociados a la sobreoferta, vacancia e incertidumbre sobre la demanda futura, generada usualmente por el mercado.

Es en este escenario donde de acuerdo con Van Aarle (2013) se han de establecer estudios que permitan identificar la estructura optima necesaria para valorar la flexibilidad gerencial futura entorno a las decisiones de inversión, partiendo de los supuestos que establecen como el análisis del Valor Presente Neto (VPN), el flujo de caja descontado (FCD) o la Tasa Interna de Retorno (TIR) no reconocen elementos fundamentales en las inversiones como son la irreversibilidad, la incertidumbre y la elección de llevar a cabo la toma de decisión. Donde para el caso del FCD este es ideal para la presupuestación de capital, pero no es dinámico para identificar el crecimiento de las líneas de negocio rentables.

Considerando lo expuesto, la evaluación de proyectos, particularmente en el sector inmobiliario industrial en Colombia, generalmente se ha realizado mediante métodos tradicionales de valoración mencionados anteriormente, Restrepo (2024) identifica como estos basan su estimación en proyecciones de flujos de caja, bajo un ambiente de supuestos y de elevados niveles de incertidumbre asociados al comportamiento del mercado, es decir, estos métodos utilizan valores únicos, estáticos y tangibles. Aunque estas metodologías permiten determinar si el proyecto es económicamente viable o no en un punto específico en el horizonte de tiempo.

Calle y Tamayo (2009) mencionan la generación de limitaciones al no considerar oportunidades futuras y flexibilidad estratégica gerencial frente a los cambios del mercado, dado que consideran un único escenario. Trigeorgis (1993) indica como los métodos de valoración

comunes consisten en confiar plenamente en elementos poco estructurados cargados de sesgos como la intuición, el juicio y la experiencia de los desarrolladores, limitando las probables consecuencias desencadenadas dentro de un entorno cambiante o competitivo como el actual.

Como se ha indicado, las prevalecientes limitaciones de los métodos tradicionales de evaluación generan una serie de barreras para impulsar una adaptación dinámica a los entornos cambiantes. Partiendo de este planteamiento, surge la metodología de opciones reales como una herramienta complementaria a la evaluación tradicional de proyectos, partiendo de los lineamientos planteados por Forcael et al. (2013) se considera este método como una alternativa de amplia viabilidad, ya que, se propende por generar una evaluación más profunda sobre el componente estratégico de los proyectos, además de alcanzar una justificación económica mejor estructurada ante las condiciones de volatilidad e incertidumbre presentes en las condiciones tanto de mercado como de los diversos niveles de flujos de caja futuros.

De este modo, se puede sugerir que las opciones reales dan paso a un cambio en el paradigma en la manera de impulsar las decisiones estratégicas bajo condiciones de incertidumbre, en esta línea argumentativa García y Romero (2009) encontraron elementos de evaluación sobre el valor del proyecto mediante dicho método, proporcionando una mejor herramienta para resolver los diversos problemas adyacentes a la decisión a tomar, por cuando al momento de llevar a cabo la incorporación de la flexibilidad operativa dentro de cada una de las fases del ciclo de vida del proyecto, esta actúa como una herramienta de decisión (espera, expansión, abandono), dando lugar a realizar una revisión continua durante la ejecución del proyecto, adaptando cada variable financiera a los acontecimientos de mercado futuros.

Asimismo, se ha de tener presente dentro de las opciones reales la integración de los procesos estocásticos para la valoración de proyectos, dentro de estos encontramos los modelos

de valoración por Black-Scholes (1973), el modelo binomial estructurado por Cox et al. (1979) y la simulación Montecarlo diseñada por Metropolis y Ulam (1949).

A la luz de lo planteado, el presente trabajo de grado se centra en aplicar como propuesta un caso de estudio correspondiente al análisis de un proyecto de inversión inmobiliaria de naves industriales, donde se valorarán de manera conjunta las opciones de espera y expansión del proyecto, mediante la integración de las opciones reales.

Por lo que, se buscó ampliar el conocimiento sobre la toma de decisiones en proyectos de inversión de naves industriales, fortaleciendo la aplicabilidad de la metodología de opciones reales e identificando sus ventajas como complemento a los métodos tradicionales de evaluación, apoyado en el uso de métodos estocásticos que permiten tener una valoración más realista y flexible. Si bien se han realizado avances académicos en la implementación de las opciones reales, se ha identificado una baja aplicación práctica en proyectos industriales en Colombia, significando un vacío teórico aplicativo, el cual permite que se pueda proponer en el presente trabajo una nueva visión en torno al tema abordado.

2.2.Pregunta de investigación

¿De qué manera la metodología de opciones reales, basada en procesos estocásticos, complementa los métodos de valoración tradicionales para fortalecer las decisiones estratégicas en proyectos inmobiliarios de naves industriales?

2.3.Alcance del trabajo de grado

El objetivo principal se centra en la implementación de la metodología de opciones reales basada en árboles binomiales y simulación de Montecarlo mediante una valoración de una inversión inmobiliaria de naves industriales. Para lo cual, se tiene como alcance el integrar de manera dinámica y profunda la revisión literaria del tema principal, la construcción del modelo y

el análisis de un caso de estudio. Siendo necesario en los dos pasos anteriores trabajar con información financiera proyectada, indicadores tradicionales y variables de mercado asociadas a proyectos de inversión inmobiliaria.

La investigación abarcará a su vez la adecuada selección e integración de las variables a través de las cuales se generan escenarios de incertidumbre en el proyecto, la definición de sus distribuciones de probabilidad y la estimación de la volatilidad mediante simulación de Montecarlo. Con estos insumos se construirá un modelo binomial orientado a valorar escenarios de espera y expansión bajo la premisa de las opciones reales.

Por ende, al abordar el diseño del caso de estudio este se fundamenta en un proyecto de inversión inmobiliaria de naves industriales con un horizonte de cuatro años, el cual se desarrolla sobre un lote ubicado en una zona franca, dividido en dos etapas con igual tipología y características estructurales, logísticas y económicas. Donde la primera se constituye en la etapa inicial con un esquema definido de costos y proyecciones financieras, sobre la cual se valorará la opción de espera o expansión dependiendo de los resultados obtenidos.

El alcance no considero actividades asociadas al diseño del proyecto, validaciones de mercado mediante trabajo de campo ni la estructuración comercial. La investigación se centrará en la aplicación técnica del modelo con su respectivo análisis.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1.Objetivo general

Implementar la metodología de opciones reales basada en árboles binomiales y simulación de Montecarlo para valorar una inversión inmobiliaria de nave industrial y estimar escenarios de espera y expansión que fortalezcan las decisiones estratégicas del proyecto.

3.2.Objetivos específicos

- Examinar los fundamentos teóricos y prácticos de la metodología de opciones reales basada en árboles binomiales y el método de Montecarlo para la valoración de inversiones inmobiliarias de naves industriales.
- Realizar la modelación de las opciones reales para la simulación de escenarios de espera y expansión soportado en procesos estocásticos en la inversión inmobiliaria en una nave industrial.
- Analizar los resultados obtenidos mediante la metodología de opciones reales basada en procesos estocásticos, para la toma de decisiones de inversión en proyectos inmobiliarios industriales.

3.3.Resultados esperados

Analizar la importancia de implementar los procesos estocásticos en la valoración de inversiones inmobiliarias de naves industriales, es de gran importancia ante la volatilidad latente de los mercados, más aún, en un contexto donde las crisis económicas son más prevalecientes, por lo que, se busca generar con la implementación del modelo propuesto, alcanzar una serie de resultados capaces de dinamizar el entendimiento y transcendencia de las opciones reales al valorar proyectos de inversión.

Por lo tanto, se busca fortalecer el conocimiento a nivel de la teoría de las opciones reales, a partir de la implementación práctica de los modelos estocásticos basados en árboles binomiales y el método de Montecarlo los cuales se aplicaron en la valoración de un proyecto inmobiliario de nave industrial. Permitiendo de esta forma examinar con mayor amplitud la pertinencia de los procesos estocásticos como método complementario a la evaluación tradicional de proyectos.

4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

El enfoque de opciones reales integrado en la valoración de proyectos de inversión inmobiliaria, presenta en la actualidad una práctica poco profundizada, es decir, no se ha logrado extender en varias direcciones, para lograr mejores interacciones competitivas que permitan impactar positivamente las decisiones estratégicas. Esto debido a que normalmente se hace uso de modelos tradicionales de valoración financiera los cuales se caracterizan por tener una naturaleza estática y determinística, cuya estructura se fundamenta en emplear indicadores como el VPN, la TIR, y el método del FCD, cuya estructura no tienen en cuenta la flexibilidad al valorar múltiples escenarios con diferentes cambios en las variables financieras, al igual no contemplan situaciones cuando hay opciones tales como retrasarse, ampliarse, abandonarse o reposicionar, involucradas en las fases del proyecto.

Por lo que, con el presente proyecto se logra integrar una ampliación dentro de la estructura teórico práctica de las opciones reales para la evaluación de proyectos inmobiliarios al incorporar la flexibilidad estratégica como fuente de valor, sustentada en procesos estocásticos. En este sentido, se contribuye al desarrollo teórico de la valoración de inversiones inmobiliarias, en especial de naves industriales, donde hasta el momento de acuerdo al conocimiento que se tiene, son pocos o ninguno los estudios diseñados en este nicho de mercado.

Lo anterior podrá argumentarse mediante la implementación de una estructura metodológica clara, por medio de la cual se logren identificar y clasificar la idoneidad de integrar las opciones reales como también los modelos estocásticos basados en árboles binomiales junto con el método de Montecarlo para la valoración de inversiones inmobiliarias de naves industriales.

Siendo necesario integrar dentro de este proceso un enfoque metodológico claro, en el que se pueda combinar de manera clara las estimaciones de la volatilidad del proyecto, modelar el

comportamiento de las variables inciertas y construir escenarios dinámicos de decisión. De esta manera se logrará la validación y confiabilidad de la propuesta abordada.

Esta dinámica sirve como referente al estructurar la valoración financiera, dando especial énfasis en la aplicación práctica de las opciones reales en proyectos de inversión, exhibiendo el potencial que hay inmerso en este modelo, no solo en el sector inmobiliario, sino en otros sectores económicos.

Asimismo, desde una argumentación práctica, la propuesta inmersa en el presente trabajo busca poner a disposición una alternativa diferente en cómo se analizan los proyectos de inversión, cuyos lineamientos han venido abarcando la integración de modelos de valoración tradicionales, los cuales presentan limitaciones para comprender la realidad en mercados con altos niveles de volatilidad e incertidumbre, por lo que, se hace necesario replantear estos métodos e integrar nuevas variables de estudio capaces de explorar el potencial económico financieros desde diversos escenarios, como lo sería las opciones reales.

Por lo expuesto, este trabajo supone un reto para poner en práctica las competencias y habilidades profesionales para demostrar la viabilidad de formular una visión diferente de estudio en proyectos de inversión. Plasmando durante todo el proceso diversas posturas al igual que criterios técnicos para presentar los beneficios que se derivan de dichos cambios.

5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se describe la metodología de investigación utilizada durante el desarrollo del proyecto, la cual se estructura en tres fases alineadas con los objetivos específicos planteados.

5.1. Enfoque de investigación

Para lograr un desarrollo dinámico del presente trabajo, se hace necesario abordar un método de investigación mixto (cualitativo y cuantitativo). Debido a la naturaleza de los datos e información requerida para la propuesta de valoración a través de las opciones reales, se hace indispensable alcanzar una comprensión profunda de los diferentes escenarios a abordarse a partir de los supuestos inmersos en la problemática identificada.

Hernández y Mendoza (2018) mencionan que, al integrar los métodos mixtos, se alcanza una ejecución más amplia al momento de analizar las diferentes variables de estudio, permitiendo de esta manera ejecutar procesos sistemáticos, empíricos y críticos relacionados con el fenómeno de estudio. Este enfoque, permitirá generar una interrelación entre cada elemento a ser abordado desde la fase de recolección hasta el análisis de datos cualitativos-cuantitativos, logrando alcanzar una exploración, descripción y explicación profundidad del caso de estudio propuesto, generándose así una discusión tanto crítica como objetiva de la problemática seleccionada.

Dentro de los parámetros del enfoque seleccionado, se considera la adopción del proceso mixto dominante en el cual se dará más predominio al elemento cuantitativo por sobre lo cualitativo, Hernández, et al. (2014) identifica esta asociación bajo el criterio “CUAN-cual”, es decir, las variables cuantitativas representan un nivel de enfoque mayor dentro del desarrollo investigativo, por lo que, las ramificaciones cualitativas son un complemento para explicar los hallazgos alcanzados en el modelo cuantitativo implementado el cual se enmarca dentro de un núcleo de estudio dinámico caracterizado por la modelación matemático-financiera.

5.2.Alcance de la investigación

Para poder fundamentar la modelación necesaria para integrar las opciones financieras al análisis de viabilidad en el proceso de valoración de una inversión inmobiliaria de nave industrial, es indispensable la estimación de escenarios de espera o expansión para fortalecer la toma de decisiones estratégicas dentro del proyecto, para lo cual se es requerido integrar durante el estudio un alcance explicativo mediante la incorporación del componente correlacional de manera previa, con el propósito de identificar de manera empírica posibles relaciones presentes entre las variables estructurales inmersas en el modelo.

Fundamentando esta decisión Hernández et al. (2018) identifican la correlación como aquella dinámica capaz de comprender la relación o grado de asociación tanto entre conceptos como variables dentro del contexto de estudio. Llevar a cabo este paso permite llegar a la generación del alcance explicativo, el cual dinamizara las bases para entender a mayor profundidad el fenómeno propuesto, detallando puntualmente las causas de los sucesos, en este caso, se explica el por qué las opciones reales permiten generar una mejor visión sobre la decisión de invertir o no en un proyecto.

5.3.Diseño de la investigación

La investigación se estructurará bajo un estudio de caso, donde se lleva a cabo la implementación del estudio de valoración de opciones reales a un proyecto específico de nave industrial, abordándose diversos escenarios del mercado para identificar el valor del activo lo más real posible para su correcta viabilidad.

Bajo este diseño de caso, de acuerdo con Bernal (2016) se logra generar una mayor profundidad en el razonamiento de cada unidad de análisis o variables seleccionadas para la problemática seleccionada. Para realizar un adecuado estudio, este proceso se desarrolla de

manera tanto cíclica como progresiva, abordando la recolección de datos e información de manera precisa para su correcta interpretación, validación, y redacción del caso, presentando un mayor énfasis en el conocimiento profundo a alcanzarse para brindar un razonamiento único sobre las particularidades al igual que la generalización de los resultados.

5.4.Hipótesis

El nivel de incertidumbre y volatilidad presente en el mercado inmobiliario industrial produce una relación significativa sobre el valor estratégico estimado en la metodología de opciones reales basada en arboles binomiales y simulación de Montecarlo.

5.5.Variables o categorías

Variables involucradas:

a) Variable Independiente:

- Nivel de incertidumbre y volatilidad en la inversión inmobiliaria de nave industrial.

b) Variable Dependiente:

- Valor estratégico del proyecto de inversión mediante las opciones reales basada en arboles binomiales y simulación Montecarlo.

5.6.Operacionalización de variables

- a) **Variable independiente:** se debe de llevar a cabo el cálculo de la volatilidad (σ) correspondiente al mercado inmobiliario, hallar las variaciones en los flujos de caja proyectados, la desviación estándar de los futuros rendimientos a obtenerse, la estimación del WACC, el VPN, identificación del nivel de riesgo.
- b) **Variable dependiente:** establecer el tipo de opción real, hallar los parámetros del árbol binomial y su correcta construcción a nivel del subyacente y de la misma opción real,

valorar la opción real, calcular el VPN con flexibilidad, y por consiguiente realizar el análisis de decisiones a partir de cada uno de los nodos establecidos en el árbol de eventos.

5.7. Búsqueda y análisis de literatura

Se realizó una recopilación de la literatura académica referente a los fundamentos teóricos de la metodología de opciones reales y modelos estocásticos basados en árboles binomiales y el método de Montecarlo. Asimismo, de la literatura de autores que aplicaron las opciones reales en la valoración de proyectos inmobiliarios. Esta fase permitió examinar las bases conceptuales que sustentan teóricamente la pertinencia de los procesos estocásticos como método complementario a la evaluación tradicional de proyectos.

5.8. Valoración del caso de estudio

Se recopiló información de los indicadores financieros del proyecto, como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), el flujo de caja proyectado, el costo promedio ponderado de capital (WACC) y condiciones del mercado del caso de estudio.

Se identificaron las variables que generan incertidumbre en el proyecto y se asignará el tipo de distribución de probabilidad para cada una. Se ejecuto la simulación de Montecarlo con las variables asignadas.

Se estimó la volatilidad del proyecto mediante la simulación de Montecarlo, utilizando como insumo el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) para el modelado.

Se calcularon los valores UP y DOWN a partir de la volatilidad estimada. Se realizará la construcción del árbol binomial para estimar el valor agregado por la incertidumbre al proyecto.

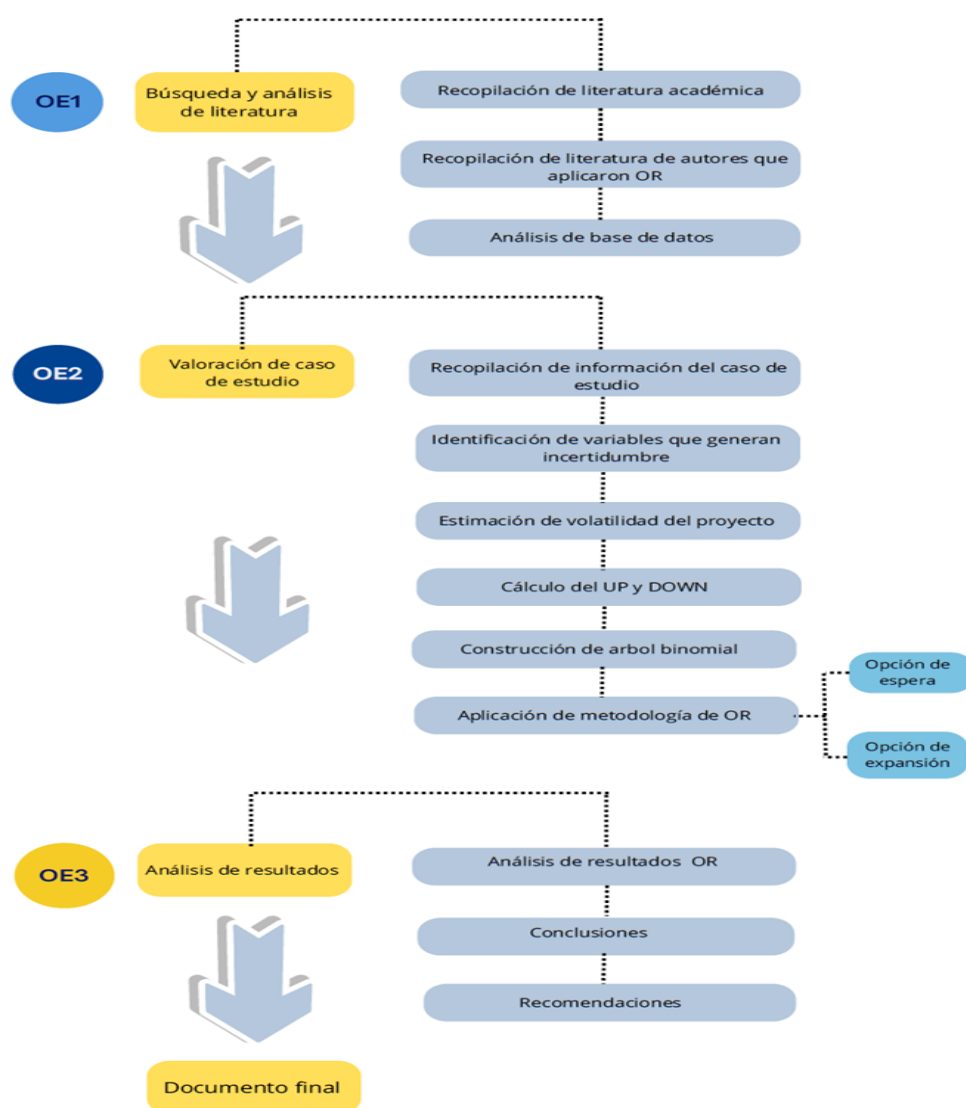
Se aplicó la metodología de opciones reales para simular los escenarios de espera y expansión al proyecto de inversión inmobiliaria de naves industriales.

5.9. Análisis de resultados

Se analizaron los resultados obtenidos mediante la metodología de opciones reales, se realizaron las conclusiones y se formularon recomendaciones a partir de los hallazgos de la investigación.

Figura 1

Diagrama de metodología



Fuente. Elaboración propia (2026)

6. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Diversos autores han demostrado que el método de opciones reales se ha aplicado con éxito en múltiples sectores. El estudio de Bonis et al. (2009) tiene una gran relevancia para los fines de la presente propuesta, por cuanto se analiza un caso real de inversión en el sector eléctrico. Llevando a cabo una explicación detallada sobre la expansión de la empresa de energía española Endesa en Latinoamérica integrando en esta dinámica la valoración de la opción de expansión a través del enfoque de opciones reales, permitiendo comprender la decisión de invertir en un proyecto con un valor presente neto (VPN) negativo. Este estudio logra identificar que la rentabilidad de la inversión no se justifica en términos del descuento de los flujos de caja, sino en términos estratégicos de inversión, donde la fuente de valor es la opción de expansión futura en el mercado brasileño.

Asimismo, la incorporación de las opciones reales apoyada en procesos estocásticos refleja la relevancia de su aplicación para valorar inversiones complejas y estratégicas en sectores de alta incertidumbre y cambios en el mercado. La relevancia de la inversión para este caso tuvo un gran impacto alcanzando resultados positivos, ganando una denominación idónea como el “negocio del siglo”, siendo además objeto de diversos estudios.

Desde otros frentes de estudios recientes como lo dispuesto por Zapata (2020) se logra demostrar que la introducción de flexibilidad mediante el análisis de la viabilidad de proyectos por el método de opciones reales permite captar un valor adicional significativo, al facilitar la adaptación dinámica a las condiciones cambiantes del mercado donde las inversiones pueden ser rentables bajo diversos escenarios. Situación que, dentro de los modelos tradicionales de evaluación financiera de valoración, como es el caso de aquellos fundamentados en el FCD, no

incorpora una visión intuitiva capaz de analizar la inversión bajo escenarios de incertidumbre, esto producto a su carácter estático.

Lo anterior se convalida con lo propuesto por Van Aarle (2013), al considerar que si un proyecto de inversión se aborda desde las premisas de las opciones reales estas plantean diversos escenarios de forma secuencial e irreversible integrando en ellas condiciones de incertidumbre, esto con el único objetivo de demostrar que el inversionista tiene a su disposición una opción financiera la cual le brinda el derecho más no la obligación, de comprar un activo en un momento no solo actual sino futuro que se elija después de haber analizado las diferentes acciones en especial el costo o precio de ejercicio dentro de la vida útil de la opción real.

Dicho lo anterior, se ha de considerar las opciones reales como una herramienta analítica cuyo proceso organizativo permite pensar de forma diferente al momento de tomar decisiones de inversión corporativas, frente a sucesos inesperados que puedan generarse en el mercado o a nivel macroeconómico tanto de país como a nivel global.

Bajo esta analogía, se debe de dejar claro que la toma de decisiones de inversión no es solo hallar un dato como el VPN, TIR o cualquier otro para identificar un resultado estático positivo o negativo, por el contrario, este proceso es en sí una tarea compleja donde se requieren aspectos esenciales como la comprensión, no solo del funcionamiento del mercado sino de toda su estructura incierta, además de la interacción estratégica generada de los diferentes agentes que lo integran. Por tal motivo, cuando se está abordando el criterio de inversión bajo las premisas del modelo tradicional se hace necesario complementarlo con herramientas de análisis capaces de evaluar los riesgos e incertidumbres en cada escenario probable.

Considerando las visiones planteadas, y teniendo presente que la literatura académica, tanto nacional como internacional, ha avanzado en el desarrollo de la metodología de opciones reales

para la evaluación de proyectos, su aplicación práctica en múltiples sectores ha sido muy limitada, como es el caso del sector inmobiliario en especial para el caso del nicho de mercado industrial colombiano. Este escenario pone de manifiesto la necesidad de ampliar la aplicabilidad de esta metodología, incorporando métodos estocásticos para el fortalecimiento de la valoración de proyectos inmobiliarios de naves industriales. De esta manera, las opciones reales se configuran no solo como una herramienta fundamental, sino también complementaria a los enfoques tradicionales, al ofrecer una perspectiva más estratégica en el proceso de toma de decisiones sobre invertir o no en un proyecto.

Más aún, ante un contexto en el cual los métodos comunes de evaluación siguen prevaleciendo, como lo sustenta Čirjevskis (2021) es necesario cerrar la brecha existente entre la valoración de las opciones reales frente a los estudios de inversión en proyectos inmobiliarios, para poder llegar a un punto en el que se pueda abordar la oportunidad de inversión de una forma más profunda, donde se reconozca el valor real reconociendo a su vez el éxito o fracaso de un proyecto.

Los motivos por los cuales se considera estos planteamientos recaen en que, para el caso del **VPN**, mediante lo expuesto por Zapata (2020) se considera esta metodología como la de mayor superioridad por su facilidad de implementación al momento de clasificar e igualmente seleccionar oportunidades de inversión, esto debido a un enfoque estático de poder identificar el incremento o disminución generada por la inversión si esta se lleva a cabo.

La razón por la cual el VPN presenta limitantes, es por una parte no logra incorporar la incertidumbre de los flujos de caja futuros, esto ocasiona una suposición de un valor dado de los flujos de caja para cada momento ($t = \text{tiempo}$), dejando de lado las múltiples variaciones que pueden darse durante la vida del proyecto. Por otro lado, el VPN asume condiciones de certeza

producto de emplear solo información o datos de la actualidad sin incorporar escenarios de riesgo e incertidumbre.

En misma línea Muñoz et al. (2020) menciona como el VPN en la práctica ve a la volatilidad como una influencia negativa, por lo tanto, los resultados que arrojen los proyectos bajo esta metodología tienden a tener mayor rechazo, ocasionando a una variación sobre la tasa de descuento para ajustar las disparidades con el objetivo de obtener un resultado favorable. Por tales razones, aquellos proyectos descartados durante la evaluación del VPN, pueden obtener una aprobación al ser analizados bajo las condiciones de las opciones reales. Tal como lo expresa Sosa y Banda (2020) un análisis de inversión bajo esta metodología financiera no es suficiente para tomar decisiones estratégicas, ya que, se suele desestimar proyectos sin comprender los cambios en los ciclos económicos futuros.

Argumentando lo anterior, Sánchez (2019) identifica para el caso de valorar proyectos de inversión inmobiliarios, bajo el uso del VPN presenta problemas en su cálculo, ya que, asume un mundo libre de riesgos, situación alejada de la realidad, por cuanto se está ante proyectos con un alto nivel de riesgo, a causa de la alta elasticidad de los resultados financieros normalmente anclados al ciclo del PIB como también de la singularidad en cada caso inmobiliario. Sin dejar de lado, lo intensivo en capital siendo esta una variable difícil de diversificar ante cambios en el mercado.

Para lograr un resultado favorable bajo dicha herramienta, es necesario que dentro del valor total del proyecto se lleve a cabo la suma entre el VPN, el resultado de la opción real junto con los otros componentes a considerar como para el establecimiento lo más real posible de valor, proporcionando así una mayor seguridad al momento de tomar la decisión de invertir o no.

Otro indicador a considerar durante este estudio es la **Tasa interna de retorno (TIR)**, la cual es la tasa de descuento que lleva al VPN del proyecto a cero. Dicha tasa de acuerdo con Jiang (2016) es vista como la tasa de rendimiento a obtenerse anualmente, es decir, esta resume el flujo de caja esperado como una única medida de rentabilidad. Teniendo como regla general el considerar si esta es superior a su costo de capital deberá de aceptarse la realización del proyecto, de lo contrario se ha de rechazar. Sin embargo, se hace necesario considerar que la TIR puede resultar poco fiable, cuando el resultado derivado de esta hace que la decisión de inversión a tomar sea incorrecta.

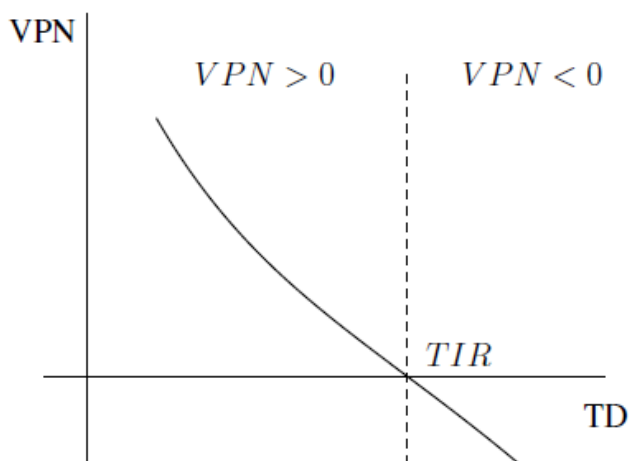
Esta interpretación se puede considerar por cuanto las empresas al momento de tomar decisiones de presupuesto de capital se enfocan en llevar a cabo de manera rutinaria diversas acciones que en los textos básicos de finanzas recomiendan no realizar, como es el caso, de pensar como principio inalienable realizar un proyecto en función de si la tasa de retorno supera o no la tasa de descuento. Regir la decisión de inversión basado en un único índice de rentabilidad no es recomendable, porque se está ante un escenario donde aquellos proyectos con alto potencial en el futuro se quedan sin ser realizados.

Para Chen et al. (2022) si bien la TIR tiene ciertas ventajas entre las que se encuentran la facilidad para su cálculo, la toma de decisión, además de poder vincular los ingresos durante la vida del proyecto, así como considera el valor temporal de dinero. Esta medida financiera presenta también problemas en su implementación, como es el caso de ser un resultado de razón más no de valor absoluto, la TIR no refleja el impacto de la escala de inversión de un proyecto, asimismo esta se emplea a proyectos con un flujo de caja fijo, en caso de estar en un escenario con flujo de caja variable se hace necesario emplear otros métodos para poder calcular la TIR.

En este aspecto Chen et al. (2022) sostiene que si un proyecto presenta un flujo de caja negativo e irregular alto se encontrará ante dos TIR, conduciendo a un análisis doble al interpretar el resultado de dicha variable junto al VPN. Creando un dilema para el inversionista, ya que, no sabrá que TIR emplear para tomar una decisión acertada.

Figura 2

Relación VPN y Tasa de descuento (TD)



Nota. Curva decreciente del VPN cuando se presenta un aumento en la TD, cuando se presenta una intersección en el eje horizontal se presenta la TIR es decir se equipará el VPN a cero. Zapata (2020).

Otro parámetro financiero que se ha de considerar es el **Costo promedio ponderado de capital (WACC)**, siendo esta la tasa a la cual se descuenta el FCF, siguiendo las directrices dadas por Fernández (2011) es además una medida ponderada de dos magnitudes diferentes, como son en primera medida un costo (costo de la deuda) y un retorno obligatorio compuesto por el retorno sobre capital K_e . Esto hace que el WACC sea la media ponderada de las exigencias de los inversores, donde se encuentran establecidas el costo de la deuda (para los bancos) y el rendimiento requerido (para los accionistas).

Sumado a lo anterior, Mauboussin y Callaham (2023) indican que para calcular el WACC es necesario que la ponderación de la deuda como el capital ha de basarse en los valores reales de mercado y no en valores contables, esto debido a que el costo de oportunidad se fundamenta en el precio vigente de los activos, más no en un dato contable dispuesto en el balance, por cuanto esto puede ocasionar una alteración en los resultados llevando al capital a un terreno negativo. El realizar correctamente el cálculo del WACC permitirá en definitiva estimar una mejor estructura de capital a lo largo del tiempo.

En retrospectiva el WACC es una tasa de descuento a implementarse al momento de evaluar opciones de inversión las cuales tienen cierto nivel de riesgo consistente con las previsiones de los inversionistas o del negocio subyacente de una empresa. Además de ello, cuando se da uso al WACC por lo regular se establece un único coste de capital basado en los libros contables, introduciéndose así un riesgo a nivel de sobre invertir en inversiones de alto riesgo, o de destinar pocos recursos a inversiones de bajo riesgo.

Una recomendación dada por Mauboussin et al. (2023) menciona la necesidad de no ajustar el WACC para realizar análisis de múltiples escenarios, es necesario que dicha tasa se mantenga coherente, se debe es de reflejar de manera clara rangos de valores en el modelo considerando resultados potenciales para los flujos de caja. Para ello, es necesario contar con una infraestructura de expectativas futuras entorno a identificar el crecimiento de las ventas, las variaciones en los costos operativos, y las tasas de inversión, la clave está en establecer los desencadenantes de valor a partir de los determinantes micro y macroeconómicos que impulsan el valor definitivo de realizar o no la ejecución de un proyecto de inversión.

Dentro de todo este campo de estudio aplicando las opciones reales, se ha de considerar el **cálculo de la volatilidad**, la cual sin duda alguna es una variable poco abordada en los métodos

de valoración, según González et al. (2024) esto obedece a su capacidad de distorsión por diferentes factores como pueden ser las burbujas financieras o reacciones exageradas por parte de los inversionistas. Ante este escenario, una técnica natural para realizar la estimación de esta variable es el enfoque de volatilidad implícita, siendo esta capaz de satisfacer la fórmula de valoración de opciones Black-Sholes. Para una estimación realista dentro del proceso de estimación de las opciones reales en cualquier caso como lo es el sector inmobiliario, se hace necesario calcular la volatilidad implícita extraída de las empresas pertenecientes al sector que se esté abordando listadas en un índice bursátil, es decir, esta variable se estima por medio de los datos de mercado de sus pares. En este orden de ideas, es importante comprender la ventaja presente en la volatilidad implícita la cual permite ser usada para valorar diferentes opciones estratégicas de inversión.

Siguiendo con la línea argumentativa, Zapata (2020) identifica a la volatilidad como la única variable que no puede ser observada de manera directa, siendo esta un parámetro crítico dentro del modelo de valoración, haciendo de la estimación sea un verdadero reto en la aplicación de las opciones reales. La cual es muy diferente cuando se toma en cuenta una opción financiera donde la estimación de la volatilidad es más manejable, por cuanto se toman datos históricos del activo subyacente, estimándose así la desviación estándar de los rendimientos logarítmicos (R_t).

Un aspecto de amplia relevancia descrito por González et al. (2024) indica que para proyectos de inversión inmobiliarios o de bienes raíces, es necesario tener definidas herramientas precisas para estimar adecuadamente la volatilidad, siendo esta un vacío latente en la literatura a nivel general, por cuando es un indicador con un uso nulo al momento de evaluar inversiones. Uno de los ratios a considerarse para su uso en el cálculo de las opciones reales a nivel de la volatilidad implícita es el ratio deuda-capital.

Es necesario por tales razones, considerar la previsión de la volatilidad implícita como parte fundamental para anticipar los efectos reales de los ciclos económicos, facilitando de manera puntual los procesos de toma de decisiones, permitiendo así contrarrestar las decisiones apresuradas de abandonar proyectos sin un estudio bien estructurado.

Ante lo expresado, cuando se aborda la estructura de las opciones reales integrando la volatilidad en sus diversas facetas en el modelo de valoración se hace imperioso comprenderlas como el resultado de decisiones estratégicas flexibles entorno al estudio de las diversas alternativas de inversión, donde se ha hecho frente a la incertidumbre futura. Es así como, según Zapata (2020) poner en marcha el proceso de valoración demanda el seguir una serie de pasos lógicos como coherentes para identificar y/o estimar toda la información necesaria en el proceso de las opciones reales. Naturalmente la secuencia para su adopción es iniciar con la estimación del WACC, el valor esperado de los flujos de caja, y estimar el VPN sin flexibilidad, posterior a ello se prosigue con el hallar la volatilidad para lo cual se requiere identificar las fuentes de riesgo, realizar la simulación de forma conjunta dentro de las fuentes de riesgo identificadas para lograr una estimación cercana a la realidad de la volatilidad. Por consiguiente, se realiza la valoración de la opción real identificando el tipo como su función de pagos, la estimación inmersa en los parámetros del árbol binomial como también su respectiva construcción para lograr llegar al valor de la opción real. Todo esto da como paso final ejecutar el cálculo del VPN ampliado o con flexibilidad, para llegar a un análisis certero en las decisiones de cada nodo del árbol de eventos definido.

Sánchez (2019) considera a la volatilidad como una variable clave al momento de realizar la valoración de opciones, si no se incluye en el estudio es probable que se generen distorsiones en los cálculos, dando una serie de resultados inexactos frente a las realidades del mercado. Por

ende, ante ello, es necesario adoptar valores intuitivos fundamentados en datos obtenidos de compañías comparables dentro del mercado, como son aquellas cotizadas en bolsa, para lograr una valides por parte tanto de analistas como de inversores dentro del sector inmobiliario, de esta manera se podrá definir una volatilidad estimada para ser usada en el modelo de valoración.

En caso de que el modelo no integre la volatilidad como indicador de sensibilidad, es casi probable obtener un avance nulo en el estudio de las opciones reales dentro del sector, generando barreras para identificar los márgenes aproximados a la realidad de los movimientos del mercado.

Otro elemento a considerar durante el desarrollo del modelo de valoración a plantarse, son las **opciones financieras**, según Zapata (2020) estas son un tipo de derivado vistas como el derecho más no la obligación de comprar o vender un activo en específico común mente conocido como activo subyacente, proceso el cual se realiza tanto durante un periodo de tiempo como de un precio pactado (precio de ejercicio). Es decir, esta opción da la oportunidad de tener un derecho de llevar a cabo una decisión de inversión, la cual puede ser implementada a los activos reales.

Por lo anterior, se puede efectuar una analogía entre las opciones financieras y las reales, donde ambas presentan similitudes, Zapata (2020) menciona el caso de considerar el activo subyacente (valor presente de los activos) del proyecto de inversión (V), continua un proceso estocástico, integrándose parámetros de entrada caracterizados por el valor presente del activo (V_0), precio del ejercicio, tasa de interés libre de riesgo (r), vencimiento de la opción (T), y la volatilidad (σ). Pero se ha de tener cuidado en su articulación, porque las opciones financieras requieren una ausencia de arbitraje al igual de la existencia de un mercado líquido para los activos, los cuales no se cumplen para el caso de las opciones reales.

Como se ha mencionado las **opciones reales**, son esenciales para llevar a cabo un proceso de valoración más preciso, por lo que, al considerar su aplicación en proyectos de inversión inmobiliario, de acuerdo con Klausen y Hollingsworth (2018) la flexibilidad en estos proyectos proviene de la capacidad para adaptarse a la naturaleza de los acontecimientos futuros, es decir no debe basarse un estudio en variables estáticas, siendo indispensable considerar diferentes medidas al realizar la presupuestación de capital en respuesta a los acontecimientos a suceder en cada fase del proyecto.

En este orden de ideas, es necesario considerar la existencia de diferentes tipos de opciones reales, las cuales, si bien cada una es diferente entre sí, difieren en cuanto al momento de su ejecución. Para el caso, del sector inmobiliario, estas en algunos casos cambian el carácter físico de la propiedad, y otras pueden transformar la forma como se utiliza un activo inmobiliario.

Zapata (2020) clasifica las opciones reales a partir de la flexibilidad que cada una ofrece, dentro de las cuales se pueden encontrar:

- **Opción de espera**, por medio de esta se proporciona el derecho de realizar la inversión en un proyecto en una fecha posterior, esto a causa de obtener un VPN negativo o de evidenciar un nivel de incertidumbre alto en el futuro. Para poder tomar esta decisión, se ha de considerar además las condiciones del mercado las cuales han de ser favorables cuando se llegue el momento de tomar la decisión definitiva. Es decir, se debe de cumplir la condición donde el valor generado en un momento determinado (V_t) es superior a la inversión requerida, $V_t > K$ (K valor del proyecto o precio del ejercicio).
- **Opción de expandir**, por medio de esta se tiene la oportunidad de aprovechar los periodos de alto crecimiento lo cual permite tomar una decisión estratégica acertada

para poner en marcha el proyecto de inversión para incrementar su valor significativamente, independiente del resultado obtenido en el VPN. Esto se representa por un incremento del valor presente (V_t), donde, la opción se ejecuta cuando el valor esperado resultado de la inversión ($V_t(1 + \eta) - I_{exp}$) (I_{exp} inversión adicional) es mayor que V_t , es decir: $V_t(1 + \eta) - I_{exp} > V_t$.

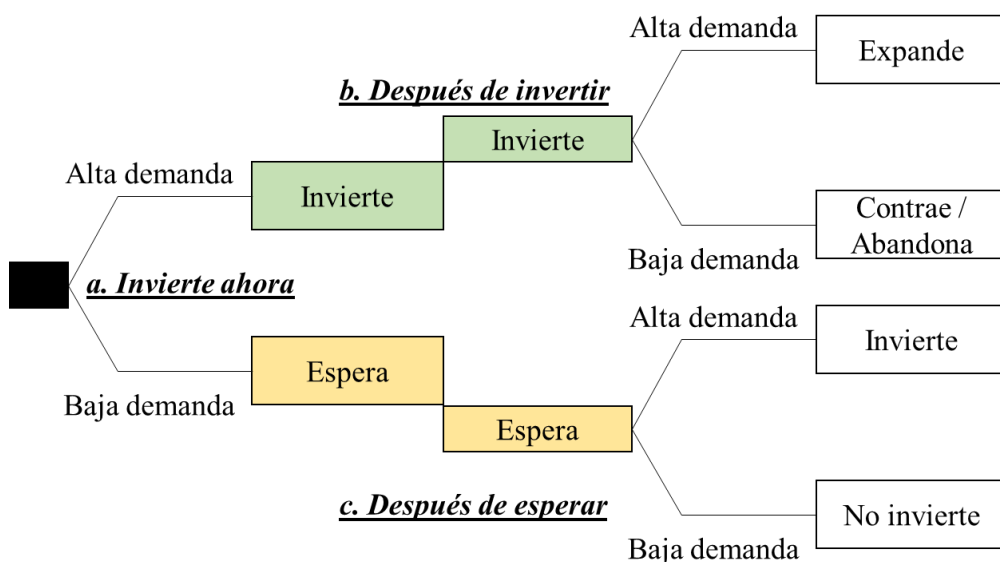
- **Opción de contraer**, para el caso de esta opción, se evidencia el derecho que se tiene de renunciar a una parte de la ejecución del proyecto con el objetivo de producir un ahorro, es decir, se obtienen incentivos si se toma la decisión de reducir tamaño o fases del proyecto. Esta opción es de gran relevancia cuando se está en momentos donde no se logra alcanzar una aceptación favorable por el mercado.
- **Opción de abandono**, se presenta cuando se genera un escenario donde los flujos de caja que generara el proyecto no son suficientes para cubrir los costos fijos, por lo que el inversionista o propietario tiene la oportunidad de vender, liquidar, o abandonar el proyecto producto de condiciones adversas que impactan negativamente su viabilidad. Si el valor de salvamento o liquidación $L > V_t$ valor presente, la mejor decisión es abandonar.
- **Opción de escoger**, permite continuar con el proyecto, pero con la posibilidad de escoger entre diversas combinaciones de opciones simples, ya sea, mantener la opción abierta o elegir la expansión, contraer o abandonar. Para ello, se identifica dentro de los nodos del árbol binomial el mayor valor de cada opción a ejercerse.
- **Opción de cambio**, esta es quizás una de las opciones más complejas, por cuando busca evaluar una ruta de valoración óptima desde diversas alternativas, a partir del cambio de esta de naturaleza del proyecto, como puede ser cambios en los insumos

a implementar, integración de tecnología, o cambios en los diseños de las instalaciones.

- **Opciones compuestas**, los proyectos presentan diferentes fases durante su desarrollo, por lo que cada una de estas, busca evaluar la posibilidad de continuar o abandonar el proyecto, todo partiendo de si la fase predecesora tuvo éxito, es decir, el valor de una depende del valor de otra opción.

Figura 3

Cursos de acción alternativos



Nota. Diferentes escenarios que se pueden presentar al momento de analizar la decisión de invertir en un proyecto. Zapata (2020)

Considerando lo mencionado hasta este punto, la regla para analizar la viabilidad de los proyectos de inversión se rige por integrar **modelos de valoración** tradicionales, como el VPN, el Payback, TIR, FCD, sin embargo, como lo sostiene Pérez et al. (2021) estos métodos presentan un nivel de rigidez amplio, los cuales no permiten observar los probables escenarios a los cuales se enfrentan los proyectos a lo largo de su ciclo de vida, es decir, carecen de

flexibilidad para estimar diversos riesgos que impactaran la viabilidad, ejemplo no son capaces de identificar afectaciones en los costos o flujos de caja futuro, producto de la nula integración de variables claves como el impacto generado por la volatilidad sobre el valor del proyecto, o por otro lado en algunos casos como el VPN se encuentra como desventaja la complejidad de estimar un WACC acorde a la realidad del costo de la deuda como de capital.

Ante la incapacidad de dichos modelos de no poder medir el valor implícito en un proyecto de inversión, las opciones reales surgieron como alternativa para integrar variables difíciles de medir especialmente en condiciones de incertidumbre, más aún al integrar arboles binomiales en los procesos de estimación, brindando así una mejor estimación del valor del proyecto, dando como probables resultados diferentes escenarios a nivel de espera, expansión, contracción, abandono, cambio, escoger o generar una combinación de varios escenarios dando la oportunidad al inversionista de ver la realidad más allá de un resultado mayor o menor de cero, como los generados por los modelos tradicionales.

Vayas et al. (2020) recomienda la adopción de un método flexible e imparcial, donde se genere la adopción de casos específicos de la estructura del proyecto o empresa (sector, región, moneda, historial, etc.) para poder comprender a profundidad los datos más representativos a influir en cada escenario, esto conduce a apoyar la estructuración sobre estadísticas matemáticas sensibles, por lo que, es importante evitar el uso de variables desactualizadas, esto por cuanto, se podrían generar distorsiones sobre las realidades de mercado, tendencias y variaciones de los ciclos económicos. Ejemplo de dicha exposición, subyace cuando se realiza el análisis de los resultados en los modelos de valoración, donde se pueden observar como cuando se agrupa el estudio en diferentes escenarios ya sea en mercados emergentes (ME) o consolidados (MC), cada

uno genera un resultado deferente, producto de las variables exógenas pueden ser más volátiles en un ME, mientras un MC puede evidenciar una capacidad de predicción más precisa.

Desde esta perspectiva, para llevar a cabo una evaluación del proyecto de manera óptima se requiere incorporar la flexibilidad e interacción de la volatilidad para lograr un resultado lo más real posible, por ende, Liu y Ronn (2018) mencionan que, las opciones reales comprenden esta situación como se ha mencionado con anterioridad, sumado a que, tiene integrado el costo puro además del costo de oportunidad, dando la oportunidad de evitar o reducir perdidas ante cambios futuros sobre las condiciones financieras, esto da paso a un mejor toma de decisión por parte de los inversionistas para aprovechar las oportunidades del mercado.

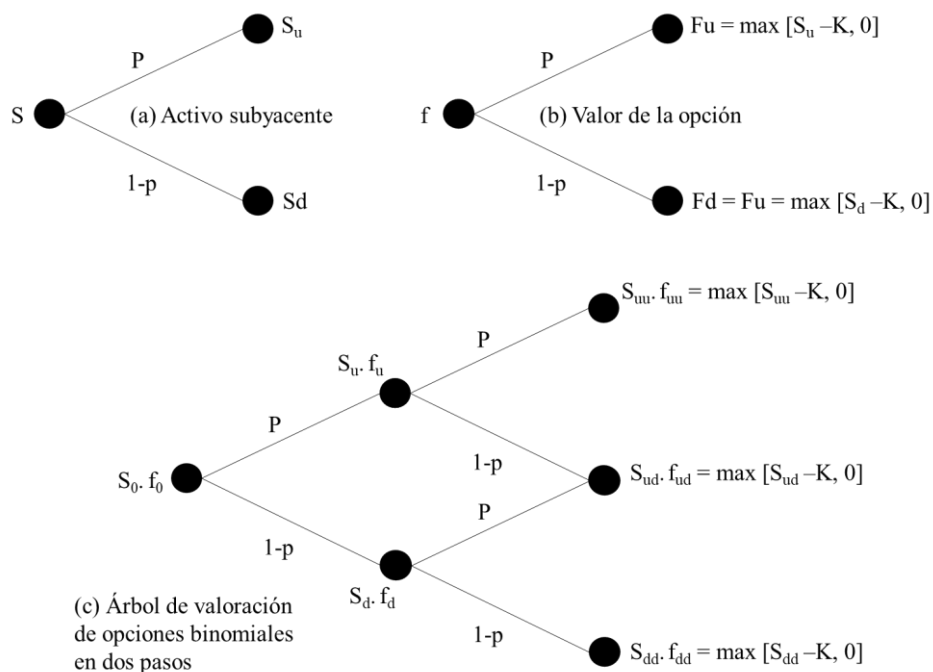
Es importante considerar en este proceso, la integración del **modelo binomial** el cual es más auto explicativo, donde se hacen menos cálculos, tienen una mayor convergencia en la rapidez de integración de variables para hallar el momento óptimo donde el proyecto cuenta con mayor nivel de viabilidad en su ejecución. En este orden, Yen y Lien (2020) indica como el modelo binomial de valoración de opciones, determina la ruta donde el precio estimado se acerca exponencialmente a su precio teórico. Es decir, el árbol no obtiene un valor estimado, sino que emplea un procedimiento interactivo a través del cual se logra la especificación de nodos o puntos en el tiempo, en los cuales se representa un posible precio del activo subyacente.

Complementando lo anterior, el modelo binomial, se ha de emplear para realizar una modelación correcta de las opciones reales. Yen y Lien (2020) menciona que, para el caso de realizar una evaluación de proyectos inmobiliarios, por medio de este, se podrá cubrir variables aleatorias como el total de ventas inmobiliarias, el costo del terreno, la tasa de crecimiento o decrecimiento, comportamiento del flujo de caja futuro, el VPN de las ventas totales, el tiempo de caducidad, factor de persistente del valor del suelo, además de la volatilidad futura entre otros.

La forma de llevar a cabo la ejecución del árbol binomial, es explicada por Bjarnadóttir (2013), donde explica que el precio de la acción sigue un recorrido aleatorio, al final de cada nodo se realiza el cálculo del valor intrínseco de la opción, siendo esta la diferencia entre el precio actual del activo (S), y el precio de ejercicio (K). De forma natural, al analizar el modelo binomial se evidencia, como el precio sube (u) considerando una probabilidad p neutra al riesgo, presenta una baja (d) por medio de una probabilidad $1-p$. Para lo cual, el valor de la opción se representa por f , siendo calculado a partir de descontar el valor intrínseco de la opción con el tipo de interés libre de riesgo al valor actual.

Figura 4

Valor de una opción binomial.



Nota. (a) Valor inicial del subyacente S posibilidades subida o bajada más probabilidad p neutra al riesgo. (b) Valor de una opción de compra, f , sobre el activo subyacente S . (c) árbol binomial de dos pasos, donde la volatilidad es representada por los movimientos en el precio del activo reflejados en los valores u y d . Bjarnadóttir (2013)

Como se observa en la figura anterior, se puede evidenciar como opera el modelo binomial donde por un lado a y b detalla el proceso de valoración de activos, donde este, en cualquier periodo, puede entrar en un movimiento hacia uno de dos precios posibles, esto se conoce como modelo de un solo periodo. Mientras que en el caso c, se ramifica un proceso de varios periodos, en el cual, para lograr un mejor entendimiento la valoración ha de realizarse iterativamente, esto es, iniciar desde el último periodo para posteriormente retroceder en el tiempo hasta el periodo actual.

Teniendo claridad sobre lo anterior, un punto más a considerar dentro de toda la estructura de valoración para las opciones reales, es la combinación del **modelo Black-Scholes** cuyos determinantes para la identificación del valor de un activo son iguales a los establecidos en el binomial, como es el valor actual del precio del activo, variabilidad de los precios, tiempo de vencimiento, precio de ejercicio como también el tipo de interés sin riesgo. Siguiendo los lineamientos de Zapata (2020) menciona como el modelo se construyó para la valoración de una opción financiera de tipo europeo caracterizadas por ser solo ejercidas al final de su vencimiento, mientras que las americanas presentan como connotación ser ejercidas en cualquier momento antes de su vencimiento. Dicho esto, el modelo Black-Scholes, incorpora un amplio cumulo de supuestos importantes como son, la no existencia de arbitraje, ausencia de pago de dividendos, no se encuentran costos de transacción, no tiene en cuenta los impuestos, las restricciones a ventas en corto son inexistentes, los activos tienen divisibilidad.

Molintas (2021) considera el modelo Black-Scholes como una herramienta fundamental para integrar la volatilidad, logrando generar una valoración lo más adecuada posible de las opciones para evitar que se genere cualquier tipo de arbitraje. Sin embargo, es necesario considerar que este modelo cuenta con limitantes, ya que, puede no describir todos los elementos de los datos

reales sobre los precios de los activos, esto producto de integrar hipótesis sobre la tasa libre de riesgo como también los dividendos, variables las cuales no siempre se generan en algunos sectores del mundo real. Sumado a ello, el modelo toma la volatilidad de forma constante durante todo el tiempo de duración de la opción, siendo esto algo poco realista, por cuanto las dinámicas del mercado son fluctuantes dependiendo de los ciclos económicos y cambios en las tendencias de inversión. Si a ello, se le junta lo anterior donde no se tienen en cuenta costos o impuestos, entre otros, las estimaciones en los precios tienden a tener ciertas brechas frente al valor real. Por último, el modelo solo es funcional en las opciones europeas, significando un problema al momento de abordar opciones americanas las cuales tienen un comportamiento diferente, ante este escenario, es necesario complementarlo con el modelo binomial y trinomial.

Integrar los modelos como se mencionó, da lugar a la obtención de un resultado más realista, ya que, se abordan diversos escenarios en los cuales se pueden calcular los valores de los activos, teniendo en cuenta la neutralidad del riesgo o la asunción del mismo, las afectaciones por volatilidad capaces de afectar los ciclos económicos, al igual de ir anexando la flexibilidad de las opciones para determinar el nivel de viabilidad.

Además de lo planteado, para subsanar las deficiencias de los anteriores modelos se ha de considerar la implementación de las **simulaciones de Montecarlo (MC)**, Pawlak (2024) indica que por medio de este la valoración de las opciones reales integra la reproducción de los cambios en el precio del activo subyacente a través de un proceso estocástico, esto da como resultado la determinación de la sensibilidad de los valores correspondiente a las opciones cuyos parámetros de entrada son individuales, en especial cuando están inmersos de riesgo.

Esto indica, que, por medio de MC, se logra llevar a cabo una simulación continua de miles de probables escenarios dentro de un proyecto, al igual del cálculo del VPN y FCD en cada escenario bajo diferentes fuentes de incertidumbre, volatilidad o riesgo predefinidas.

Una variable a considerar dentro del MC, tal como lo expresa Cazenave y Hamida (2015) es la **volatilidad mediante simulación de Montecarlo (σ)** la cual para lograr su correcta previsibilidad, se encuentran dos enfoques a tener en cuenta, por un lado esta se puede extraer de información referente a la varianza de los rendimientos futuros a partir de su historial, en segunda medida la obtención provendría de hallar las expectativas del mercado entorno a la volatilidad futura de los precios derivados de las opciones. Pero se ha de tener presente, que no es lógico realizar un cálculo de un solo valor para la σ MC del proyecto, por cuanto, se conoce el cambio constante de esta a través del tiempo o producto de las variaciones del valor del proyecto. Es aquí, donde se establece la σ MC como constante, en caso de presentar cambios a lo largo del tiempo, el modelo se adaptará realizando la estimación de la desviación estándar para diferentes valores.

Zapata (2020) menciona como la σ MC no puede ser observada directamente, representando una variable crítica para el modelo de valoración, en este caso, su estimación se vuelve compleja, para ello, es necesario hallar la desviación estándar de los rendimientos logarítmicos (R_t), $R_t = \ln(S_t/S_{t-1})$ (S_t = Precio de la acción o activo en el tiempo), (S_{t-1} = valor del activo periodo anterior) y $\bar{R}$ representa el rendimiento esperado (promedio) a partir de una muestra de datos de tamaño N , como se expresa en la ecuación (1):

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (R_t - \bar{R})^2} \quad (1)$$

Complementando dicha visión, Damodaran (2009) considera que al abordar el análisis de empresas o proyectos de inversión en ME como es el caso de Colombia, se hace necesario comprender las características inmersas en ellas, es decir, a diferencia de los MC los ME presentan una serie de indicadores con mayores volatilidades, esto indica una mayor inestabilidad en los ciclos económicos, dentro de este contexto, se evidencian fluctuaciones más pronunciadas sobre el tipo de cambio (revaluación – devaluación), riesgo país comprendido como aquel riesgo macroeconómico significativo generando un escenario de incertidumbre para los mercados si esta variable se ve afectada producto de cambios en las políticas tanto monetarias como económicas las cuales pueden conducir a escenarios de decrecimiento, se encuentran medidas de mercado poco fiables esto a causa de estar ante mercados poco líquidos o empresas cuyas decisiones de deuda se limitan a adquirir préstamos bancarios dejando de lado la opción de emitir bonos cotizados, carencia de información y diferencias contables producto de poca transparencia en la divulgación de información financiera a nivel de beneficios, reinversión o deuda dificultando los procesos de valoración de empresas, además se encuentra también el riesgo del gobierno corporativo, asimismo el riesgo discontinuo siendo este último una capa de riesgo adicional como puede llegar a ser escenarios de terrorismo o nacionalización (expropiación y control estatal sobre las empresas) dentro del ME.

Esto conduce a expresar la necesidad de realizar valoraciones capaces de integrar múltiples variables sin pensar en tomar atajos lo cual es contraproducente ya que, se obtendría un resultado poco fiable el cual no considero todo el escenario macro y microeconómico. Por lo tanto, siempre se ha de prestar atención a dos aspectos fundamentales como son considerar donde está constituida la empresa o proyecto al igual que donde realiza sus operaciones, para evitar obtener

resultados del tipo infravalorar aquellos negocios menos expuestos al riesgo típico de operación y sobrevalorar a los que están más expuestos.

Ante la realidad del caso del estudio propuesto, se ha de precisar que su estructuración para la respectiva valoración presenta limitantes al momento de realizar comparaciones con inversiones similares, siendo necesario realizar la visión tanto del riesgo como la volatilidad a partir del componente de mercado para identificar las variables que en su conjunto afectan la inversión a realizarse.

Por último, se ha de señalar que al momento de valorar algunos proyectos de inversión carecen de un mercado, por lo tanto, no hay una existencia de datos históricos para lograr una estimación adecuada de la volatilidad, siendo necesario, realizar ajustes o asunciones a partir de activos semejantes los cuales estén inmersos en mercados de negociación.

Ante todo, lo mencionado, es preciso detallar el paso a paso al ejecutar la correspondiente evaluación del proyecto iniciando con la valoración del VPN unificándolo con la elaboración del árbol binomial, al culminar dicho paso, se continua con la estimación binomial, pero en este caso se ha de incluir la flexibilidad (ya sea con opción de expansión, espera, contracción o combinación), para finalizar con el cálculo de la opción a partir de la modelación de los diferentes métodos antes expuestos.

7. VALORACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio emplea la metodología de opciones reales basada en árboles binomiales y simulación de Montecarlo, para valorar un proyecto de inversión inmobiliaria de naves industriales. Realizando la estimación de escenarios de espera y expansión con el fin de brindar una mayor confianza sobre el valor esperado real del proyecto para lograr una toma de decisiones estratégicas acertada apoyada en un análisis más profundo de escenarios probables.

Para estimar la simulación de escenarios, se recopilaron los principales indicadores financieros, como el VPN, TIR, FCD, WACC y variables del mercado. Posteriormente, se evaluó la incertidumbre del proyecto, hallando la volatilidad del mismo, así como también se presenta el análisis de las opciones reales para determinar su conveniencia económica.

Todo ello se enmarca en el caso de estudio seleccionado, el cual se enfoca en un proyecto de construcción de naves industriales ubicado en una zona franca de la ciudad de Palmira – Valle del Cauca. Proyecto el cual consta de 3 naves industriales con un área de 2,057.3 m² por bodega. La inversión inicial del proyecto es COP\$884.776.000 millones de pesos, representada en el valor del lote, por otro lado, los costos indirectos calculados para la ejecución del mismo se estiman en COP\$156.354.800 correspondientes al año 0, representando estos datos la inversión total a realizarse para dar inicio con la ejecución del proyecto estimada en COP\$1.041.130.800.

El proyecto se ha estimado un horizonte de tiempo aproximado de 4 años, dividido en dos etapas; en la primera, se construirá una nave industrial con un plazo no mayor a 16 meses, en la segunda etapa, se iniciará la construcción de 2 bodegas con igual tipología y característica, con una duración de 32 meses. Con el planteamiento de la primera etapa, se realizará una valoración de escenarios espera – expansión por medio de los cuales se calcule la viabilidad de poder ejecutar la segunda etapa.

7.1. Estimación del valor presente neto (VPN)

El VPN requiere definir una tasa de descuento adecuada para actualizar los flujos de caja del proyecto. En este caso se adopta como tasa de oportunidad el costo promedio ponderado de capital, WACC (Weighted Average Cost of Capital), representando el costo medio de las fuentes de financiación deuda y patrimonio. Por lo que, el costo ponderado del capital antes de impuestos se calculó mediante la siguiente ecuación (2):

$$WACC = \left(\frac{E}{D + E} \right) K_e + \left(\frac{D}{D + E} \right) K_{(d)(1-T)} \quad (2)$$

El WACC, se calculó mediante la ecuación (2), donde se considera este como la estructura de capital objetivo del proyecto donde:

- E = capital aportado por los accionistas (Equity)
- D = Deuda financiera contraída
- K_e = Tasa de costo de oportunidad de los accionistas (CAPM)
- K_d = Costo de la deuda
- T = Tasa impositiva

El cálculo de la rentabilidad exigida por los accionistas (K_e) se fundamenta en el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model).

Por ende, al calcular el costo de oportunidad del proyecto se utilizó la tasa libre de riesgo, la cual corresponde al rendimiento de los títulos de deuda pública (TES) a 10 años, estimada en 9.5% E.A., mientras el rendimiento del mercado accionario colombiano se halló a partir del promedio histórico del índice del COLCAP entre los años 2008 y 2025, equivalente a 15.0% anual.

La beta desapalancada sectorial adoptada fue 0.86, siendo tomada de bases sectoriales internacionales publicadas por Damodaran (2026). Consecutivamente, se calcula la beta apalancada realizando el ajuste a la estructura financiera del proyecto mediante el re apalancamiento financiero, obteniendo una beta apalancada de:

Estructura financiera:

Deuda 57.65%

Patrimonio 42.35%

$D/E = 57.65\% / 42.35\% = 1.36$

Tasa impositiva = 35%

$Beta\ apalancada = 0.86 * (1 + (1 - 35\%) * (1.36)) = 1.62.$

Se integra la prima riesgo país, precisando que ante la alta sensibilidad macroeconómica del país la cual genera un riesgo estructural en el sector inmobiliario, se toma como referencia el indicador EMBI Colombia correspondiente al promedio de los últimos 12 meses, ayudando así a reflejar con un poco más de claridad las condiciones actuales del mercado, dando como dato un 3.04% tomado como referencia para el año base del estudio.

Tabla 1
Riesgo país EMBI

EMBI Promedio Colombia			
Últimos 10 Años		Últimos 12 Meses	
Mínimo	1,52	Mínimo	2,36
Máximo	5,22	Máximo	4,04
Promedio	2,72	Promedio	3,04

Nota. Promedio EMBI Colombia Últimos 10 años y 12 meses. Entorno Internacional (2026)

Con dichos datos identificados, se procedió a calcular el CAPM expresado como se muestra en la ecuación (3):

$$K_e = R_y + B (R_n - R_y) \quad (3)$$

La ecuación (3) permite calcular la rentabilidad mínima exigida por los accionistas (K_e), tomando como base la tasa libre de riesgo (R_y) más la prima de riesgo donde:

- K_e = Costo del capital de los accionistas
- B = Beta apalancado del proyecto
- R_m = rendimiento del mercado
- R_f = Tasa libre de riesgo

Siendo $K_e = 9.5\% + 1.62 (15.0\% - 9.5\%) + 3.04\% = 21.45\%$ E.A.

El costo de la deuda K_d se toma como referencia la tasa interés promedio del sector construcción para este tipo de proyectos, siendo 11.72% E.A. y considerando en el proceso integrar los impuestos para el correcto cálculo del K_d siendo:

$$K_d = 11.72\% * (1 - 0.35) = 7.61\%$$

Con la información anterior, se da paso a efectuar el respectivo cálculo del WACC:

$$WACC = 0.4235 * (0.2145) + (0.5765 * (0.0761) * (1 - 0.35)) = 11.94\%$$
 E.A.

La siguiente tabla resume la estructura óptima de capital calculada para el proyecto:

Tabla 2
Estructura óptima de capital

		Estructura Financiera		Tasa interés Sector Construcción Promedio 11,72%	
TES 10 años (E.A)	9.5%	Deuda	57,65%	Monto de deuda	\$974.914.542
COLCAP (2008-2025)	15.0%	Patrimonio	42,35%	EBIT Proyecto	\$8.126.335.000

Beta Desapalancado	0,86	D/E	1,36
Beta Apalancado	1,62	Tasa Impositiva	35%
Ke	21,45%	Prima de Riesgo EMBI	3,04%
Kd	7,61%	Inflación Esperada	5,03%
WACC	11,94%		

Nota. Calculo WACC para proyecto de nave industrial. Elaboración propia (2026) con datos de (Banco de la República, 2026) y (Davivienda Corredores, 2026)

Con un WACC equivalente a 11,94% es un resultado viable para el tipo de sector en que se encuentra ubicado el proyecto, además de que se consideraron variables de impacto económico como la prima de riesgo, el comportamiento de los TES (títulos de deuda) y el rendimiento del mercado bursátil COLCAP.

Partiendo de las variables halladas, al efectuar el cálculo correspondiente al valor presente del proyecto este se fijó a partir de la actualización de los ingresos y egresos del flujo libre integrando una tasa WACC del 11.94% E.A.

Considerando además el flujo de caja del proyecto como se muestra en la siguiente tabla, el cual presenta el comportamiento financiero que tendría el proyecto desde su ejecución hasta su correspondiente cierre final de venta de las naves industriales, considerando para los periodos 0 y 1, la respectiva inversión para la compra del lote como los costos directos e indirectos a ser asumidos para la ejecución de las operaciones en cada una de las fases establecidas dentro del proyecto.

Tabla 3
Flujo de caja proyectado

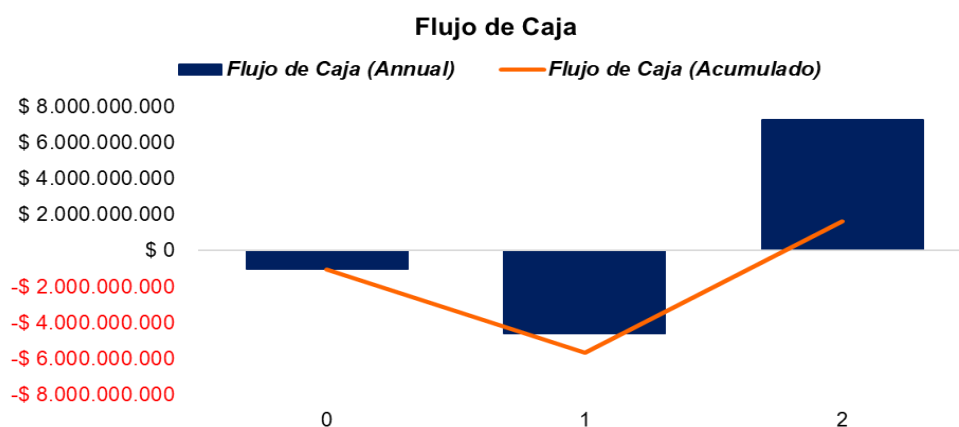
	0	1	2
Valor del Lote	\$884.776.000	\$0	\$0
Ingresos por ventas	\$0	\$0	\$8.126.335.000
Costos			
<i>Costos Directos</i>	\$0	\$3.908.870.000	\$0
<i>Costos Indirectos</i>	\$156.354.800	\$701.158.700	\$0

Flujo neto antes de impuestos	-\$ 1.041.130.800	-\$ 4.610.028.700	\$ 8.126.335.000
Impuestos (35%)			\$866.311.425
Flujo de Caja (Anual)	-\$ 1.041.130.800	-\$ 4.610.028.700	\$ 7.260.023.575
Flujo de Caja (Acumulado)	-\$ 1.041.130.800	-\$ 5.651.159.500	\$ 1.608.864.075

Nota. Proyección flujo de caja (ingresos – egresos) para proyecto de nave industrial. Elaboración propia (2026)

Para los periodos 0 - 1, se estima un flujo negativo equivalente a COP-\$1.041.130.800 y COP-\$4.610.028.700 respectivamente, esto debido al tipo de proyecto a ejecutarse el cual en estos primeros periodos no se tendrán ingresos, solo se estima la venta en el periodo 2 donde está equivaldría a COP\$8.126.335.000, descontando en este último año de operaciones los impuestos de COP\$866.311.425, se estimaría un resultado financiero final de COP\$7.260.023.575, pero al considerar que durante los primeros periodos se tiene un flujo negativo, se debe de observar más que todo el flujo de caja acumulado, el cual al final del último periodo el proyecto generaría un resultado neto de beneficios aproximado de COP\$1.608.864.075.

Figura 5
Flujo de Caja



Nota. Proyección flujo de caja (ingresos – egresos) para proyecto de nave industrial. Elaboración propia (2026)

Con dichos datos, el VPN se estima en:

Tabla 4
Calculo VPN

Factor descuento		VPN
Periodo 0	-	(\$1.041.130.800)
Periodo 1	1,1194	(\$4.118.349.256)
Periodo 2	1,2530	\$5.793.981.725
VPN Final		\$634.501.669

Nota. Elaboración propia (2026)

Valor presente de cada flujo

Año 0

$$VP_0 = \text{COP-}\$1.041.130.800$$

Año 1

$$VP_1 = \text{COP-}\$4.610.028.700 / 1.1194$$

$$VP_1 = \text{COP-}\$4.118.349.256$$

Año 2

$$VP_2 = \text{COP-}\$7.260.023.575 / 1.2530$$

$$VP_2 = \text{COP-}\$5.793.981.725$$

$$\text{VPN final} = \text{COP}\$634.501.669$$

Con un VPN final de COP\$634.501.669, se considera que el proyecto presenta una viabilidad favorable ante las condiciones económicas a nivel sectorial como también macroeconómicas del país. Esto indica, el poder estar frente a un proyecto capaz de generar valor al inversionista, donde una vez descontado el riesgo junto al costo de capital los flujos futuros al

ser traídos a valor presente para compararlos frente a la inversión inicial, se logra identificar la capacidad que se tiene tanto para recuperar la inversión como la generación de un excedente económico adicional, suponiendo esto un retorno superior a la rentabilidad mínima exigida.

La razón por la cual se ha de generar este cálculo para el proyecto de inversión inmobiliaria en naves industriales, obedece fundamentalmente a dar respuesta si este es capaz de generar valor económico, si se pone en marcha bajo un escenario base. Además de considerar este resultado como la lógica económica para determinar si el activo subyacente posee la base para generar beneficios cuando se induce a escenarios futuros con flexibilidad, fase fundamental en la construcción de las opciones reales. Es decir, el VPN es la base para medir el valor incremental de la flexibilidad cuando el activo se incorpora en una modelación de diversos escenarios bajo incertidumbre.

Dicho esto, la TIR se ubicó en 23.20%, convalidando la idea de la capacidad inmersa en el proyecto para la creación de valor.

Tabla 5

Calculo TIR, Payback y PI

TIR	23,20%
Payback	3 Years
Índice de Rentabilidad (PI)	1,61

Nota. Elaboración propia (2026)

A demás se está ante un periodo de recuperación de la inversión en un lapso de tres años. Siendo un escenario muy favorable desde el punto de vista financiero, por cuanto, se obtiene un rendimiento positivo en un corto a mediano plazo.

Es decir, llevar a cabo la puesta en marcha de este proyecto de inversión permite tener una brecha amplia sobre los costos de capital a asumir, por lo que, los inversionistas tienen la oportunidad de estar ante una inversión con un margen de rentabilidad positivo.

Por su parte el Índice de Rentabilidad (PI) se situó en 1.61 esto indica la capacidad del proyecto para generar valor, donde por cada COP\$1 peso invertido se alcanza a obtener COP\$1.61 en valor presente significando la generación de COP\$0.61 adicional de valor después de cubrir el costo de capital. Confirmando así de manera inicial como el proyecto permite recuperar la inversión realizada, creando a su vez un valor adicional para los inversionistas, esto permite tener un punto de partida sobre su viabilidad financiera.

Hasta este punto, es necesario considerar que dichos resultados bajo el escenario establecido indica únicamente una valoración bajo un enfoque tradicional, donde el proyecto se lleva a cabo bajo unos supuestos pasivos donde todo el escenario es favorable, es decir, no se incluye una flexibilidad sobre las variables. Es decir, no se incluyen escenarios de alta volatilidad o incertidumbre, donde el VPN pierde fuerza por cuando subestima el valor real inmerso en la inversión a realizarse, más aún, en un sector con mayor sensibilidad altamente cíclico frente a las condiciones económicas, presentando una alta dependencia del estado de los créditos influenciados por las variaciones en las tasas de intervención del banco de la república, requiere de un alto apalancamiento financiero, periodos de ejecución de los proyecto y en especial una fuerte dependencia del poder adquisitivo de la población.

Ante estos razonamientos, posteriormente se integrarán las opciones reales para evaluar el valor de cada decisión estratégica a tomarse dependiendo si se espera, expande, abandona o se realiza la combinación de las opciones presentes en el proyecto.

7.2.Modelación de inversiones mediante procesos estocásticos

Como se presentó anteriormente, el modelo determinista tradicional fundamentado en el VPN, TIR, PI y Payback, evidenciaron un escenario base que permite tener una idea más o menos clara sobre la situación financiera del proyecto de inversión de naves industriales, sin embargo, este escenario carece de peso para tomar decisiones claras sobre invertir, expandirse, esperar o rechazar la idea de llevar a cabo la ejecución de este.

Esto debido a la ausencia de un análisis más profundo donde se plantee un escenario donde se incluya la incertidumbre o aleatoriedad de variables para identificar los niveles de flexibilidad a los cuales se puede someter el proyecto, para mostrar diversos resultados que conduzcan a una toma de decisiones de inversión con un sólido criterio del valor subyacente del activo.

Lo mencionado obedece a los cambios generados a lo largo del tiempo de cada una de las variables a incluirse en el proceso de modelación, tal como es el caso de la tasa de rentabilidad la cual su valor normal no es estable a lo largo del tiempo, esta puede fluctuar ante cambios en las condiciones económicas o ante escenarios de incertidumbre geopolíticas, es aquí, donde se ha de considerar que los proyectos de inversión están expuestos a escenarios de incertidumbre donde se generarían una mayor amplitud de sucesos más allá de los previamente considerados inicialmente, esto claramente induce a considerar que los mercados no siempre estarán en periodos de consolidación, por el contrario los ciclos son susceptibles a moverse en una u otra dirección.

Por ende, el proyecto de inversión bajo estudio se puso a prueba bajo procesos estocásticos para lograr identificar los mejores escenarios probables donde se puede esperar, expandir o abandonar, considerando que este no es una caja negra donde se acepta su aplicabilidad al conocer únicamente previsiones insesgadas de los flujos de caja y un VPN estático. Para lo cual,

se hizo uso de la identificación de diversas variables como la volatilidad al igual que la simulación Montecarlo para entender a profundidad aquellos escenarios en los cuales el proyecto funciona mejor y en cuales podría fracasar, esto ayuda a tomar una decisión donde se podrían generar cambios que permitan resolver la incertidumbre cuando esta se llegue a presentar.

En este caso, la aplicación de la simulación Montecarlo permitió generar un análisis de 10.000 combinaciones posibles, permitiendo conocer una distribución más completa de los resultados a obtenerse a futuro.

A continuación, se presentan las variables empleadas para efectuar la modelación financiera:

Tabla 6

Supuestos de modelación

<i>Variable</i>	<i>Valor</i>
Ingreso esperado	\$ 8.126.335.000
Costos construcción	\$ 3.908.870.000
Costos indirectos	\$ 857.513.500
Valor Lote	\$ 884.776.000
Inversión total	\$ 5.651.159.500
WACC	11,94%
Años proyecto	2
Crecimiento esperado	5%
Área total mt2	2.057,3
Precio Venta mt2	\$ 3.950.000
Costo Construcción mt2	\$ 2.316.815

Nota. Elaboración propia (2026)

Como se aprecia, se determinaron una serie de variables como los ingresos esperados, los costos inmersos en el proyecto, al igual que el WACC y en especial la volatilidad, la cual se hayo bajo la identificación previa de los precios promedio de venta m2 de los parques industriales en el Valle del Cauca, a nivel de zonas como Acopi, Yumbo, Palmaseca y otros, los cuales de acuerdo con la gestora de activos inmobiliarios en Latinoamérica MTS (2026) se situaron en:

Tabla 7
Precios de Venta m2

Precios de Venta m2 - Informes de MTS cada m2 cuenta						
Año	Acopi	Yumbo	Palmaseca	Otros	Precio Promedio	Nota: ☒ Serie con dinámica continua ☒ Enfoque en una sola metodología ☒ Datos de 5 años continuos ☒ Datos de varios submercados
2021	\$2.700.000	\$2.550.000	\$2.800.000	\$2.500.000	\$2.637.500	
2022	\$2.384.250	\$2.339.370	\$2.384.250	\$2.187.900	\$2.323.943	
2023	\$2.280.233	\$2.329.100	\$2.332.200	\$2.179.400	\$2.280.233	
2024	\$3.120.500	\$2.771.233	\$2.553.150	\$1.890.450	\$2.583.833	
2025	\$3.259.259	\$2.840.880	\$2.800.000	\$1.890.450	\$2.697.647	
Promedio submercado	\$2.748.848	\$2.566.117	\$2.573.920	\$2.129.640		

Nota. Elaboración propia (2026) datos MTS (2026)

Pero en este punto, se ha de hacer un análisis diferente para poder generar una mayor aproximación real a los precios del mercado, esto por cuanto, los informes técnicos que realizan ya sea instituciones privadas o públicas se efectúan desde los promedios generales del mercado o nicho en específico. Esto ocasiona una distorsión parcial sobre los indicadores al emplearse en casos puntuales de valoración, por lo que, en el caso de estudio se ha de considerar que cada nave industrial en el mercado presenta diferencias a nivel de las especificaciones técnicas en su construcción, esto da lugar a la necesidad de realizar un ajuste sobre el precio de venta mt2, con el propósito de equiparar los datos obtenidos del mercado; con el tipo de nave industrial que se está desarrollando en el proyecto.

El proceso que se implementó para lograr dicho ajuste en los precios de venta mt2, parte de la lógica de lograr la determinación del Factor de Especificación Técnica, realizándose a partir de las bases teóricas de los Precios Hedónicos, proceso el cual equiparara los precios de mercado al valor lo más real posible del tipo de nave industrial que se está trabajando en el proyecto de inversión. Sumado a ello, se ha de tener presente que el valor de un activo inmobiliario industrial

no es en sí una unidad indivisible, sino la suma de sus características específicas tales como la altura, resistencia de pisos, red contra incendios, cadena de frío entre otras.

Por lo que, el nivelar aquellas asimetrías presentes en los reportes de mercado genéricos los cuales no desagregan el precio por tipo de nave industrial y la realidad técnica manejada en el proyecto, se opta por integrar un modelo de Normalización Lineal Min-Max, permitiendo transformar variables cualitativas en un índice cuantitativo. Este proceso permite que el ajuste final refleje lo más cercano posible la plusvalía técnica del activo especializado del proyecto sin distorsionar valores de mercado ya sea en Yumbo o Acopi o cualquier otra zona franca.

Tabla 8

Precios de Venta m2

Factor de especificación técnica						
Tipo de nave	Características	Factor	Coefficiente de Ponderación	Proporción (sin W)	W	Factor normalizado
Básica	Sin instalaciones complejas	0,65	0,50	0,15	0,345	0,05
Estándar – Industrial	Muelles, circulación, altura, equipos, cargas, redes	0,80	0,35	0,59		0,20
Especializada	Refrigeración, procesos, alta tecnología	0,99	0,15	1,15		0,40
		Promedio		1,88		0,22
	Mínimo técnico observado	0,65				
	Máximo técnico observado	0,99				
	Rango Dinámico	0,34				
	N	0,6				

Nota. Elaboración propia (2026)

Con el cálculo establecido se logra obtener como factor de especificación técnica un 0,22 como dato para ajustar los precios de venta mt2.

Tabla 9*Precios de Venta m2 ajustados método Lineal Min-Max*

Año	Acopi	Yumbo	Palmaseca	Otros	Precio Promedio
2021	\$3.285.000	\$3.102.500	\$3.406.667	\$3.041.667	\$3.208.958
2022	\$2.900.838	\$2.846.234	\$2.900.838	\$2.661.945	\$2.827.463
2023	\$2.774.283	\$2.833.738	\$2.837.510	\$2.651.603	\$2.774.284
2024	\$3.796.608	\$3.371.667	\$3.106.333	\$2.300.048	\$3.143.664
2025	\$3.965.432	\$3.456.404	\$3.406.667	\$2.300.048	\$3.282.137
Promedio submercado	\$3.344.432	\$3.122.109	\$3.131.603	\$2.591.062	

Nota. Elaboración propia (2026) con datos MTS (2026)

Con estos datos, se genera el proceso de cálculo de la volatilidad a partir de los rendimientos logarítmicos anualizados para identificar su posterior desviación estándar.

Tabla 10*Calculo Volatilidad*

Volatilidad				
Precio Promedio				
Año	Precio Promedio venta m2		Rendimientos Logarítmicos	σ
2021	\$	3.208.958		
2022	\$	2.827.463	-	0,1266
2023	\$	2.774.284	-	0,0190
2024	\$	3.143.664		0,1250
2025	\$	3.282.137		0,0431
				10,60%

Volatilidad del proyecto

Precio Promedio	10,60%
Promedio Submercados	12,43%

Escenarios Precios m2 Mercado

Min	\$	2.429.302
Promedio mercado	\$	3.426.233
Max	\$	3.690.271

Nota. Elaboración propia (2026) con datos MTS (2026)

Se obtuvo una volatilidad anual equivalente a 10,6% la cual se utilizará como parámetro de estudio para el proceso de modelación de la simulación Montecarlo.

Sumado a lo anterior, se determinaron los costos de construcción m2, para integrar en la simulación escenarios de incertidumbre que impacten la volatilidad general del proyecto como tal, para identificar su capacidad de flexibilidad en el proceso de generación de valor.

Los datos hallados en los costos de construcción, se construyen a partir de los informes del mercado inmobiliario MTS (2026) al igual que lo mencionado por Camark (2026), y en especial en el uso del índice de costos de construcción de edificaciones (ICOCED) para el subsector de las bodegas del DANE (2026).

Donde se identificaron unos costos de construcción m2 inicial para Cali y Jamundí en el periodo 2025, a los cuales se les aplica un proceso de regresión a partir del dato de mayor relevancia en el mercado de COP\$1.200.000 empleando el índice ICOCED para bodegas, proceso en el cual se determina el escenario base para generar una proyección ajustada para cada submercado trabajado como es Acopi, Yumbo, Palmaseca y otros, esto para generar un escenario real sobre los precios predominantes en el mercado.

Igualmente, para potenciar la realización del ajuste en los costos construcción mt2, se toma como referencia en el cálculo el IPP construcción (materiales de construcción) del DANE, generando un proceso de equiparación aproximada de los costos del mercado con los del proyecto, partiendo siempre de la premisa de que cada nave industrial en el mercado es diferente por sus características técnicas de construcción.

$$P_t = P_{2025} \times (\text{Índice}_t / \text{índice}_{2025})$$

$$P_{2024} = \text{COP\$}1.200.000 \times (125.38 / 132.85) = \text{COP\$}1.132.525$$

$$P_{2023} = \text{COP\$}1.132.525 \times (120.23 / 132.85) = \text{COP\$}1.024.942$$

$$P_{2022} = \text{COP\$}1.024.942 \times (110.83 / 132.85) = \text{COP\$}855.034$$

$$P_{2021} = \text{COP\$}855.034 \times (101.26 / 132.85) = \text{COP\$}651.711$$

Tabla 11*Precios de Venta m2*

Costo de Construcción m2 Cali / Jamundí		Escenario Base	
	\$ 800.000 \$ 1.200.000	2021	\$ 651.711
		2022	\$ 855.034
		2023	\$ 1.024.942
		2024	\$ 1.132.525
		2025	\$ 1.200.000
Número índice ICOCED Bodegas		Promedio	\$ 972.842
	2021 101,26		
	2022 110,83		
	2023 120,23		
	2024 125,38		
	2025 130,51		
	2026* 132,85		
		Ajuste por submercado industrial	
		Acopi	7%
		Yumbo	6%
		Palmaseca	6%
		Otros	5%

*enero último dato disponible

Nota. Elaboración propia (2026) datos MTS (2026)

A partir de estos datos, se hace la integración del ajuste por IPP construcción e índice de submercado industrial:

Tabla 12*Costos construcción mt2 ajustados con IPP Construcción*

IPP construcción			
	2021	132,55	1,84
	2022	151,16	1,96
	2023	152,70	1,97
	2024	155,73	1,99
	2025	155,28	1,99
	2026*	156,99	2,00
*enero último dato disponible			
Escenario Base			
Costos ajustados			
2021	\$	651.711	\$ 1.201.965
2022	\$	855.034	\$ 1.678.315
2023	\$	1.024.942	\$ 2.021.876

2024	\$	1.132.525	\$	2.255.961
2025	\$	1.200.000	\$	2.386.929
Promedio		\$	\$	1.909.009

Nota. Elaboración propia (2026) con datos MTS (2026)

Al ajustar el escenario base por medio del IPP se logra acercar parcialmente los costos de construcción mt2 a la realidad del tipo de nave industrial que se esta abordando en el estudio, dicho ajuste se ejecuta de la siguiente forma:

Costo ajustado IPP Construcción = Escenario base * (IPP Construcción Año actual / IPP Construcción año base 2026) + 1

Costo ajustado IPP Construcción 2021 = COP\$651.711 * (132.55 / 156.99) + 1 =
COP\$1.201.956

Costo ajustado IPP Construcción 2022 = COP\$855.034 * (151.16 / 156.99) + 1 =
COP\$1.678.315

Costo ajustado IPP Construcción 2023 = COP\$1.024.942 * (152.70 / 156.99) + 1 =
COP\$2.021.876

Costo ajustado IPP Construcción 2024 = COP\$1.132.525 * (155.73 / 156.99) + 1 =
COP\$2.255.961

Costo ajustado IPP Construcción 2025 = COP\$1.200.000 * (155.28 / 156.99) + 1 =
COP\$2.386.929

Con estos datos se evidencia un acercamiento más acorde a la realidad del mercado, pero para aproximar los datos a un escenario más puntual se realiza el ajuste por submercado industrial:

$Acopi_{2025} = (Escenario\ base_{2025} * Ajuste\ por\ submercado\ industrial) + Escenario\ base_{2025}$

$$Acopi_{2025} = COP\$2.386.929 * (1 + 7\%) = COP\$2.554.014$$

$$Acopi_{2024} = COP\$1.132.525 * (1 + 5\%) = COP\$2.413.878$$

Este proceso se realiza para cada periodo, al igual para cada submercado con los respectivos datos correspondientes.

De acuerdo con Damodaran (2009) las inversiones inmobiliarias individuales, presentan una connotación especial y es que el calcular la volatilidad no es igual a como se determina en empresas o sectores que tienen mayor presencia en la bolsa de valores donde los precios están disponibles en periodos más prolongados de tiempo, por lo tanto, se hace necesario recurrir a índices de precios disponibles como el ICOCED para determinar los parámetros de volatilidad para el sector inmobiliario en especial cuando se trabaja en subsectores en específico, producto de que no todos los activos inmobiliarios tienen un comportamiento igual.

Tabla 13

Costos Construcción mt2 Ajustados realidad del mercado

Año	Costos Construcción mt2				
	Acopi	Yumbo	Palmaseca	Otros	Precio Promedio
2021	\$1.286.103	\$1.274.083	\$1.274.083	\$1.262.064	\$1.274.083
2022	\$1.795.797	\$1.779.014	\$1.779.014	\$1.762.231	\$1.779.014
2023	\$2.163.407	\$2.143.188	\$2.143.188	\$2.122.969	\$2.143.188
2024	\$2.413.878	\$2.391.319	\$2.391.319	\$2.368.759	\$2.391.319
2025	\$2.554.014	\$2.530.145	\$2.530.145	\$2.506.276	\$2.530.145
Promedio submercado	\$2.042.640	\$2.023.550	\$2.023.550	\$2.004.460	

Escenarios Costos Construcción m2 Mercado

Min	\$ 1.262.064
Promedio mercado	\$ 2.023.550
Max	\$ 2.554.014

Nota. Elaboración propia (2026) datos MTS (2026)

En este punto es necesario mencionar que tanto precios de venta mt2 como costos de construcción mt2 en zonas industriales varía en función de diversos factores como llegan a ser

tamaño, diseño, tipo de adecuaciones, zonificación, regulaciones, potencial para expansión, todo esto desde la lógica del tipo de bodega o nave, ya sea de almacenamiento, de producción, de distribución logística, frigorífica entre otras.

Identificados las variables expuestas anteriormente se determina el comportamiento que tendría el valor del proyecto mediante la simulación Montecarlo, el cual se desarrolló planteando 10.000 simulaciones dando como resultado lo siguiente.

En este punto, se ha de mencionar que se ejecutó un ajuste híbrido por medio de la volatilidad de mercado la cual fue de 10.60% integrándola de manera técnica en la definición de los límites (Min y Max) del Precio m2 industrial como también de los costos, que se emplearon en la simulación Montecarlo, es decir, este ajuste en los valores de las variables que alimentan el proceso de simulación permitirán identificar como oscilan los 10.000 escenarios del valor presente del proyecto, asimismo se realiza el cálculo correspondiente al rendimiento logarítmico, para iniciar con el cálculo de la volatilidad.

Tabla 14
Simulación Montecarlo

Simulación Montecarlo				
Variable	Min	Más Probable	Max	
Precio m2 industrial	\$2.171.694	\$3.789.557	\$4.081.594	VERDADERO
Costo construcción	\$1.395.895	\$2.238.131	\$2.824.847	VERDADERO
Valor proyecto	\$4.467.826.370	\$7.796.255.925	\$8.397.063.782	VERDADERO
Promedio	\$5.854.159.671			
StDesv	\$523.584.212			
Mínimo	\$3.935.443.241	Escenario Pesimista		
P5	\$4.851.297.451			
P10	\$5.090.168.510			
P15	\$5.268.601.198			
P20	\$5.409.283.011			
P25	\$5.524.517.621			
P30	\$5.618.502.195			
P35	\$5.709.646.226			
P40	\$5.793.814.041			

P45	\$5.871.106.495	Valor Esperado
P50	\$5.936.807.663	
P55	\$6.007.526.847	
P60	\$6.072.283.166	
P65	\$6.139.502.645	
P70	\$6.203.726.490	Escenario Optimista
P75	\$6.271.834.226	
P80	\$6.335.921.508	
P85	\$6.403.733.226	
P90	\$6.477.198.238	
P95	\$6.558.063.172	
Máximo	\$6.697.524.755	

Histograma (20 intervalos)

Min	\$3.935.443.241
Max	\$6.697.524.755

Parte superior del Recuento

Contar	Ancho del contenedor	138104075,7	Curva - S (VPN)	
			P	Valor
\$4.073.547.317	3		0	\$3.935.443.241
\$4.211.651.393	20		0,05	\$4.851.297.451
\$4.349.755.469	35		0,1	\$5.090.168.510
\$4.487.859.544	50		0,15	\$5.268.601.198
\$4.625.963.620	97		0,2	\$5.409.283.011
\$4.764.067.696	157		0,25	\$5.524.517.621
\$4.902.171.771	228		0,3	\$5.618.502.195
\$5.040.275.847	286		0,35	\$5.709.646.226
\$5.178.379.923	344		0,4	\$5.793.814.041
\$5.316.483.998	439		0,45	\$5.871.106.495
\$5.454.588.074	527		0,5	\$5.936.807.663
\$5.592.692.150	674		0,55	\$6.007.526.847
\$5.730.796.226	775		0,6	\$6.072.283.166
\$5.868.900.301	851		0,65	\$6.139.502.645
\$6.007.004.377	1011		0,7	\$6.203.726.490
\$6.145.108.453	1047		0,75	\$6.271.834.226
\$6.283.212.528	1050		0,8	\$6.335.921.508
\$6.421.316.604	1033		0,85	\$6.403.733.226
\$6.559.420.680	879		0,9	\$6.477.198.238
\$6.697.524.755	494		0,95	\$6.558.063.172
			1	\$6.697.524.755

Nota. Elaboración propia (2026)

Tabla 15*Tabla de Estadística Simulación Montecarlo*

Tabla de Estadística	
Media	5866899224
Error típico	5295523,542
Mediana	5958161099
Moda	#N/D
Desviación estándar	529525876
Varianza de la muestra	2,80398E+17
Curtosis	0,000600508
Coefficiente de asimetría	-0,721891277
Rango	2808421010
Mínimo	3891043741
Máximo	6699464751
Suma	5,86631E+13
Cuenta	9999
Nivel de confianza (95,0%)	10380292,07

Nota. Elaboración propia (2026)

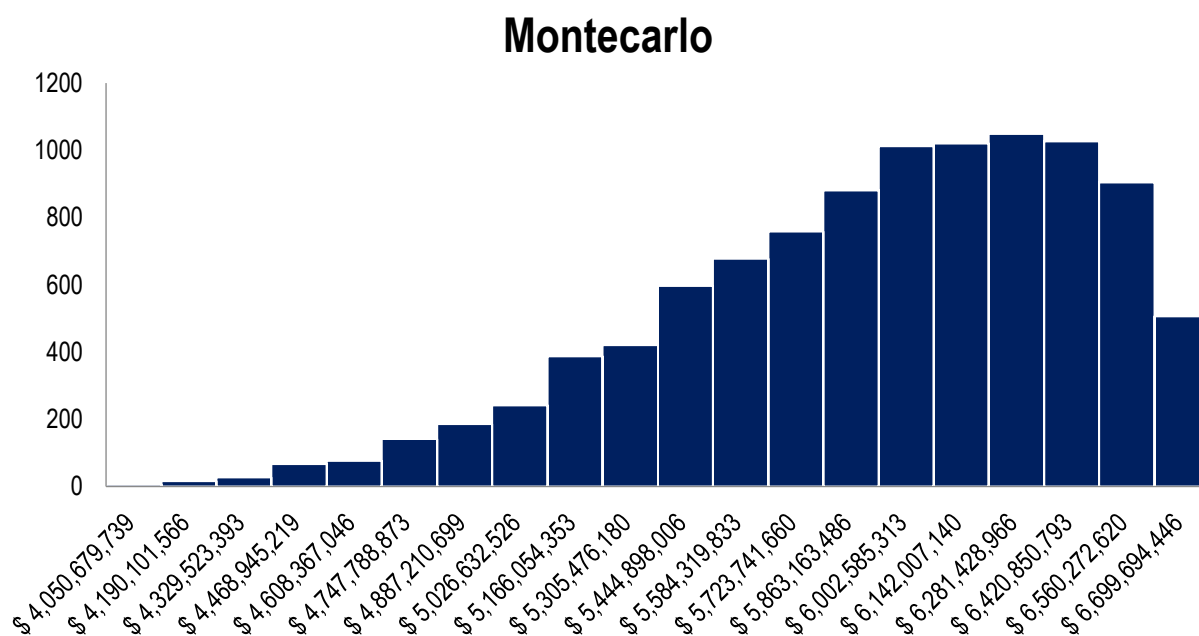
Al efectuar el análisis de los resultado alcanzados mediante la simulación Montecarlo, se logra evidenciar que el proyecto de inversión inmobiliaria de naves industriales bajo estudio obtiene una serie de distribuciones variables a lo largo del tiempo del VPN, es decir el VPN se simula bajo diferentes escenarios probables, donde se ve que la tendencia del valor esperado es positiva, con un rango de valores entre COP\$3.848.419.836 y COP\$6.696.704.932, con un promedio equivalente a COP\$5.865.057.396.

Igualmente la simulación Montecarlo, permite generar los percentiles necesarios para identificar los escenarios a integrarse en el árbol binomial de las opciones reales, en donde el percentil P10 escenario pesimista se ubicó en COP\$5.126.209.424, el P50 Valor esperado se

situó en COP\$5.949.653.744 y el P90 escenario optimista fue de COP\$6.481.684.354, sin embargo se ha de tener presente la existencia de un riesgo significativo producto de la dispersión de los resultados en especial la volatilidad del mercado en que se encuentra ubicado el proyecto.

Ante esto es necesario abordar a profundidad el estudio, ya que, la decisión de inversión a tomarse dependerá en gran medida en la forma como se logre generar una tolerancia al riesgo es decir la capacidad del proyecto para afrontar choques internos y externos que afecten su puesta en marcha o la capacidad financiera proveniente de apalancamiento (deuda) o inyecciones de capital de los socios para sostener su ejecución. Asimismo, se ha de vigilar el comportamiento del costo de capital y la flexibilidad de este para adaptarse a los cambios en los ciclos de mercado.

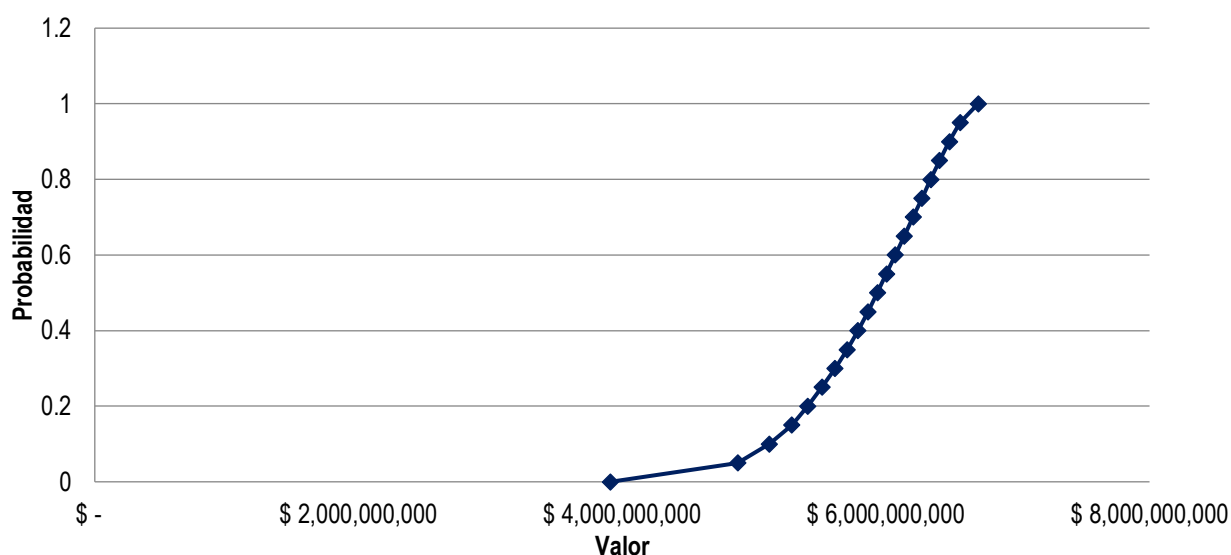
Figura 6
Histograma Simulación Montecarlo



Nota. Elaboración propia (2026)

Como se observa en el histograma la distribución obtenida es simétrica, lo que indica una ausencia prevaleciente de sesgos extremos en los resultados los cuales pueden conducir al proyecto a escenarios de VPN negativos o altamente optimistas, esto quiere decir que se está ante un proyecto con una estructura financiera flexible para adaptarse a las condiciones actuales del mercado, dicho de otra forma la relación riesgo retorno equilibrado donde la incertidumbre genera una afectación moderada sobre el valor esperado.

Figura 7
Distribución Acumulativa Simulación Montecarlo



Nota. Elaboración propia (2026)

Desde la perspectiva probabilística como se muestra en la figura de distribución acumulativa, se evidencia que el proyecto presenta un riesgo de *downside* aproximado del 20% lo cual expresa el escenario en donde se podría obtener valores inferiores de forma significativa, por debajo de COP\$5.414.920.331, esto indica que si el proyecto se enfrenta a diversos choques o se presentan cambios en las variables empleadas para el proceso de simulación como pueden

llegar a ser menores precios de venta mt2, incrementos en los costos mt2, así como afectaciones sobre la volatilidad, existe una probabilidad del 20% de generar un cambio de tendencia en el VPN llevándolo a resultados de mayor volatilidad negativa.

En cuanto al potencial *upside* de valorización, el proyecto obtiene un 15% de alcanzar valores superiores a COP\$6.403.509.920, esto indica una limitación de obtención de valores superiores por lo que, se deduce que el proyecto tiene limitantes con las condiciones actuales tanto económicas como de mercado de generar un mayor valor agregado.

Con los datos analizados, se evidencia como el proyecto se encuentra propenso a una incertidumbre considerable, como se ha mencionado al estar en un sector muy volátil a causa de factores como la dependencia del mercado influenciado por los cambios en la demanda, tipos de interés, tendencias del mercado, recesiones económicas, comportamiento inflacionario, devaluación o revaluación de la divisa, riesgo país, factores políticos, entre otros, el valor esperado es afectado.

En términos generales, lo anterior se resume en:

- La inversión del proyecto inmobiliario en naves industriales presenta un retorno esperado moderado – alto.
- La volatilidad se ajusta a la realidad de los activos inmobiliarios.
- El riesgo se puede controlar con las condiciones actuales económicas y de mercado.
- Los escenarios analizados *downside* y *upside* permie ver una distribución simétrica.
- La probabilidad de existencia de una cola de riesgo que afecte el valor del proyecto es baja.
- La destrucción de valor en la simulación es muy baja con las variables actuales.

- El nivel de incertidumbre es moderado con una probabilidad positiva de obtener resultados favorables para los inversionistas.
- Bajo el escenario *downside* el proyecto no presenta capacidad de colapsar.
- En el contexto upside se evidencian escenarios favorables.
- La incertidumbre puede ser manejable.

Con la simulación de Montecarlo se logra generar como lo expone (Zapata, C., 2020) a partir del planteamiento de Copeland y Antikarov (2001) establecer un enfoque de estimación de la volatilidad bajo el efecto de las diferentes fuentes de incertidumbre que impactan el proyecto a nivel de precios, costos, variables macroeconómicas entre otras, al igual las correlaciones implícitas entre ellas. Por lo tanto, bajo el establecimiento de los escenarios en Montecarlo se captura en una sola estimación desde la desviación estándar de los retornos logarítmicos del valor presente del proyecto la volatilidad a emplearse en el árbol binomial, para el respectivo cálculo de las opciones reales.

Tabla 16

Tabla de Estadística Simulación Montecarlo

σ	13,36%
----------	--------

Nota. Elaboración propia (2026)

Como se logra apreciar la volatilidad hallada por medio de la Simulación Montecarlo, se situó en 13.36% no muy lejos a la volatilidad generada por los precios del mercado la cual fue de 10.6%, presentando una leve diferencia de 2.76% entre ambas, esto indica una consistencia a nivel metodológico en las estimaciones de la volatilidad. Como se mencionó desde una perspectiva financiera más profunda el calcular la volatilidad por medio de Montecarlo se

reconstruye la incertidumbre conjunta de múltiples variables, más allá de únicamente la volatilidad de los precios de venta mt_2 , obteniéndose así una medida más integral para comprender el riesgo económico que puede afectar la viabilidad de inversión en el proyecto.

Se ha de mencionar, tener mucha capacidad de análisis al momento de calcular la volatilidad por medio de Montecarlo, ya que, al construir un modelo de opciones reales por árbol binomial se están integrando otros indicadores como la tasa libre de riesgo, en donde si se obtiene una volatilidad por debajo de dicha tasa el árbol binomial se impactará negativamente llegando al punto de dejar de generar resultados económicamente consistentes. Esto a causa, de afectar las condiciones fundamentales que caracterizan el modelo de valoración neutral al riesgo, donde se integran factores de subida y bajada, como se expondrá más adelante al establecer el modelo Cox et al. (1979), donde se establece como pilar para lograr un modelo matemáticamente válido, los factores u y d no han de convergen de manera excesiva hacia 1, situación que se presenta cuando se obtiene una volatilidad muy baja, es decir, este dato genera presión al comprimir la dispersión estocástica del activo, llevándolo a un escenario donde la valoración es inconsistente, por cuando el modelo binomial depende exclusivamente de interactuar bajo escenarios diferenciados donde la asignación de la probabilidad natural del riesgo y el descuento de flujos sea coherente.

Copeland et al. (2001), consideran que una volatilidad baja, ocasiona que el valor estratégico de esperar, expandir o abandonar desaparezca, provocando un árbol binomial sin capacidad para capturar flexibilidad económica. Convirtiendo la inversión del proyecto en un flujo determinístico como calcular un VPN, dejando de ser un activo con opcionalidad para tomar la decisión de inversión ante el comportamiento de diversos escenarios bajo incertidumbre.

7.3. Análisis de las opciones reales basada en árbol binomial

A continuación, se hace el abordaje del análisis correspondiente al árbol binomial, en el cual se consideró que los flujos de caja esperados no son los únicos determinantes del valor del proyecto. Por el contrario, es necesario realizar un abordaje desde la flexibilidad gerencial para generar procesos de adaptación ante el comportamiento de la incertidumbre en cada escenario al cual se puede ver inmerso el proyecto de inversión.

Para realizar la construcción del árbol binomial, se llevó a cabo la modelación de la evolución del valor del proyecto (S_n), integrar la flexibilidad para determinar si se realiza o no la inversión, además de valorar la flexibilidad como una opción real.

La siguiente tabla muestra cómo se empieza a configurar el modelo del árbol binomial CRR establecido por Cox et al. (1979), donde se calculan las variables que indican el comportamiento del proyecto, la variación del riesgo y el comportamiento del valor monetario en el tiempo.

Tabla 17

Parámetros para modelación árbol binomial

Variable	Significado	P50 → Base
S_0	valor actual proyecto	\$5.942.921.552
I	Inversión	\$5.651.159.500
σ	Volatilidad	13,36%
r	tasa libre de riesgo	9,50%
T	Horizonte	2 Años
n	pasos del árbol	5
Δt	Paso temporal	0,4
u	Factor subida	1,0882
d	Factor bajada	0,9190
p	Probabilidad neutral al riesgo	0,707735284
	factor de descuento	0,962712941

Nota. Elaboración propia (2026)

A partir del proceso de formulación integrando la volatilidad, se logra identificar los escenarios o factores de subida (u) y bajada (d), los cuales permiten identificar el comportamiento estocástico donde la volatilidad influye en el valor del proyecto.

$$\text{Donde } u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

$$u = e^{13.36\%\sqrt{1}} = 1.0881$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

$$d = e^{-13.36\%\sqrt{1}} = 0.9190$$

$$p = e^{r\sqrt{\Delta t}} - d / u - d$$

$$p = e^{9.5\%\sqrt{1}} - 0.9190 / 1.0881 - 0.9190 = 0,707890604$$

$$\text{Factor de descuento} = e^{-r\sqrt{\Delta t}}$$

$$\text{Factor de descuento} = e^{-9.5\%\sqrt{1}} = 0,962712941$$

Con el cálculo realizado de las variables anteriores, se logra establecer las bases para calcular el valor del proyecto para cada uno de los escenarios dentro del árbol binomial y el valor de ejercer o no la inversión como se presenta a continuación.

Tabla 18

Valor futuro bajo incertidumbre y valor de ejercer la inversión P50 → Base

Rama	Sn (Valor Futuro Bajo Incertidumbre)	Payoff (Valor de ejercer la inversión)	Binomial
0	9.072.698.365	3.421.538.865	0,177758648150
1	7.662.473.938	2.011.314.438	0,366758444715
2	6.471.449.231	820.289.731	0,302684022792
3	5.465.552.704	0	0,124901851578
4	4.616.008.763	0	0,025770227949
5	3.898.514.579	0	0,002126804816

Nota. Elaboración propia (2026)

Como se presenta, el S_n valor futuro bajo incertidumbre indica lo que es el precio del activo subyacente del proyecto, el cual se calculó de la siguiente manera:

$$S_{n0} = S_0 * u^{(t-rama)} * d^{rama}$$

$$S_{n0} = 5.947.272.219 * 1.0881^{(5-0)} * 0.9190^0 = 9.072.698.365$$

$$S_{n1} = 5.947.272.219 * 1.0881^{(5-1)} * 0.9190^1 = 7.662.473.938$$

$$S_{n2} = 5.947.272.219 * 1.0881^{(5-2)} * 0.9190^2 = 6.471.449.231$$

$$S_{n3} = 5.947.272.219 * 1.0881^{(5-3)} * 0.9190^3 = 5.465.552.704$$

$$S_{n4} = 5.947.272.219 * 1.0881^{(5-4)} * 0.9190^4 = 4.616.008.763$$

$$S_{n5} = 5.947.272.219 * 1.0881^{(5-5)} * 0.9190^5 = 3.898.514.579$$

En el caso del Payoff valor de ejercer la inversión, se tiene:

$$\text{Payoff} = \max (S_n - I, 0)$$

$$\text{Payoff}_0 = \max (9.072.698.365 - 5.651.159.500; 0) = 3.421.538.865$$

$$\text{Payoff}_1 = \max (7.662.473.938 - 5.651.159.500; 0) = 2.011.314.438$$

$$\text{Payoff}_2 = \max (6.471.449.231 - 5.651.159.500; 0) = 820.289.731$$

$$\text{Payoff}_3 = \max (5.465.552.704 - 5.651.159.500; 0) = 0$$

$$\text{Payoff}_4 = \max (4.616.008.763 - 5.651.159.500; 0) = 0$$

$$\text{Payoff}_5 = \max (3.898.514.579 - 5.651.159.500; 0) = 0$$

Estos Payoff dicho de otra forma la opción real del proyecto, establece los escenarios en que se toma la decisión de realizar la inversión si el escenario obtenido es favorable, teniendo la

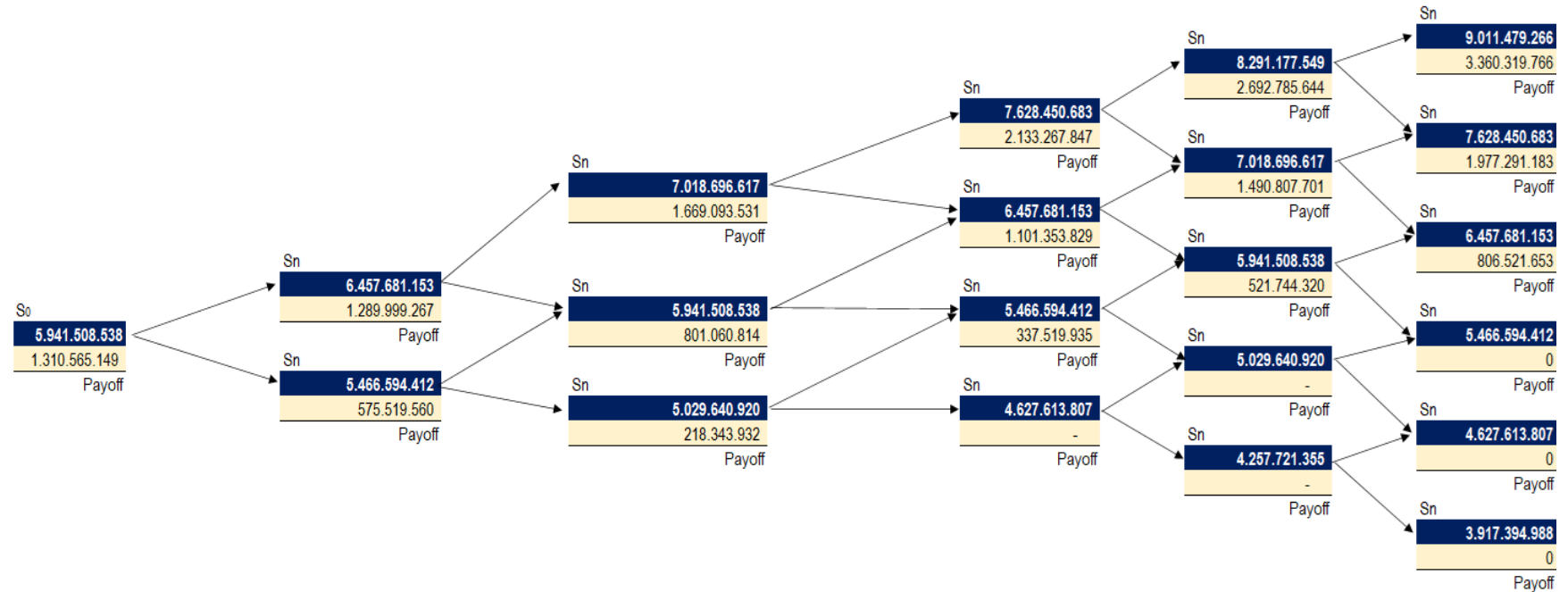
capacidad para eliminar aquella exposición a la obtención de pérdidas cuando se dé lugar a contextos adversos, esto quiere indicar como la capacidad de inversión no es una obligación de ser llevada a cabo sin conocer a profundidad los diversos escenarios a los cuales podría exponerse el proyecto, dando como condición para ejercer la inversión si se conocer la capacidad de creación de valor.

Como se evidencia, los escenarios obtenidos en el Payoff demuestran que el proyecto presenta valores positivos considerables, producto de las condiciones de mercado planteadas. Es decir, el proyecto tiene la capacidad de generar valor frente a la inversión inicial a realizarse. Cuando el proyecto se enfrenta a escenarios intermedios sigue presentando un valor positivo, pero empieza a evidenciarse un agotamiento en su capacidad para sostener la generación de valor a lo largo del tiempo, esto se evidencia cuando se llega a escenarios de alta incertidumbre en donde se genera una convergencia a cero, es aquí donde se pierde el atractivo de inversión, tomando la decisión de espera o de abandono.

Para ver a profundidad el comportamiento general del proyecto, se presenta el árbol binomial.

Figura 8

Opciones reales basadas en el Árbol binomial P50



Nota. Elaboración propia (2026)

Como se aprecia el árbol binomial representa el proceso evolutivo del valor del proyecto a lo largo del horizonte de tiempo analizado, el cual se estableció en 5 años, con un S_0 de \$5,941,508.538, con una volatilidad de 13.36%, un factor de subida 1.0869 y de bajada 0.9201, variables las cuales permiten generar múltiples escenarios probables donde se capturan la incertidumbre del mercado.

Con cada uno de los nodos establecidos, se evidencia que el árbol binomial evoluciona hacia valores superiores al S_0 llegando a un nivel máximo en el S_5 de COP\$9.011.479.266, llegando a obtener en ese periodo en una situación extrema donde predomine la incertidumbre a un valor de COP\$3.917.394.988, esto evidencia como se aprecia en el quinto nodo una dispersión significativa entre los valores obtenidos. Esto demuestra que es indispensable abordar el análisis de las inversiones desde un enfoque estocástico donde se integra la volatilidad, riesgos o incertidumbre en lugar de emplear modelaciones deterministas caracterizadas por resultados estáticos que no reflejan la situación futura del mercado.

En el escenario determinado se detalla como cada nodo del árbol además de incorporar el valor más favorable a obtenerse S_n , se detalla asimismo la opción real de ejercer la opción (Payoff), en el caso del escenario más favorable el payoff se situó en COP\$3.360.319.766, en el escenario de menor favorabilidad el Payoff fue COP\$0, reflejando así que existen momentos en los que el proyecto tiene una asignación significativa para crear valor.

Con la estructura planteada, se pudieron establecer escenarios de crecimiento como de contracción, con mayor nivel de relevancia en los resultados en la capacidad que puede llegar a tener el proyecto para adaptarse a la evolución del mercado, esto con miras a identificar los momentos con mayor favorabilidad para decidir de manera estratégica cuando invertir.

Por lo tanto, se está ante un proyecto de inversión que tiene una fluctuación en la creación de valor en los rangos de COP\$9.011.479.266 y COP\$3.917.394.988, demostrando que su estructura puede tener la capacidad para limitar pérdidas en entornos de mercado favorables preservando su capacidad para generar ganancias positivas.

Sumado a lo anterior, se considera que el valor de la opción real actualmente se sitúa en COP\$1.310.565.149.

Con este dato identificado, se puede generar un análisis más concreto sobre el valor del proyecto, donde el VPN tradicional por sí solo cuando se halló se ubicó en COP\$634.501.669 un dato que a priori subestima el valor real del proyecto, dejando de lado la capacidad de este para adaptarse a los diferentes escenarios bajo incertidumbre, este dato en si es muy superficial desde un análisis financiero convencional, generando una recomendación sesgada sin comprender la flexibilidad que puede llegar a tener el proyecto cuando se integra a múltiples escenarios probables.

Por ende, para mostrar una realidad más detallada se hace uso del VPNA (valor presente neto ampliado), siendo este la suma del VPN con el valor de la opción real, dando como resultado:

Tabla 19
Cálculo del VPNA

P50 → Base	
VPN	\$634.501.669
Valor Opción Real	\$1.310.565.149
VPNA	\$1.945.066.818
Flexibilidad	67,38%

Nota. Elaboración propia (2026)

El resultado obtenido ubica el VPNA en COP\$1.945.066.818, lo cual quiere decir el 67.38% del valor que tiene el proyecto proviene de la flexibilidad para adaptarse a las decisiones de inversión ante los diferentes escenarios de incertidumbre a los cuales se puede enfrentar a lo largo del tiempo.

Al observar el VPNA se logra ver una redefinición mucho más concreta sobre el valor económico general del proyecto, siendo 3.06 veces superior al VPN tradicional cuyos limitantes inducen a pensar únicamente en considerar la inversión como ahora o nunca, sin abordar la

capacidad de expansión, espera o abandono a desarrollarse en función del proceso evolutivo de las variables del entorno. Más aún, teniendo presente las variaciones del sector inmobiliario como precios, costos y variables macroeconómicas cuyas vertientes inducen a un mayor impacto sobre la variabilidad en la volatilidad y riesgos en el proyecto.

7.4. Análisis de escenarios bajo incertidumbre

Visto cómo se comportan las opciones reales en la modelación financiera realizada para el proyecto de inversión inmobiliaria de naves industriales, se puede considerar la existencia de un escenario de favorabilidad en su ejecución bajo las actuales condiciones económicas establecidas, donde los supuestos como la volatilidad o tasa libre de riesgo mantienen una constante fija dentro del periodo de valoración.

Pero al considerar el hecho de que las opciones reales se fundamentan en tener plazos más largos, la volatilidad tiende a cambiar a través del tiempo al igual que los precios de venta m², los costos de construcción e incluso la tasa libre de riesgo. Dichos cambios obedecen a las dinámicas económicas y de mercado, sumado a los eventos macroeconómicos globales.

Ante estas realidades, se generaron cambios en los supuestos de modelación para poner a prueba la elasticidad del proyecto para determinar hasta qué punto puede generar valor. Para ello, se plantearon dos escenarios uno con condiciones moderadas y el segundo bajo una incertidumbre extrema.

Tabla 20
Escenarios de modelación

	P50 → Base	Escenarios	
		P10 → Baja	P90 → Alta
Σ	13,36%	13,36%	13,36%
U	1,086875683	1,086875683	1,086875683
D	0,920068427	0,920068427	0,920068427
R	9,50%	9,50%	9,50%
Δt	0,40	0,40	0,40
	1,038731233	1,038731233	1,038731233
p (Probabilidad neutral al riesgo)	0,711376762	0,711376762	0,711376762
factor de descuento	0,909372934	0,909372934	0,909372934
S_0	\$5.941.508.538	\$5.120.288.601	\$6.480.481.742
I	\$5.651.159.500	\$5.651.159.500	\$5.651.159.500

Nota. Elaboración propia (2026)

Como se evidencia se genera un proceso de integración de los percentiles obtenidos en la simulación Montecarlo para calcular el árbol binomial desde diferentes escenarios, con el propósito de identificar la manera como se comporta la dispersión de los resultados probables a obtenerse, esto permite identificar como el riesgo afecta la capacidad de la generación de valor. Por lo que:

a) Escenario P10 Bajo:

- S_0 es COP\$5.120.288.601

b) Escenario P90 Alto:

- S_0 es COP\$6.480.481.742.

Bajo este contexto, la flexibilidad entra a ser parte activa para identificar aquellos escenarios favorables y los destructores de valor. En cada escenario de incertidumbre, el proyecto no se modela con parámetros de inversión tradicional, por el contrario, se evidencia el verdadero comportamiento de este como una opción financiera, cuyo valor está inmerso en la capacidad de decisión sobre su ejecución, espera, abandono o cualquier opción derivada.

Las razones de efectuar ajustes sobre S_0 parten de considerar en el mercado variaciones en los precios mt_2 , ya que, se puede presentar un escenario de caídas en estos a causa de una crisis en el sector inmobiliario o afectaciones en el poder adquisitivo de la población.

La volatilidad, tasa libre de riesgo, inversión inicial y demás variables no presentan cambios, ya que, los percentiles integran en gran medida la incertidumbre en diversos periodos de tiempo, esto permite reflejar situaciones donde el valor de la opción real puede presentar incrementos de manera significativa o presenta bajadas pronunciadas.

Con estas condiciones, se podrán establecer resultados más consistentes con las condiciones económicas, generándose condiciones óptimas para identificar el mejor momento para tomar decisiones con flexibilidad maximizándose de esta manera la capacidad para crear valor en aquellos momentos donde se presente la oportunidad de ejercer la opción.

Tabla 21

Diversos escenarios del valor futuro bajo incertidumbre y valor de ejercer la inversión

P50 → Base				
Rama	Sn (Valor Futuro Bajo Incertidumbre)	Payoff (Valor de ejercer la inversión)	Binomial	
0	\$ 9.011.479.266	\$ 3.360.319.766	0,1821790243	
1	\$ 7.628.450.683	\$ 1.977.291.183	0,3695727966	
2	\$ 6.457.681.153	\$ 806.521.653	0,2998897431	
3	\$ 5.466.594.412	-	0,1216727244	
4	\$ 4.627.613.807	-	0,0246828246	
5	\$ 3.917.394.988	-	0,0020028871	

P10 → Baja				
Rama	Sn (Valor Futuro Bajo Incertidumbre)	Payoff (Valor de ejercer la inversión)	Binomial	
0	\$ 7.765.935.919	\$ 2.114.776.419	0,1821790243	
1	\$ 6.574.065.968	\$ 922.906.468	0,3695727966	
2	\$ 5.565.117.173	-	0,2998897431	
3	\$ 4.711.015.877	-	0,1216727244	
4	\$ 3.987.997.001	-	0,0246828246	
5	\$ 3.375.942.789	-	0,0020028871	

P90 → Alta				
Rama	Sn (Valor Futuro Bajo Incertidumbre)	Payoff (Valor de ejercer la inversión)	Binomial	
0	\$ 9.828.939.313	\$ 4.177.779.813	0,1821790243	
1	\$ 8.320.451.793	\$ 2.669.292.293	0,3695727966	
2	\$ 7.043.478.022	\$ 1.392.318.522	0,2998897431	
3	\$ 5.962.486.640	\$ 311.327.140	0,1216727244	
4	\$ 5.047.399.426	-	0,0246828246	
5	\$ 4.272.754.391	-	0,0020028871	

Nota. Elaboración propia (2026)

Al analizar los resultados del árbol binomial en los escenarios P10 baja y P90 alta se logra identificar claramente como se presenta la sensibilidad correspondiente al valor estratégico del proyecto al momento de integrar una variación sobre el valor inicial del activo subyacente. Para el caso del escenario P10, caracterizándose por ser un escenario donde la incertidumbre tiene mayor peso sobre la generación de valor del activo, genero como resultado un valor futuro del proyecto Sn fluctuando entre COP\$7.766.935.919 y COP\$3.375.942.789, donde las dos primeras ramas tienen la capacidad de dar como resultado payoffs positivos COP\$2.114.776.419 y COP\$922.906.468, después entra en un escenario en el cual se desaparece la capacidad del proyecto en producir el valor para ejercer la inversión.

Esto quiere decir, que el proyecto cuando se topa con una condición de mercado adversa, induce a tomar una decisión racional de no realizar la opción real, por cuanto el retorno es asimétrico, caracterizado por presentar una flexibilidad parcial sobre el downside, limitando el valor del activo llevándolo a momentos donde este obtiene una pérdida de valor operativo.

Por otra parte, en el escenario P90 alto se está ante un entorno donde el mercado tiene mayor optimismo sobre el activo subyacente, provocando un impacto favorable en los rangos superiores

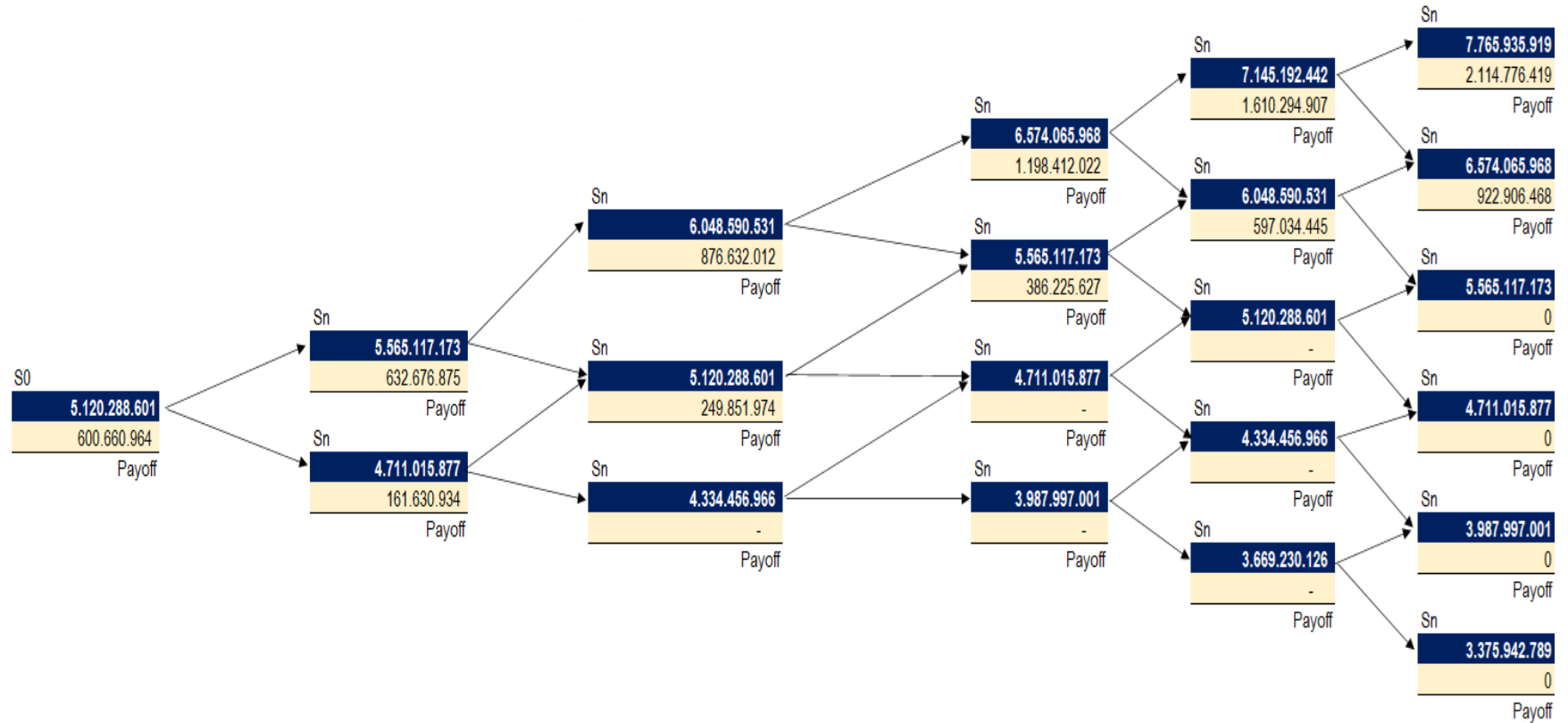
del árbol binomial, induciendo favorabilidad en los estados económicamente viables del proyecto.

Bajo este escenario P90, Sn tiene oscilaciones entorno a los COP\$9.828.939.313 y COP\$4.272.754.391, evidenciado payoffs positivos en 4 ramas del árbol, iniciando con COP\$4.177.779.813 hasta llegar a COP\$311.327.140. Dichos resultados indican como el proyecto tiene la capacidad bajo este entorno la opción de invertir en una mayor proporción. El proyecto bajo P90 tiene mayor capacidad para mantener intacto su valor económico en un número superior de nodos, a diferencia de lo observado en P10 donde se restringe de manera más rápida la capacidad del proyecto para crear valor.

Con el estudio de las opciones reales, los escenarios estructurados P10 y P90 indican como el valor del proyecto no solo esta influenciado por su capacidad de generar retorno, por el contrario, tal como se comienza a demostrar desde la simulación Montecarlo, este se encuentra condicionado por los impactos provocados por los procesos de interacción de la incertidumbre, flexibilidad y capacidad para que el valor se preserve bajo condiciones adversas. Ante esta situación, la flexibilidad gerencial tiene el rol de gran importancia por cuanto actúa como mecanismo de protección asimétrica, para tomar decisiones en los momentos idóneos donde los nodos afectan el valor del proyecto, esto conducirá a que las perdidas puedan restringirse, asimismo ante escenarios favorables amplificar la forma como el proyecto puede capturar un nivel superior en su valor económico.

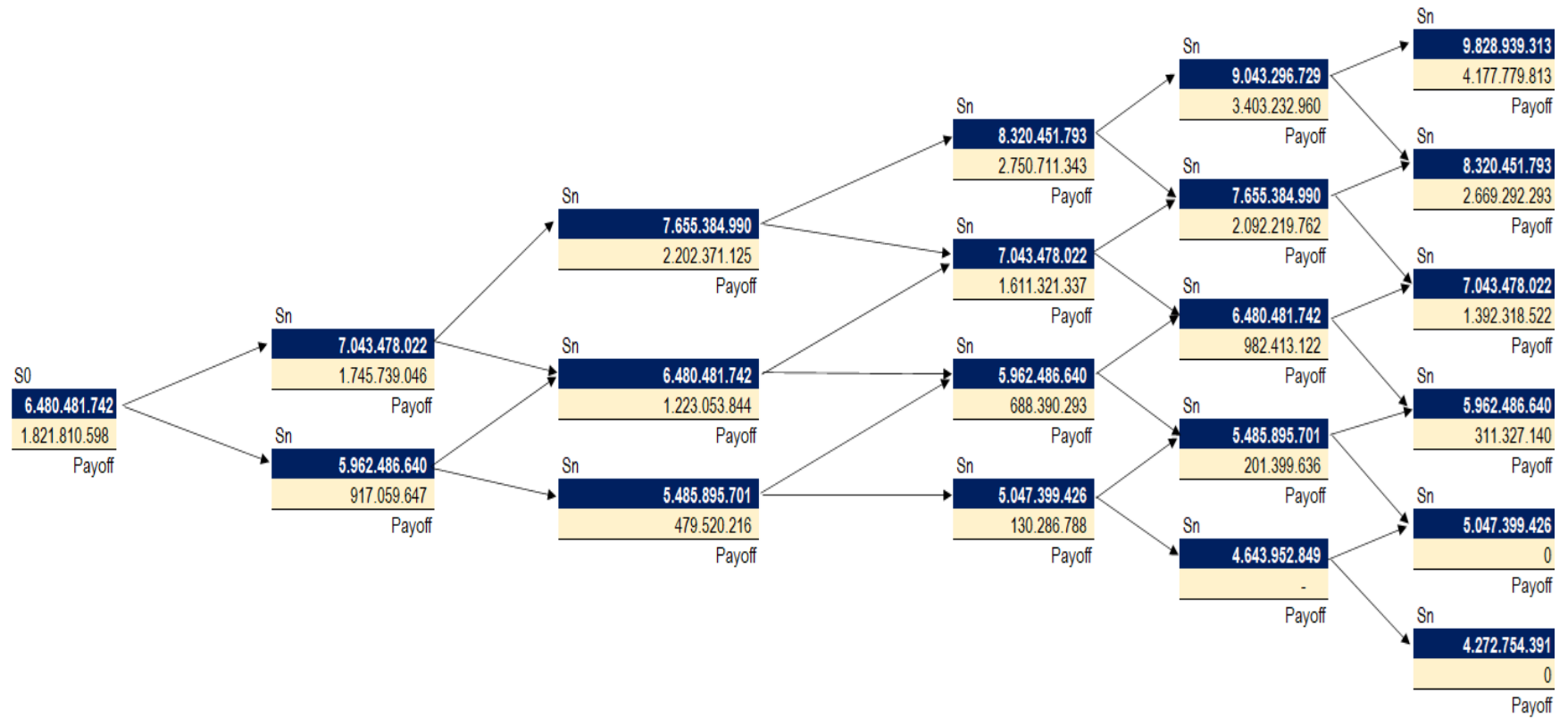
Por tales razones, se valida lo expuesto por Zapata (2020) donde el valor a nivel estratégico del proyecto no está inmerso únicamente en la rentabilidad esperada del mismo, por el contrario, este se encuentra en niveles superiores en la capacidad de decisión bajo incertidumbre y flexibilidad para adaptarse a las señales dadas en cada nodo generado en el árbol binomial.

Figura 9
Árbol binomial P10



Nota. Elaboración propia (2026)

Figura 10
Árbol binomial P90



Nota. Elaboración propia (2026)

Tabla 22*P (Invertir) y P (No Invertir)*

P50 → Base	
P (Invertir)	P (No Invertir)
85%	15%
P10 → Baja	
P (Invertir)	P (No Invertir)
55%	45%
P90 → Alta	
P (Invertir)	P (No Invertir)
97%	3%

Nota. Elaboración propia (2026)

Los datos presentes en la tabla, determinan la probabilidad de invertir para cada uno de los escenarios, donde se aprecia como la decisión óptima para ejercer la opción cambia influenciada por cambios en la incertidumbre económica y de mercado, afectando la capacidad del proyecto para generar valor. En el escenario P50 se obtiene un P (invertir) del 85% indicando como el valor del proyecto es capaz de superar la inversión inicial en la mayoría de los nodos, esto supone la posibilidad de ejecutar el proyecto sin pensar en la flexibilidad.

Para el caso del escenario P90 se observa una P (invertir) de 97% y una P (no invertir) de 3%, esto sugiere la existencia de mayores momentos en los cuales el proyecto genera un valor económico superior.

Para el caso de P10, se puede deducir como la probabilidad de no inversión se sitúa en un 45%, es decir, el proyecto entraría en una fase donde su ejecución entra en duda, por lo que la decisión de esperar se vuelve más atractiva. Bajo este escenario, el proyecto ya no es en sí una inversión de realización, sino una opción de tipo call financiera, donde la decisión más viable será seleccionar el momento óptimo donde se obtendría el mayor valor posible.

Este resultado expresa la necesidad de que los inversionistas no basen sus decisiones en el valor a generarse por el proyecto, por el contrario, aquí la rentabilidad viene dada por la flexibilidad de identificar lo más acertado posible el momento óptimo para invertir, prevaleciendo la opción de esperar monitoreando las variaciones en variables claves como volatilidad como también la situación micro y macroeconómica.

Sumado a lo anterior, ante la puesta de los escenarios bajo estudio se logra determinar cómo se presentaría el VPNA, donde se aprecia en el caso de P90 la opción real se sitúa en COP\$1.822.746.256, llevando al VPNA a ubicarse en COP\$2.457.247.924, es decir se está ante un proyecto donde el valor del proyecto proviene en un 74.18% de la flexibilidad, si bien el proyecto tiene condiciones para generar rentabilidad, el potencial para generar un mayor valor depende principalmente de la capacidad de los inversionistas para ajustar las decisiones en función de las condiciones del mercado, aquí comienza a primar como la gestión activa tiene la capacidad de generar valor bajo incertidumbre.

Tabla 23

VPNA incertidumbre moderada y extrema

P10 → Baja		P90 → Alta	
VPN	\$634.501.669	VPN	\$634.501.669
Valor Opción Real	\$597.006.276	Valor Opción Real	\$1.822.746.256
VPNA	\$1.231.507.944	VPNA	\$2.457.247.924
Flexibilidad	48.48%	Flexibilidad	74.18%

Nota. Elaboración propia (2026)

Para el caso del escenario P10 el valor de la opción real se ubicó en COP\$597.006.276, generando un VPNA de COP\$1.231.507.944, lo cual genera una flexibilidad de 48.48%, dicho dato traduce como si bien pueden existir escenarios donde el proyecto puede ejecutarse, la incertidumbre es mayor conduciendo a que el proyecto dependa en mayor proporción a la

flexibilidad como componente crítico, es aquí donde los inversionistas están ante un contexto en el que la opción estratégica se vuelva más selectiva ejecutándose solo en escenarios con condiciones excepcionales.

Como se ha expuesto a lo largo de los análisis realizados al llevar a cabo el proceso de valoración del proyecto de inversión inmobiliaria de naves industriales, se logra identificar como el VPN tradicional por sí solo es insuficiente para determinar el valor real de llevar a cabo la ejecución de dicha inversión bajo condiciones de incertidumbre, identificando un dato sesgado el cual no permite comprender las afectaciones sobre la rentabilidad a alcanzarse ante cambios inesperados en el mercado. Esta situación, conduce a incorporar el enfoque de opciones reales introduciendo en la modelación la estructuración del árbol binomial y la simulación Montecarlo, para identificar múltiples escenarios en los cuales el valor del proyecto no está ligado exclusivamente de su ejecución sino más bien de la flexibilidad gerencial para formular decisiones estratégicas claras de cuando llevar a cabo o no la inversión, considerando en este proceso la capacidad del proyecto para adaptarse a los escenarios de incertidumbre.

Cada uno de los resultados hallados en los diferentes escenarios permitieron esclarecer como en un contexto determinista las condiciones de ejercer la inversión son muy positivas en cualquier caso dado, pero al momento de introducir en la modelación la incertidumbre como factor de cambio se generan alteraciones en la probabilidad de P (invertir) y P (no invertir), afectando de manera significativa la capacidad de obtener valor, concentrándose este último en escenarios específicos.

Tabla 24*Cuadro integrador del Modelo Binomial de las Opciones Reales*

Dimensión Estratégica	VPN Tradicional	Simulación Montecarlo	Opciones Reales	VPNA (Valor Presente Neto Ampliado)
¿Por qué se implementó en el proyecto?	Al ser determinístico, permitió identificar de manera preliminar la viabilidad financiera inicial de la nave industrial.	Por medio de su enfoque probabilístico se logra incorporar la incertidumbre real en las variables críticas de proyecto precios mt2, costos mt2 como también el comportamiento del mercado.	Permitió incorporar la flexibilidad gerencial como también la capacidad estratégica de decisión bajo escenarios de incertidumbre.	Se Consolidó en una sola medida la valoración total de la nave industrial integrando en el proceso el valor operativo (VPN) con el valor estratégico (opciones reales).
Función dentro del modelo	Se construye la base financiera determinística que sustenta la viabilidad operativa del modelo.	Se da paso al proceso de transformación del modelo tradicional estático a un modelo probabilístico.	Su estructura permitió llevar a cabo la modelación financiera para identificar la capacidad de espera, expansión o abandono a partir de la evolución de la nave.	Se consolida la valoración expandida y flexibilidad de la nave industrial además de su capacidad de generar valor económico bajo incertidumbre.
Resultado generado en la investigación	VPN = COP\$634.501.669	σ volatilidad simulada = 13,36% Distribución percentiles P10 = COP\$5.090.168.510; P50 = COP\$5.936.807.663 y P90 = COP\$6.477.198.238.	Valor de la opción real hasta COP\$3.360 millones.	VPNA hasta COP\$2.457.247.924
Rol de la gerencia	Pasivo	Observador probabilístico	Activo y adaptativo	Estratégico y maximizador de valor
Interpretación económica	El proyecto tiene una capacidad de viabilidad aceptable	El proyecto puede entrar en escenarios de incertidumbre	El proyecto cuenta con la flexibilidad para adaptarse a escenarios de incertidumbre	El proyecto posee condiciones estratégicas para generar valor económico de nivel superior
Conclusión derivada	El proyecto tiene rentabilidad	La volatilidad del proyecto es controlada	El valor económico generado se incrementa producto de la flexibilidad	El valor real supera ampliamente al VPN inicial

Nota. Elaboración propia (2026)

8. CONCLUSIONES

La investigación realizada, demostró mediante un estudio de caso real el proceso de modelación a implementarse al momento de valorar proyectos de inversión inmobiliaria de naves industriales, siendo este un subsector desconocido al momento de realizar estudios de inversión, el cual presenta matices muy diferentes al momento de identificar las variables necesarias para hallar datos de relevancia como el VPN, TIR, Payback, PI, considerando estas métricas tradicionales como aquellas que permiten obtener unos resultados estáticos los cuales no permiten ver la realidad de como el proyecto puede adaptarse a entornos de incertidumbre. Por lo que, al introducir en esta modelación las opciones reales, la simulación Montecarlo como los árboles binomiales se trascienden los resultados a un análisis más profundo para identificar con mayor claridad como la incertidumbre influye sobre la flexibilidad gerencial al momento de tomar decisiones de inversión en función de las condiciones de mercado, más aún al considerar que el valor de un proyecto de inversión no está limitado a los flujos descontados esperados.

Al introducir el proyecto de inversión objeto de estudio a la simulación Montecarlo y la estructuración de las opciones reales bajo la lógica funcional del árbol binomial, se logró identificar la distribución asimétrica como contingente, donde la decisión de inversión se ha de fundamentar desde las bases probabilísticas al igual que estratégicas. Esto por cuando al, revisar los resultados de la opción real se determina que el VPN base situado en COP\$ \$634.501.669 indicaba la puesta en marcha sin consideración de los impactos probables de la incertidumbre, sin embargo cuando se introduce la opción real este da como resultado el llevar a cabo la ejecución del proyecto bajo la opcionalidad estratégica, situación que cobra más relevancia cuando se presentan escenarios de incertidumbre moderada y extrema, donde la flexibilidad comienza a denotar retrocesos, impactados por una mayor afectación en el valor real del

proyecto conduciendo a tomar decisiones de espera ante la probabilidad de toparse con escenarios adversos. Lográndose alcanzar mediante el proceso de las opciones reales, calcular el VPNA el cual llega a su máximo resultado en un escenario con P10 ubicándose en COP\$1.230.688.713, validando la postura donde el valor reside en la capacidad gerencial del proyecto para adaptarse a los cambios generados por la incertidumbre.

En un escenario base P50 y P90 el proyecto presenta robustes, capaz de evidenciar una amplia capacidad para devolver al inversionista un retorno muy favorable frente a la inversión inicial. Pero, al ponerse a prueba en escenarios de incertidumbre el nivel de retorno a alcanzarse está supeditado a la selección de escenarios donde se puede o no obtener beneficios, es decir, dependiendo de la gestión estratégica adoptada por el proyecto ante la incertidumbre a través de la flexibilidad se podrá seleccionar el momento idóneo para obtener un retorno favorable.

Ante lo evaluado en el proceso de valoración mediante simulación Montecarlo, modelo binomial CRR y VPNA se logró obtener unos niveles de flexibilidad que varían en función de los escenarios evaluados de P10 y P90 desde un 48.44% hasta un 74.18% respectivamente, resultados los cuales expresan como el valor hallado en las opciones reales no siempre presenta un crecimiento lineal producto de los impactos producidos por las fluctuaciones en la volatilidad, estructura de costos, apalancamiento financieros, cambios en las tendencias de demanda entre otros. Estos razonamientos, conducen a que, desde un enfoque de las finanzas corporativas al evaluar la viabilidad de inversión, no fundamente la decisión únicamente en los métodos tradicionales, por el contrario es necesario establecer un modelo capaz de integrar múltiples escenarios para identificar como las variaciones en la incertidumbre deterioran la relación riesgo retorno, detallando los momentos óptimos donde emerge el valor del activo como también aquellos donde la ejecución de inversión se desincentiva.

9. RECOMENDACIONES

El resultado alcanzado con el presente proyecto, permite convalidar la percepción de generar cambios en la forma como se integran las herramientas cuantitativas de modelación financiera, llevando a cabo la integración de la simulación Montecarlo con el modelo binomial de tipo CRR, para alcanzar resultados más precisos cuya distribución bajo diversos escenarios permiten impulsar una dinámica más eficiente al momento de tomar decisiones informadas bajo criterios de incertidumbre en los proyectos de inversión. En sí, este enfoque híbrido no se limita a unos valores esperados los cuales están sesgados en apreciaciones básicas de invertir si es positivo y no invertir cuando es negativo, al contrario, a esta simplicidad de los modelos tradicionales, lo que se busca es llegar a cuantificaciones amplias en las probabilidades existentes de ejecución, abandono o espera al valorar proyectos de inversión. Para lo cual, se hace necesario expresar como la incertidumbre no es solo un limitante, sino una fuente de información al producir escenarios con múltiples cambios en las variables de modelación, permitiendo determinar mediante mecanismos de flexibilidad aquellos escenarios donde el valor es óptimo para ejercer la opción.

Para el caso de la valoración de proyectos de inversión en proyectos inmobiliarios de naves industriales, se hace indispensable integrar este enfoque de modelación visto, ya que, al estar en un sector con mayor influencia a choques micro y macroeconómicos, la incertidumbre genera choques que pueden limitar su ejecución. Por ende, es necesario integrar un marco analítico en la metodología de valoración más profundo en el cual la inversión a realizarse este inmersa en una secuencia de decisiones estratégicas contingentes desde la visión de las opciones reales, para identificar periodos de espera, abandono, expansión o ejecución, esto en sí, tiene gran validez, al permitir al inversionista detallar de manera más precisa la forma como el proyecto logra capturar

valor económico el cual se desprende de la flexibilidad presente en escenarios donde la volatilidad crea choques en las variables de modelación.

Al integrarse la gestión del riesgo en la valoración de proyectos de inversión, resulta fundamental incorporar el análisis de escenarios de manera integral, no solo considerando previsiones optimistas, entendiendo que la economía no es lineal sino que sus bases se fundamentan en un ciclo de expansión, auge, recesión, depresión, y recuperación, esto por cuanto la volatilidad impacta de manera significativa la capacidad de generación de valor del proyecto reduciendo así la probabilidad de viabilidad para ejercer la inversión. Esto se evidencio en los resultados obtenidos en el caso de estudio, donde la flexibilidad tiene un umbral en el cual el riesgo impacta el beneficio de ejercer la opción en múltiples periodos. Siendo aconsejable por tales razones, emplear en la modelación métricas de riesgo retorno, análisis probabilístico como también ajustes en ratios mediante el riesgo, para llegar a decisiones de inversión estratégicas más informadas.

Es recomendable que las investigaciones derivadas de la propuesta actual, sean sometidas a un proceso más riguroso en el proceso de potencializar las variables críticas necesarias para la modelación financiera, como es el caso de la tasa libre de riesgo, la volatilidad, así como aquellos datos determinantes del valor subyacente del proyecto, para ello, es indispensable el uso de series históricas amplias que permitan comprender como el mercado se ha comportado en diferentes escenarios. Esto conduce a pensar, en la creación de modelos más sofisticados para valorar inversiones con matices diferentes en su estructura financiera como es el caso de las naves industriales en proyectos de inversión inmobiliaria.

10. REFERENCIAS

- Bernal, C. (2016). *Metodología de investigación. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson.
- Bjarnadóttir, E. (2013). *Real Options in Corporate Finance*. [Thesis Master of Science in Financial Engineering, Reykjavík University]: Repository Reykjavík University <https://skemman.is/bitstream/1946/16101/1/Real%20options%20in%20corporate%20finance.pdf>.
- Black, F. y Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654. <http://dx.doi.org/10.1086/260062>.
- Bonis, S., Azofra, V. y De la Fuente, G. (2009). Las opciones reales en el sector eléctrico. El caso de la expansión de Endesa en Latinoamérica. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, (38), 65-94. [https://doi.org/10.1016/S1138-5758\(09\)70030-1](https://doi.org/10.1016/S1138-5758(09)70030-1).
- Calle, A. y Tamayo, V. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios Gerenciales*, 25(111), 107-126. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(09\)70073-7](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(09)70073-7).
- Camark. (2026). *Construir una Bodega Industrial en Cali*. Obtenido de <https://www.camarkprojects.com/blog/cuanto-cuesta-construir-una-bodega-industrial-cali-jamundi/>
- Cazenave, T. y Hamida, S. (2015). Forecasting Financial Volatility Using Nested Montecarlo Expression Discovery. *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence*, 726-733. doi: 10.1109/SSCI.2015.110.
- Chen, Y., Dong, Z., Wu, Y. y Zhang, W. (2022). Various Methods Aim to Solve the Limitation of IRR. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 648, 1196-1200. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.220307.198>.
- Čirjevskis, A. (2021). Value Maximizing Decisions in the Real Estate Market: Real Options Valuation Approach. *J. Risk Financial Manag*, 14(6), 1-19. <https://doi.org/10.3390/jrfm14060278>.

- Copeland, T. y Antikarov, V. (2001). *Real Options: A practitioner's guide*. Texere Publishing Limited.
- Cox, J., Ross, S. y Rubinstein, M. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229-263.
- Damodaran, A. (2009). Volatility Rules: Valuing Emerging Market Companies. *Stern School of Business*, 1-38. <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/pdfiles/papers/emergmkts.pdf>.
- Damodaran, A. (Enero de 2026). *Betas by Sector (US)*. Obtenido de https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html
- DANE. (2026). *Índice de Costos de la Construcción de Edificaciones (ICOCED) Históricos*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-costos-de-la-construccion-de-edificaciones-icoced/indice-de-costos-de-la-construccion-de-edificaciones-icoced-historicos>
- Entorno Internacional. (2026). *Serie histórica spread del EMBI (Emerging Markets Bond Index)*. Obtenido de [Base de datos en Excel]: https://bcrdgdcpod.blob.core.windows.net/documents/entorno-internacional/documents/Serie_Historica_Spread_del_EMBI.xlsx
- Fernández, P. (2011). WACC: Definition, Misconceptions and errors. *CIIF, International Center for Financial Research, IESE Business School*, 914, 1-27. <https://www.iese.edu/media/research/pdfs/DI-0914-E.pdf>.
- Forcael, E., Andalaft, A., Schovelin, R. y Schovelin, P. (2013). Aplicación del método de opciones reales en la valoración de proyectos inmobiliarios. *Obras Y Proyectos*, 14, 58-70. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132013000200005>.
- García, F. y Romero, R. (2009). Caracterización y análisis de modelos de evaluación económica de proyectos de inversión bajo incertidumbre. *Revista Ingeniería Industrial*, 8(1), 35-50. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/81/3319>.
- Geltner, D.; Miller, N.; Clayton, J. y Eichholtz, P. (2007). *Commercial Real Estate Analysis and Investments*. South-Western Cengage Learning.

- González, E., Molina, J., Mora, A. y Perote, J. (2024). Real Options Volatility Surface for Valuing Renewable Energy Projects. *Energies*, 17, 1-13. <https://doi.org/10.3390/en17051225>.
- Hernández, R. y Mendoza, C. . (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: Mc Graw Hill Education.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación, 6ta edición*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Jiang, L. (2016). Application Analysis on Internal Rate of Return Rule for Investment . *Proceedings of the 2016 International Conference on Humanity, Education and Social Science. Atlantis Press*, 497-501. <https://doi.org/10.2991/ichess-16.2016.106>.
- Klausen, J. y Hollingsworth, N. (2018). *Applying Options Pricing in Valuing Real Estate Developments*. [Master's Thesis, Copenhagen Business School]: Institutional Repository Copenhagen Business School, https://research-api.cbs.dk/ws/portalfiles/portal/59756439/555083_Thesis_v3.pdf.
- Kumar, S. & Sing, N. (2018). Significance of real estate projects and their management. *International Journal of Applied Research*, 4(1), 524-527. <https://www.allresearchjournal.com/archives/?year=2016&vol=2&issue=4&part=H&ArticleId=4732>.
- Liu, X. y Ronn, E. (2018). Using the Binomial Model for the Valuation of Real Options in Computing Optimal Subsidies for Chinese Renewable Energy Investments. *Energy Economics*, 87, 1-22. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3186274.
- Mauboussin , M. y Callaham, D. (2023). Cost of Capital: A Practical Guide to Measuring Opportunity Cost. *Counterpoint Global Insights, Morgan Stanley Investment Management*, 1-50. https://www.morganstanley.com/im/publication/insights/articles/article_costofcapital.pdf.
- Metropolis, N. y Ulam, S. (1949). The Montecarlo Method. *Journal of the American Statistical Association*, 44(247), 335-341.
- Molintas, D. (2021). Black Scholes Model. *MPRA Paper 110124, University Library of Munich*, 1-11. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/110124/1/MPRA_paper_110124.pdf.

- MTS. (2026). *MTS cada m2 cuenta*. Obtenido de <https://mts.com.co/estudios-de-mercado/>
- Muñoz, A., Herrero, A. y Romero, A. (2020). Real option analysis. The viability of real estate projects. *Investment Management and Financial Innovations*, 17(4), 271-284. <http://dx.doi.org/10.21511/imfi>.
- Pawlak, M. (2024). Valuation of real options using Montecarlo simulation. *Procedia Computer Science*, 246, 3410–3419. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.216>.
- Pérez, R., Puime, F. y Enríquez, J. (2021). Valuation of a Company Producing and Trading Seaweed for Human Consumption: Classical Methods vs. Real Options. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 1-13. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105262>.
- Restrepo, M. (2024). *Valoración de una inversión inmobiliaria mediante opciones reales, como metodología no tradicional de evaluación de proyectos*. [Tesis de Maestría en Finanzas, Universidad EIA]: Repositorio institucional de la Universidad EIA <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/f3f1b263-f15c-4984-b1e1-d4e4ae376a27/content>.
- Sánchez, R. (2019). *Real options analysis in real estate investments and developments*. [Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona]: Repositorio institucional de la Universitat Autònoma de Barcelona <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/669453/rsv1de1.pdf;jsessionid=772B0A835D081067296FB57E5032169C?sequence=1>.
- Schwartz, E. (2013). The real options approach to valuation: Challenges and opportunities. *Latin American Journal of Economics*, 50(2), 163-177. .
- Sosa, G. y Banda, H. (2020). Opciones reales en la evaluación financiera de proyectos de inversión cafetaleros. *Pensamiento & Gestión*, 48, 140-168. <https://www.redalyc.org/journal/646/64671238007/html/>.
- Trigeorgis, L. (1993). The Nature of Option Interactions and the Valuation of Investments with Multiple Real Options. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28(1), 1-20. <https://doi.org/10.2307/2331148>.

- Van Aarle, R. (2013). *Financial Engineering and Management*. PhiDelphi Corporate Finance, University of Twente. https://essay.utwente.nl/filesare/file/63576/scriptie_Rogier_van_Aarle.pdf.
- Vayas, G., Soguero, C., Rodríguez, M., Rojo, L. y Gimeno, F. (2020). On the Differential Analysis of Enterprise Valuation Methods as a Guideline for Unlisted Companies Assessment (II): Applying Machine-Learning Techniques for Unbiased Enterprise Value Assessment. *Applied Sciences*, 10(15), 1-17. <https://doi.org/10.3390/app10155334>.
- Yen, I. y Lien, C. (2020). Evaluating Real Estate Development Project with Montecarlo Based Binomial Options Pricing Model. *Applied Economics Letters*, 27(4), 307–324. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5397063>.
- Zapata, C. (2020). *Opciones reales : una guía teórico-práctica para la valoración de inversiones bajo incertidumbre mediante modelos en tiempo discreto y simulación de Montecarlo*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia. Biblioteca EAP.