

# **Opciones reales en el sector de la construcción**

## **Real options in the Construction sector**

**Maria Cristina Mendoza Estrada**

**Nicolás Montoya Duque**

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Administración Financiera

Asesor:

Armando Támara

**Universidad EAFIT**

**Escuela de Administración**

**Maestría en Administración Financiera**

**Medellín**

**2019**

## Contenido

1. Introducción .....	4
2. Opciones reales .....	5
2.1 Relación opciones reales y opciones financieras .....	5
2.2 Parámetros de las opciones reales.....	6
2.3 Tipos de opciones reales.....	7
2.4 Metodologías de cálculo .....	8
3. Estado del arte.....	9
4. Caso de estudio .....	14
5. Análisis de resultados .....	16
6. Conclusiones .....	22
Referencias.....	23

## Lista de tablas

Tabla 1. Comparación entre opciones financieras y reales .....	7
Tabla 2. Tipos de opciones financieras.....	7
Tabla 3. Tipos de opciones reales .....	8
Tabla 4. Datos del proyecto .....	16
Tabla 5. Insumos valoración de la opción de diferir el proyecto .....	18
Tabla 6. Árbol del subyacente.....	19
Tabla 7. Árbol del ejercicio.....	19
Tabla 8. Árbol de la opción viva.....	20
Tabla 9. Árbol de escenarios de ejercicio .....	21

## Lista de figuras

Figura 1. Ubicación geoespacial del terreno del proyecto .....	15
Figura 2. Simulación del VPN.....	17
Figura 3. Simulación de la TIR del proyecto .....	17
Figura 4. Simulación de la volatilidad.....	18

## **Resumen**

Las opciones reales se han convertido en un elemento fundamental a la hora de valorar proyectos de inversión, especialmente cuando estos poseen dentro de sus características principales, la opción de diferir la inversión. Este trabajo valora un proyecto inmobiliario, incorporando la opción de diferir por un período de tiempo de cinco años, el inicio de su construcción. La metodología utilizada para valorar la opción fue árboles binomiales, donde la volatilidad fue calculada con base en los flujos de caja del proyecto. Los resultados aportan evidencia que confirma que el valor de la opción incrementa el valor total del proyecto en un 58%.

**Palabras claves:** Sector construcción, Opciones reales, Opción de diferir, Árboles binomiales.

## **Abstract**

Real options have become a key element when it comes to valuing investment projects, especially when they have the option of deferring the investment. This work values a real estate project incorporating the option of deferring the beginning of its construction for a period of five years, the methodology used to calculate the option value was binomial trees, where volatility was calculated based on the project cash flows. The results provide evidence confirming that the option value increases the total project value by 58%.

**Key words:** Construction sector, Real options, Defer options, Binomial trees.

## **1. Introducción**

El sector de la construcción es un gran dinamizador de la economía y parte fundamental en el crecimiento de los países; en dicho sector, la inversión inmobiliaria tradicionalmente ha contribuido a fomentar el desarrollo, disminuir la desigualdad y ha sido uno de los grandes vehículos utilizados para aumentar la riqueza de personas y empresas; es por tanto, que un estudio académico relacionado a este sector cobra gran importancia y puede ser extrapolado para generar valor en diferentes geografías.

Las características principales que definen el sector inmobiliario son, paralelo a su alta rentabilidad, los diversos riesgos y alta volatilidad que acompañan los proyectos de este sector. El presente trabajo pretende mostrar cómo al incorporar las opciones reales y específicamente la opción de diferir, puede contribuir a disminuir parte de los riesgos y aumentar considerablemente el valor de un proyecto inmobiliario, evidenciando cómo los métodos tradicionales de evaluación se quedan cortos a la hora de reflejar el valor real de los proyectos, puesto que no logran incorporar la flexibilidad en la toma de decisiones que brindan las opciones reales. Específicamente en este estudio, la opción de diferir el inicio de la construcción del proyecto mostrará cómo el método tradicional de descuento de flujos de caja, al no contar con la flexibilidad de decidir año a año si se comienza la construcción, subvalora en gran medida el valor real del proyecto.

## **2. Opciones reales**

Como Calle & Tamayo (2009) lo indican, las *opciones financieras* pueden ser definidas como un contrato que otorga el derecho, más no la obligación, de comprar o vender una cantidad del activo subyacente a un precio y en un tiempo previamente estipulados. En el mundo financiero este tipo de contratos han sido durante mucho tiempo un vehículo muy importante en la especulación, cobertura de riesgos y especulación sobre activos financieros, como Tanaka & Carrasco (2016) han expuesto; la teoría que ha sido desarrollada para los activos financieros puede ser extrapolada y encontrar grandes aplicaciones para activos físicos o reales.

Liapis, Christofakis & Papacharalmpous (2011) hablan sobre las grandes limitaciones que se han encontrado en los modelos de valoración por flujos de caja descontados de los proyectos, indicando que dichos modelos no contemplan la valoración de las opciones implícitas o flexibilidad gerencial que tienen los proyectos para tomarse decisiones durante su vida, de acuerdo al comportamiento de estos con el fin de maximizar su valor. Mintah, Higgins & Callanan (2018) mencionan cómo puede realizarse la valoración de opciones reales, basada en la técnica de valoración de opciones financieras, como una alternativa para determinar el valor de dicha flexibilidad en los proyectos, la cual comprende, como lo indican Ashuri, Lu & Kashani (2011), opciones de postergación, extensión, expansión, contracción o abandono de los proyectos. En ese sentido, Stewart C. Myers (1984) ha presentado las opciones reales como complemento a la valoración tradicional por flujo de caja libre, logrando robustecer los modelos de valoración de proyectos tradicionales.

### **2.1 Relación opciones reales y opciones financieras**

Ullrich (2013) habla sobre la gran relación que guardan los modelos que han sido utilizados para la valoración de opciones reales, con los modelos creados previamente para la valoración de opciones financieras, las cuales han sido ampliamente estudiadas en la academia. En su estudio muestra cómo usualmente

se ha buscado encontrar similitudes entre los parámetros que hacen parte de los modelos de opciones financieras, con las características propias de las opciones reales, con el fin de adaptar los modelos a las opciones reales.

Como Guj & Chandra (2019) lo indican, la construcción de modelos de valoración de opciones reales implican grandes retos, entre los cuales se encuentra el cálculo de la volatilidad, puesto que los activos subyacentes al no ser negociados en un mercado, es complejo tener los datos adecuados para su cálculo; adicionalmente, por su naturaleza poseen diversas fuentes de incertidumbre, lo cual añade dificultad respecto a las opciones financieras cuya fuente de incertidumbre se centra principalmente en la volatilidad de su precio. Además, al no ser fácilmente medible el valor de los activos subyacentes reales, como lo es con el precio de mercado en los activos financieros, es compleja la decisión de ejercer o no las opciones reales en cualquier momento de la vida de la opción.

## **2.2 Parámetros de las opciones reales**

Como fue mencionado anteriormente, en el proceso de adaptación de los modelos de valoración de opciones financieras a modelos de opciones reales, deben encontrarse cuáles son las características propias de los proyectos que guarden gran similitud con los parámetros utilizados de los activos financieros, convirtiendo de este modo dichas características en los parámetros de los modelos de las opciones reales. La tabla 1 presenta la comparación entre los parámetros de ambos tipos de opciones.

**Tabla 1.** Comparación entre opciones financieras y reales

Variable	Opción financiera	Opción real
$S$	Precio del activo subyacente	Flujos futuros esperados del proyecto - Valor del proyecto
$K$	Precio de ejercicio	Costos de inversión
$T$	Tiempo al vencimiento	Tiempo al vencimiento
$\sigma$	Volatilidad del activo subyacente	Volatilidad en los flujos futuros esperados del proyecto
$r$	Tasa de interés libre de riesgo	Tasa de interés libre de riesgo

Fuente: Rakić & Rađenović (2014).

### 2.3 Tipos de opciones reales

Las opciones financieras se clasifican en cuatro categorías, de acuerdo con la posición en que se encuentre en el contrato, si se está comprando o vendiendo la opción, esto se combina con el objeto del contrato, es decir, si la opción negociada otorgará el derecho a comprar o vender el activo subyacente. La tabla 2 muestra estos cuatro tipos de opciones

**Tabla 2.** Tipos de opciones financieras

Tipo de opción		Descripción
Long	Call	<i>Comprar el derecho (Long) a Comprar el activo Subyacente (Call)</i>
	Put	<i>Comprar el derecho (Long) a Vender el activo Subyacente (Put)</i>
Short	Call	<i>Vender el derecho (Short) a Comprar el activo Subyacente (Call)</i>
	Put	<i>Vender el derecho (Short) a Vender el activo Subyacente (Put)</i>

Fuente: Elaboración propia (2019).

Por su parte, las opciones reales se asocian a la flexibilidad gerencial que puede ser incorporada en la toma de decisiones de los proyectos; por tanto, su clasificación se relaciona con el tipo de decisión que puede ser tomada. La tabla 3 muestra dicha clasificación:

**Tabla 3.** Tipos de opciones reales

Tipo de opción	Tipo de Flexibilidad Gerencia
Abandono	<i>El proyecto puede ser abandonado en determinadas fases si no presenta los resultados esperados</i>
Contracción	<i>El alcance del proyecto puede ser recortado si no evoluciona de la forma esperada</i>
Expansión	<i>El alcance del proyecto puede ser aumentado si este evoluciona de forma mejor a la esperada</i>
Escalamiento	<i>La implementación del proyecto puede ser realizado por etapas de acuerdo con sus características y al mercado</i>
Aplazamiento	<i>El inicio del proyecto puede ser aplazado buscando las mejores condiciones para su inicio</i>
Crecimiento	<i>El resultado exitoso de un proyecto puede determinar la realización de nuevos proyectos</i>
Intercambio	<i>Dependiendo del curso de un proyecto puede ejercerse la opción de intercambiar el activo real subyacente</i>

Fuente: Ullrich (2013).

## 2.4 Metodologías de cálculo

A través de los años se han desarrollado gran cantidad de metodologías que buscan encontrar el valor de las opciones reales, metodologías como: Black Scholes, Árboles binomiales o Simulación Montecarlo, sin embargo, de acuerdo con Rakić & Rađenović (2014), el enfoque seguido por las diferentes metodologías guarda gran relación en su objetivo, siguiendo en general los pasos que se listan a continuación.

- 1) Determinar los escenarios que el activo subyacente puede tomar al vencimiento de la opción.
- 2) Calcular el posible resultado financiero, de materializarse dichos escenarios.



- 3) Calcular el valor actual del resultado financiero de los escenarios ponderadores, de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia.

El dueño de la opción se enfrentará durante la vida del contrato, en algunas opciones solo hasta su vencimiento, si decide o no ejercer su derecho; generalmente para tener este derecho tuvo que haber pagado por él, dicho pago se le denomina el valor de la prima, la cual es recibida por quien vendió el derecho y se obligó a ser la contraparte de la decisión tomada por el dueño de la opción, dicha decisión de ejercer se toma buscando tener el máximo beneficio entre no ejercer y perder el valor pagado de la prima y el beneficio de ejercer la opción y obtener ingresos producto de haber diferido, expandido, contraído o abandonado el proyecto.

Entre mayor sea la volatilidad del activo subyacente y mayor tiempo haya hasta el posible ejercicio, la opción tendrá un mayor valor, esto se debe a que existirá una mayor probabilidad de presentarse un escenario favorable que permita ejercer y obtener mayores beneficios al valor pagado por la opción.

### **3. Estado del arte**

Durante años la literatura académica ha cubierto el uso de las opciones reales en diversos sectores para la evaluación de proyectos y valoración de empresas, el sector de la construcción no ha sido ajeno a esta tendencia, especialmente por el riesgo e incertidumbre propia del sector.

Leung & Hui (2002) evaluaron la viabilidad de la construcción de Disneyland en Hong Kong desde diferentes metodologías, encontrando que el análisis desde un enfoque de opciones reales es muy superior al enfoque tradicional de descuentos de flujos de caja y cálculo del valor presente neto; adicionalmente, encontraron que el proyecto que inicialmente parecía no ser viable, una vez se incluyeron las

opciones de Intercambiar, Diferir y Expandir, el proyecto incrementó notablemente su valor al tal punto de volverlo atractivo.

Day Cauley & Pavlov (2002) estudiaron en el sector de Real Estate, específicamente en el mercado de viviendas familiares de Los Ángeles, en Estados Unidos, las opciones de postergar la venta de dichas viviendas en momentos de choques negativos de la demanda, cuando la iliquidez aumenta y los precios decaen, encontrando que en términos económicos es mucho más rentable esperar a vender y acarrear con los costos asociados, que vender en un momento de crisis.

Kitabatake (2003) utilizó las opciones reales en el análisis de un proyecto para construir una carretera dentro de un parque nacional en Japón, encontrando que los métodos tradicionales de valoración poseen ciertas limitaciones que son mejor cubiertas por las opciones reales.

Por su parte Ambrose (2005) estudió las políticas que llevan a diferentes gobiernos de municipalidades a forzar la construcción en terrenos baldíos y promover el desarrollo del área, utilizando un modelo de equilibrio de opciones reales, el autor muestra que la intervención del gobierno en estos asuntos puede no causar los efectos deseados y hacer que se produzcan retrasos en el desarrollo urbano de dichos lotes.

Cunningham (2006) analizó el uso de las opciones reales en desarrollo de terrenos, utilizando las transacciones de propiedades en el área de Seattle y llegó a la conclusión de que una mayor incertidumbre en precios hace que los proyectos se pospongan, así mismo, aumenta el precio de la tierra.

Fu & Jennen (2009) se interesaron por el estudio de las opciones reales en el Real Estate con fines comerciales, luego de analizar los mercados de Singapur y de Hong Kong y llegaron a la conclusión de que los inversionistas no solo responden a la diferencia entre oficinas disponibles y el nivel de equilibrio, sino también a la

volatilidad del mercado, tasas de interés reales y expectativas futuras de demanda; adicionalmente, muestran cómo el aumento en la volatilidad no solo hace que inversiones se pospongan, sino que también afecta cómo las decisiones de inversión son afectadas por cambios en la tasa de interés real y expectativas de crecimiento.

Ott, Hughen & Read (2012) en su estudio utilizaron las opciones reales para determinar cuál debía ser el punto óptimo de construir por fases un proyecto inmobiliario, así como el inventario de inmuebles por parte de las constructoras en el mercado de Estados Unidos; su estudio encuentra que debido a las particularidades de cada proyecto, puede ser conveniente una construcción por fases, una construcción completa, así como una irregular del proyecto.

Shen & Pretorius (2013) abordaron el estudio de cómo diferentes características de proyectos de real estate en Hong Kong, como restricciones financieras o arreglos institucionales, afectan la valoración con opciones reales de dichos proyectos, llegando a la conclusión de que estas características afectan notablemente el valor de la opción y las firmas deben tomar medidas para mejorar su flexibilidad en el negocio, que mejoren las oportunidades de ejercer las opciones reales.

Clapp, Salavei Bardos & Zhou (2014) utilizaron las opciones reales en el análisis de los determinantes de la expansión y contracción de los principales centros comerciales en once áreas metropolitanas entre 1995 y 2005, encontrando que los altos costos operativos reducen la probabilidad de expandir y aumentan la probabilidad de contraer. Adicionalmente, las expectativas de altos rendimientos futuros incrementan la probabilidad de expandir y reducen la probabilidad de contraer los centros comerciales; finalmente resaltan el gran valor que tiene la opción de postergar la expansión, debido a los riesgos asociados de esta decisión.

Junnila & Vimpari (2014) analizaron cómo la opción real de esperar podría afectar en este caso la desinversión de un fondo inmobiliario, en este caso un edificio de

apartamentos, analizando si debiese hacerse de manera escalonada o en una sola transacción, encontrando que la mejor estrategia para liquidar el fondo era adoptando una estrategia de vender los apartamentos de manera individual.

Rakić & Rađenović (2014) estudiaron cómo la opción de abandono en proyectos de infraestructura de asociaciones público-privadas afectaba el valor de los proyectos, tomando como caso de estudio la construcción de una carretera con contrato BOT (Build–operate–transfer), en el cual confirmaron que el valor del proyecto aumentó al incluir una cláusula en la que se pacte la venta del proyecto a la contraparte pública, por un valor de salvamento si los ingresos fuesen menores a lo esperado.

Li et al., (2014) al estudiar el mercado de vivienda chino, identificaron que los grandes problemas en la política del gobierno para promover la oferta de renta de vivienda era que no se contaba con modos de provisión adecuados y métodos de valoración relevantes, por tanto, los autores proponen la implementación de opciones reales para la valoración de los proyectos y así brindar un modelo que logre incentivar la adopción de las políticas del gobierno chino.

Shi, Yang, Tripe & Zhang (2015) investigaron el comportamiento de cómo los precios de los bienes inmobiliarios en Beijing son asignados, encontrando que las firmas constructoras utilizan un enfoque de opciones reales para asignar los precios en la etapa de preventa de los proyectos; adicionalmente, encontraron que la incertidumbre del mercado afecta notablemente los modelos de asignación de precios.

Vimpari & Junnila (2016) mostraron cómo el cambio acelerado del entorno económico hace imperativo que las edificaciones y construcciones en el sector inmobiliario logren adaptarse y transformarse con los ciclos económicos, y evidenciaron cómo las características físicas de los activos pueden crear valiosas opciones reales, que deben reconocerse en el análisis y la gestión de la inversión

inmobiliaria, opciones que contemplan, por ejemplo, cambiar la finalidad de un inmueble de oficinas a residencial, dependiendo de los ciclos económicos.

Fischberg Blank, Samanez, Nanda Baidya & Guimarães Dias (2016) estudiaron las dinámicas de las asociaciones público-privadas, utilizando las opciones reales como medio para determinar la viabilidad de proyectos de infraestructura, específicamente la construcción de una carretera con peajes en Brasil, así mismo, utilizaron las opciones reales para evaluar la opción que se tenía de abandonar el proyecto. El estudio concluye efectivamente que el uso de las opciones reales ayuda a reducir la incertidumbre de la valoración del proyecto y lo vuelve más atractivo, así mismo, la opción de abandono mejora la rentabilidad y reduce el riesgo de *default* del constructor.

Man et al. (2016) dentro del marco de proyectos de construcción de infraestructura en China, bajo el modelo de asociaciones público-privadas, estudiaron las opciones reales para realizar una propuesta de cómo deberían abordarse dichas asociaciones, buscando garantizar de la mejor forma los retornos de la inversión tanto del gobierno como de las empresas privadas.

Renigier-Biłozor & d'Amato (2017) analizaron para un conjunto de propiedades residenciales en Polonia, sujetas a una posible renovación, el uso de opciones reales para determinar el valor esperado de las propiedades, encontrado que el uso de un modelo binomial de opciones reales tiene gran potencial para resolver problemas en el mercado de Real Estate.

Mintah, Higgins, Callanan & Wakefield (2018) compararon los métodos de valoración de opciones reales y de descuento de flujos de caja para la valoración en proyectos de construcción residencial, donde encontraron que, en los proyectos analizados, la valoración por opciones reales capturaba 2.7% más valor, debido a la flexibilidad gerencial que aportaban a los proyectos, por tanto, se recomienda su uso en la valoración de proyectos de Real Estate.

Durica, Guttenova, Pinda & Svabova (2018) utilizaron la teoría de opciones reales para determinar la valoración de un proyecto de Real Estate en República Checa, incorporando las opciones de expandir, contraer y abandonar el proyecto; el estudio confirmó que el método de valor presente neto subvalora el proyecto al no incorporar la flexibilidad que le aportan las opciones a la valoración y que las opciones reales deben ser la forma de abordar la valoración.

Van den Boomen, Spaan, Schoenmaker & Wolfert (2019) estudiaron la aplicación del método Decision Tree Approach (DTA) como complemento al análisis tradicional de las Opciones Reales, ROA, aplicando este estudio a un proyecto de renovación de un puente dentro de un área urbana, donde se llega a la conclusión de que es recomendable su uso en el análisis de Opciones Reales, cuando variables de mercado como precios, riesgos sistemáticos de mercado, primas de riesgo o tasa libre de riesgo no puedan ser razonablemente estimadas.

#### **4. Caso de estudio**

Este trabajo toma como referencia el estudio realizado por Támara & Aristizábal (2012) referente al proyecto de construcción, en el cual se tiene planeada la construcción de 13 casas de campo en un área de tres hectáreas y un cuarterón; el terreno en el cual se desarrollará el proyecto se encuentra ubicado en zona rural del municipio de Sahagún (Córdoba), a una distancia de 4 km del Parque Central (ver figura 1 cuadro rojo).

**Figura 1.** Ubicación geoespacial del terreno del proyecto



Fuente: Tomado de Google Maps (2019).

La actualización de dicho estudio cobra gran importancia debido a cambios relevantes en la zona de estudio, actualmente el terreno posee una vía de acceso pavimentada, la cual al momento del estudio inicial no se tenía y no había expectativas futuras de su construcción. Adicionalmente, durante los últimos años se han construido gran cantidad de casas de campo entre el casco urbano y el terreno analizado, valorizando de forma acelerada dicho terreno año tras año, una prueba de esto ha sido el incremento en el precio del cuarterón que ha pasado de 5 millones de pesos en el 2012 a 50 millones de pesos en el 2019 por cuarterones, que se han vendido al frente del terreno del proyecto.

Otra diferencia entre este proyecto y el de Támara & Aristizábal (2012), es que el número de unidades construidas pasa de 15 a 13 para garantizar que cada casa de campo posea un área de un cuarterón. Actualmente la característica principal del proyecto, y por la cual el análisis de opciones reales es tan relevante, es que la licencia de construcción del proyecto tiene vencimiento en cinco años, plazo por el cual puede ser postergado el inicio de la construcción, por lo que la valoración incluirá la opción de diferir año tras año su inicio.

## 5. Análisis de resultados

Los datos principales del proyecto necesarios para su valoración son mostrados en la tabla 4.

**Tabla 4.** Datos del proyecto

Concepto	Valor
Valor del lote	\$ 500.000.000
Costos legales	\$ 10.000.000
Inversiones adicionales	\$ 15.000.000
Valor de venta de cada casa	\$ 532.500.000
Salario anual vendedor	\$ 18.000.000
Salario anual celador	\$ 12.000.000
Costo de construcción por casa	\$ 355.000.000
Bonificación x venta casa	1%

Fuente: Estimaciones del proyecto (2019).

Inicialmente se contempla la realización del proyecto en un plazo de 5 años, en los cuales se construirán 4 casas por año durante los años 2, 3 y 4, finalmente la casa número 13 se construirá en el año 5, la inversión inicial del proyecto asciende a 525 millones, de los cuales 500 millones corresponden al valor del terreno y la construcción escalonada de las casas permite aprovechar la alta valorización que experimenta el sector y poder participar de esta en la construcción de los años siguientes.

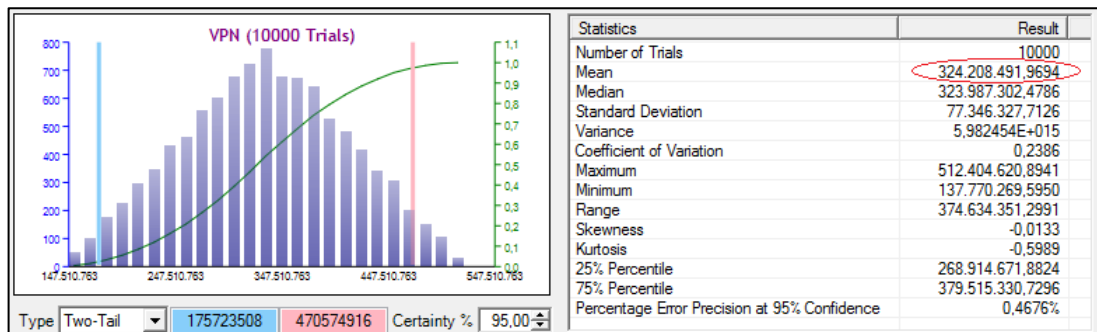
Teniendo en cuenta un costo de capital del 20% anual, con financiación exclusiva en capital propio, el análisis de viabilidad del proyecto arroja un VPN de \$324.940.426 pesos, con una TIR del 40,57% anual, luego de descontar la inversión inicial. La valoración inicial indica que es un proyecto bastante rentable, logrando duplicar el costo de capital del inversionista, sin embargo, teniendo la opción de diferir la inversión, se analizará la valoración nuevamente del proyecto, estudiando



si se inicia la construcción cada año durante 5 años, plazo máximo que otorga la licencia.

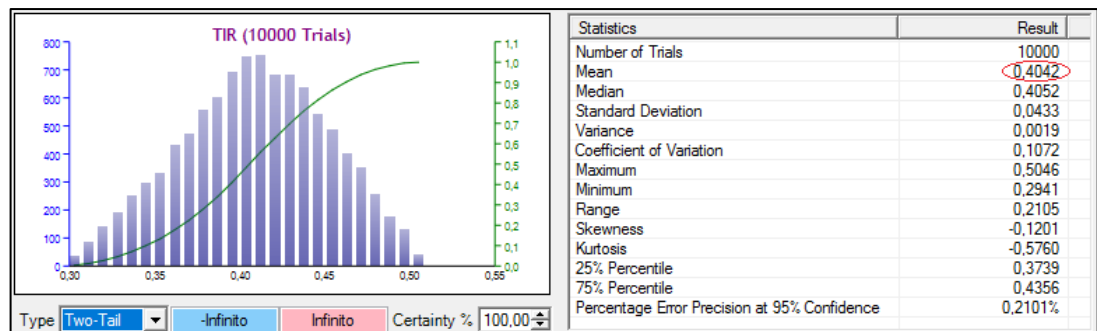
El principal insumo para el análisis de opciones reales es su volatilidad, para su cálculo se ha utilizado el software @Risk Simulator, en el cual, realizando 1.000 simulaciones de cambio en las variables de entrada, se logra obtener una volatilidad esperada del 9,19% anual en los flujos de caja del proyecto, un VPN esperado de \$324.208.491 pesos, así como una TIR esperada del 40,22% anual; estos datos son mostrados en las figuras 2, 3 y 4.

**Figura 2.** Simulación del VPN



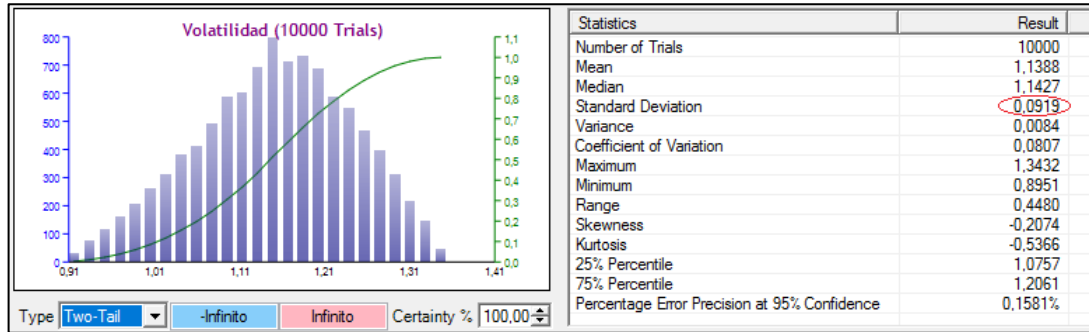
Fuente: Salida @Risk Simulator (2019).

**Figura 3.** Simulación de la TIR del proyecto



Fuente: Salida @Risk Simulator (2019).

**Figura 4. Simulación de la volatilidad**



Fuente: Salida @Risk Simulator (2019).

Con base en la simulación realizada, se logra contar con los datos necesarios para la valoración de la opción, mostrados en la tabla 6.

**Tabla 5. Insumos valoración de la opción de diferir el proyecto**

Concepto	Valor
Valor presente flujos de caja	\$ 849,940,426
Costo de la inversión	\$ 525,000,000
Factor de crecimiento del VPN del proyecto (u): $e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$	1.0963
Factor de decrecimiento (d): 1/u	0.9122
Probabilidad de Incremento (p)	78,31%
Tasa libre de riesgo tesoros colombianos	5.48%

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la tabla número 6 se muestra el Árbol del subyacente, este árbol binomial muestra la evolución anual esperada en valor presente de los flujos de caja del proyecto

Valor al alza año siguiente = Valor año anterior \* Factor crecimiento u

Valor a la baja año siguiente: Valor año anterior \* Factor decrecimiento d

**Tabla 6. Árbol del subyacente**

Año	0	1	2	3	4	5
						\$ 1,345,695,501
					\$ 1,227,538,544	
				\$ 1,119,756,198		\$ 1,119,756,198
			\$ 1,021,437,533		\$ 1,021,437,533	
		\$ 931,751,604		\$ 931,751,604		\$ 931,751,604
	\$ 849,940,426		\$ 849,940,426		\$ 849,940,426	
		\$ 775,312,567		\$ 775,312,567		\$ 775,312,567
			\$ 707,237,305		\$ 707,237,305	
				\$ 645,139,298		\$ 645,139,298
					\$ 588,493,723	
						\$ 536,821,834

Fuente: Elaboración propia (2019).

La tabla 7 muestra el Árbol del ejercicio, en este árbol binominal se compara en cada uno de los nodos el valor presente proyectado de flujos de caja del proyecto, respecto al valor de la inversión (\$525.000.000), lo que indicará por tanto el árbol y el VPN del proyecto en cada año ante escenarios positivos y negativos.

**Tabla 7. Árbol del ejercicio**

Año	0	1	2	3	4	5
						\$ 820,695,501
					\$ 702,538,544	
				\$ 594,756,198		\$ 594,756,198
			\$ 496,437,533		\$ 496,437,533	
		\$ 406,751,604		\$ 406,751,604		\$ 406,751,604
	\$ 324,940,426		\$ 324,940,426		\$ 324,940,426	
		\$ 250,312,567		\$ 250,312,567		\$ 250,312,567
			\$ 182,237,305		\$ 182,237,305	
				\$ 120,139,298		\$ 120,139,298
					\$ 63,493,723	
						\$ 11,821,834

Fuente: Elaboración propia (2019).

Una conclusión importante del árbol del ejercicio, mostrado en la tabla 7, es que en el año 5 todos los posibles valores son positivos, es decir, ante el escenario más

negativo el proyecto dejaría \$11.821.834 de pesos de ganancia, luego de descontar la inversión.

El Árbol de la opción viva, mostrado en la tabla número 8, muestra cómo en el año 5 el inversionista se enfrenta a la decisión de maximizar entre el VPN del proyecto en el nodo y cero, es decir, decidir no realizar el proyecto en caso de que la inversión inicial superara el valor de los flujos de caja a recibir.

Maximizar: {VPN del proyecto, 0}

Como el VPN es positivo en todos los escenarios del año 5, el inversionista decidiría en todos ellos la construcción del proyecto, seguido a esto, se calculará para el año 4, y a partir de allí para todos los años hasta el año actual, una media ponderada por las probabilidades de los escenarios siguientes; previamente se calculó la probabilidad de ocurrencia de un escenario positivo (p) en 78,31%, por tanto, la probabilidad de ocurrencia de un escenario negativo (1-p) es 21,69%, la media ponderada del valor de la opción seguirá la siguiente fórmula:

$$\text{Valoración de la opción viva} = \frac{\text{Valor}_u * p + \text{Valor}_p * (1-p)}{(1+r)^{\Delta t}}$$

**Tabla 8.** Árbol de la opción viva

Año	0	1	2	3	4	5
						\$ 820,695,501
					\$ 731,593,634	\$ 594,756,198
			\$ 578,535,303	\$ 651,139,155	\$ 525,193,802	\$ 406,751,604
	\$ 454,043,347	\$ 513,056,760	\$ 406,291,166	\$ 462,589,001	\$ 353,448,046	\$ 250,312,567
		\$ 355,708,480	\$ 262,966,440	\$ 305,696,000	\$ 210,538,023	\$ 120,139,298
				\$ 175,144,989	\$ 91,622,278	\$ 11,821,834

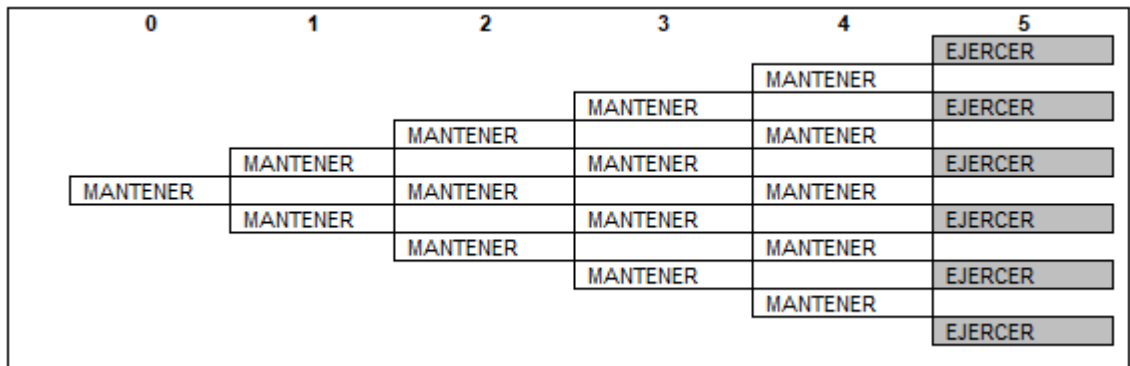
Fuente: Elaboración propia (2019).

Al observar los valores del árbol de la opción viva se contempla que se tienen valores positivos en cada uno de los nodos del árbol, la interpretación de estos valores indica que año a año la opción de postergar el inicio de la construcción del proyecto tiene valor, y será recomendable por tanto mantener la opción de esperar hasta el año 5 la construcción de las 13 casas del proyecto, dicha decisión se refleja de la siguiente manera:

Maximizar = {Valor del nodo en el árbol de la opción viva, valor del nodo en el árbol de ejercicio}

Es decir, si el valor de la opción viva es mayor al VPN proyectado de los flujos de caja en los nodos anuales, se mantendrá la opción de postergar la construcción.

**Tabla 9.** Árbol de escenarios de ejercicio



Fuente: Elaboración propia (2019).

Finalmente, puede calcularse el valor total del proyecto como la sumatoria del VPN inicial del proyecto y el valor actual de postergar el inicio del proyecto, logrando obtener un valor de \$778.983.773 pesos.

Valor total del proyecto = VPN del proyecto + Valor de la opción

Valor total del proyecto = \$324.940.426 + \$454.043.347

Valor total del proyecto = \$778.983.773

El valor esperado del proyecto logra ser muy superior al valor inicial del proyecto.

## **6. Conclusiones**

Usualmente el análisis de las opciones reales es utilizado en entornos de alta incertidumbre, en los cuales es muy común encontrar proyecto que inicialmente parecen no ser rentables, pero al incluir dentro de su valor las diferentes opciones que se cuentan en los proyectos, logran convertir los proyectos en negocios rentables.

El caso analizado muestra, por otro lado, cómo un proyecto que inicialmente posee una rentabilidad muy atractiva, puede mejorar aún más al incluir la posibilidad de postergar su puesta en marcha.

El análisis mostrado en el presente documento se constituye, por tanto, en una importante herramienta a tener en cuenta a la hora de realizar proyectos inmobiliarios y determinar la fecha idónea para el inicio de los mismos.

## Referencias

- Ambrose, B. (2005). Forced development and urban land prices. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 30(3), 245-265. doi:10.1007/s11146-005-6406-y
- Ashuri, B., Lu, J., & Kashani, H. (2011). A real options framework to evaluate investments in toll road projects delivered under the two-phase development strategy. *Built Environment Project and Asset Management*, 1(1), 14–31.
- Calle, A. M., & Tamayo, V. M. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios Gerenciales*, 25(111), 107–126.
- Cauley, S., & Pavlov, A. (2002). Rational Delays: The Case of Real Estate. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 24(1-2), 143-165. doi:10.1023/A:1013990523388
- Clapp, J., Bardos, K., & Zhou, T. (2014). Expansions and Contractions of Major US Shopping. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 48(1), 16-56. doi:10.1007/s11146-012-9382-z
- Cunningham, C. (2006). House price uncertainty, timing of development, and vacant land prices: Evidence for real options in Seattle. *Journal of Urban Economics*, 59(1), 1–31. doi:10.1016/j.jue.2005.08.003
- Durica, M., Guttenova, D., Pinda, L., & Svabova, L. (2018). Sustainable value of investment in real estate: Real options approach. *Sustainability (Switzerland)*, 10(12), 4665. doi:10.3390/su10124665
- Fischberg Blank, F., Samanez, C. P., Nanda Baidya, T. K., & Guimarães Dias, M. A. (2016). Economic valuation of a toll road concession with traffic guarantees and the abandonment option. *Producao*, 26(1), 39-53. doi:10.1590/0103-6513.168713

- Fu, Y., & Jennen, M. (2009). Office Construction in Singapore and Hong Kong: Testing Real Option Implications. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 38(1), 39-58. doi:10.1007/s11146-008-9145-z
- Guj, P., & Chandra, A. (2019). Comparing different real option valuation approaches as applied to a copper mine. *Resources Policy*, 180-189. doi:10.1016/j.resourpol.2019.01.020
- Google (2019). [Mapa zona rural de Sahagún - Córdoba en Google Maps]. <https://www.google.com/maps/place/Sahag%C3%BAn,+C%C3%B3rdoba/@8.9526267,-75.4551958,5727m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e5963d251644d9f:0x6d6e0fe2908f08a6!8m2!3d8.950643!4d-75.446001>
- Junnila, S., & Vimpari, J. (2014). Value of waiting – option pricing as a tool for residential real estate fund divestment management. *Property Management*, 32(5), 400-414. doi:10.1108/PM-03-2014-0013
- Kitabatake, Y. (2003). Real options analysis of the Minami Alps forest road construction project: new valuation approach to social infrastructure project with sequential unit projects. *Environmental Economics and Policy Studies*, 5(4), 261-290. doi:10.1007/BF03353925
- Leung, B., & Hui, E. (2002). Option pricing for real estate development: Hong Kong Disneyland. *Journal of property investment finance*, 20(6), 473-495. doi:10.1108/14635780210446487
- Li, D., Chen, H., Chi-man Hui, E., Xiao, C., Cui, Q., & Li, Q. (2014). A real option-based valuation model for privately-owned public rental. *Habitat International*, 43, 125-132. doi:10.1016/j.habitatint.2014.03.001
- Liapis, K., Christofakis, M., & Papacharalmpous, H. (2011). A new evaluation procedure in real estate projects. *Journal of Property Investment & Finance*, 29(3), 280–296.



- Man, Q., Sun, C., Fei, Y., Skitmore, M., Bai, Y., & Lu, W. (2016). Government motivation-embedded return guarantee for urban infrastructure projects based on real options. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(7), 954-966. doi:10.3846/13923730.2016.1204362
- Mintah, K., Higgins, D., & Callanan, J. (2018). A real option approach for the valuation of switching output flexibility in residential property investment. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 23(2), 133–151.
- Mintah, K., Higgins, D., Callanan, J., & Wakefield, R. (2018). Staging option application to residential development: real options approach. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, 11(1), 101-116. doi:10.1108/IJHMA-02-2017-0022
- Myers, S. C. (1984). Finance Theory and Financial Strategy. *Finance Theory and Financial Strategy*, 14(1), 126–137.
- Ott, S., Huguen, W., & Read, D. (2012). Optimal Phasing and Inventory Decisions for Large-Scale Residential Development Projects. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 45(4), 888-918. doi:10.1007/s11146-011-9299-y
- Rakić, B., & Rađenović, T. (2014). Real options methodology in public-private partnership projects valuation. *Economic Annals*, 59(200), 91-113. doi:10.2298/EKA1400091R
- Renigier-Bilozor, M., & d'Amato, M. (2017). The valuation of hope value for real estate development. *Real Estate Management and Valuation*, 25(2), 91-101. doi:10.1515/remav-2017-0016
- Renigier-Bilozor, M., & d'Amato, M. (2017). The valuation of hope value for real estate development. *Real Estate Management and Valuation*, 25(2), 91-101. doi:10.1515/remav-2017-0016
- @Risk Simulator (2019). *Risk Simulator - Software shop*. Retomado de

<https://www.software-shop.com> › producto › risk-simulator

- Shen, J., & Pretorius, F. (2013). Binomial option pricing models. *Journal of Property Investment & Finance*, 31(5), 418-440. doi:10.1108/JPIF-10-2012-0046
- Shi, S., Yang, Z., Tripe, D., & Zhang, H. (2015). Uncertainty and new apartment price setting: A real options approach. *Pacific-Basin Finance Journal*, 35, 574-591. doi:10.1016/j.pacfin.2015.10.004
- Támara, A., & Aristizábal, R. (2012). Las opciones reales como metodología alternativa en la evaluación de proyectos de inversión. *Ecos de Economía*, 16(35), 29-44.
- Tanaka, Á. T., & Carrasco, C. (2016). Valorización de opciones reales: modelo Ornstein-Uhlenbeck. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 21(41), 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.jefas.2016.07.001>
- Ullrich, C. (2013). Valuation of it investments using real options theory. *Business and Information Systems Engineering*, 5(5), 331-341. doi:10.1007/s12599-013-0286-0
- Van den Boomen, M., Spaan, M., Schoenmaker, R., & Wolfert, A. (2019). Untangling decision tree and real options analyses: a public infrastructure case study dealing with political decisions, structural integrity and price uncertainty. *Construction Management and Economics*, 37(1), 24-43. doi:10.1080/01446193.2018.1486510
- Vimpari, J., & Junnila, S. (2016). Theory of valuing building life-cycle investments. *Building Research and Information*, 44(4), 345-357. doi:10.1080/09613218.2016.1098055