

# Valoración de un proyecto para la construcción de un parqueadero cerca del Aeropuerto Internacional José María Córdova, con el enfoque de opciones reales

**Carlos David Restrepo López**  
*cdrestrepl@eafit.edu.co*

**Luz Adriana López Osorio**  
*lalopezo@eafit.edu.co*

## **Resumen**

Esta investigación, cuyo objetivo es diseñar la valoración de un parqueadero con el enfoque de opciones reales, se desarrollará mediante la utilización de las metodologías tradicionales como una fuente de información primaria; posteriormente, utilizando el enfoque de opciones reales, se definirá la viabilidad de la expansión del proyecto.

Se utilizará la metodología de árboles binomiales y la simulación Monte Carlo para demostrar la viabilidad de la expansión, tomando así un horizonte de tiempo de seis años al realizar dicha valoración. Los resultados indicarán si el enfoque de las opciones reales permite evaluar los posibles escenarios que se pueden presentar a lo largo del proyecto, y si se pueden implementar estrategias que permitan tomar la mejor decisión y llevar a cabo la creación de un proyecto que genere rentabilidad para los inversionistas.

## **Palabras clave**

Opciones reales, Valor Presente Neto, valoración, construcción, simulación.

## **Abstract**

This research aims to design the valuation of a parking lot with the real options approach. It will be developed through the use of traditional methodologies as a primary information source, then, the Real Options approach will provide us with the viability of the expansion of the project. The methodology of binomial trees and the Monte Carlo simulation will be used to demonstrate the viability of the expansion, thus taking a time horizon of six years to make such an assessment. The results will indicate if the real options approach allows the evaluation of the possible scenarios arising throughout the project and the implementation strategies that allow to take the best decision and carry out the execution of a project which generates profitability for the investors.

## **Keywords**

Real options, VNA, valuation, construction, simulation.

## 1. Introducción

Con el paso de los años, la popularidad y el ingreso de aerolíneas de bajo costo han hecho que los precios de los tiquetes aéreos sean más asequibles a la población; debido a esto, han surgido alrededor de los aeropuertos una serie de negocios entre los que se encuentran los parqueaderos para las personas que viajan continuamente y que quieren dejar su vehículo en un lugar seguro, donde tengan la certeza de encontrarlo cuando regresen. Dichos parqueaderos ofrecen una variada gama de servicios como transporte hacia el aeropuerto, lavado, restaurantes, estaciones de servicio, entre otros. Si se desea implementar un proyecto exitoso de parqueadero es necesario hacer un análisis minucioso que ayude a que, en cierta medida, este proceso se logre sin mayores contratiempos o pérdidas de dinero, y que tenga utilidades para los accionistas.

Para la valuación de proyectos se utilizan diferentes metodologías tradicionales de valoración, como la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Presente Neto (VPN), la tasa de rendimiento requerida, el periodo de recuperación, entre otros. En este trabajo se utiliza el VPN como metodología tradicional, que determina la viabilidad o no del proyecto; sin embargo, esta metodología será complementada por la teoría de las opciones reales, que se enmarca dentro de los escenarios de incertidumbre que cubre a los proyectos de este tipo. Cabe anotar que esta técnica es muy poco utilizada, pero de gran utilidad, pues facilita la toma de decisiones y hace que proyectos evaluados con métodos tradicionales, los cuales muestran retornos negativos, se conviertan en una alternativa de inversión con flujos positivos. Cuando se introduce la opcionalidad en la toma de decisiones se puede lograr el aumento de las ganancias, el aumento de las posibilidades de inversión o de crecimiento y la reducción de las pérdidas en cualquier etapa de implementación del proyecto. En general, cuando se desarrolla un proyecto, y a lo largo de su vida, son muchas las opciones que se plantean o se presentan; la posibilidad de valorarlas hace que el proyecto valga más que uno que no lo haga.

En este trabajo se evalúa el potencial de un proyecto enmarcado en la oportunidad de implementar un parqueadero cerca del Aeropuerto Internacional José María Córdova, con una capacidad de ochocientas celdas para parqueo. Se analiza la posibilidad de expandirlo por medio de la metodología de opciones reales y se hace una valoración por los métodos tradicionales para tomar la decisión que más beneficie a los inversionistas. El siguiente trabajo se presenta a través de seis secciones que son: la introducción, la revisión de literatura (que contiene trabajos anteriores de construcción que han sido valorados con esta técnica), la descripción del proyecto (en donde se incluyen las variables a tener en cuenta para el cálculo y toma de decisiones), la valoración del proyecto por la metodología tradicional (VPN) y por opciones reales (árbol binomial), los resultados y las conclusiones.

## **2. Revisión de literatura**

La evaluación de proyectos por medio de opciones reales se ha extendido porque es más dinámica; además, proporciona una flexibilidad que no ofrecen los métodos tradicionales a la hora de analizar el momento exacto para llevar a cabo un proyecto, y facilita la posibilidad de implementar contingencias que eviten o mitiguen las potenciales pérdidas que ocasionen el abandono de un proyecto. Todos los proyectos que se formulan tienen opciones que añaden valor y, por tanto, ayudan a agrupar las estrategias para el análisis y la toma de decisiones financieras y las reales. Adicionalmente, se plantea que, si se desea optimizar los resultados que arrojan los métodos tradicionales, la utilización de árboles binomiales es una herramienta que ayuda a la valuación del riesgo y a obtener resultados más confiables para la toma de decisiones. La opcionalidad en los proyectos permite modificarlos en fechas futuras y tomar las decisiones de acuerdo con las necesidades y las condiciones del entorno económico, político y social.

Por la incertidumbre en los mercados, debido a los cambios económicos, políticos y sociales que se presentan a diario, la metodología de valoración por opciones reales es una alternativa muy confiable para valorar proyectos, ya que

por medio de la incertidumbre no es posible saber qué pasará en el futuro y el comportamiento de variables como la inflación, el consumo, la tasa de interés, el Producto Interno Bruto (PIB), entre otros, que afectan negativa o positivamente el desempeño de las organizaciones y los proyectos en general. Es allí donde la metodología de opciones reales toma gran relevancia; esta ha aportado, desde 1984, una solución alternativa que permite mayor diversificación y apoya la toma de decisiones que ayudan a las organizaciones y proyectos a salir de las crisis económicas que afectan el mercado, que ponen en riesgo su continuidad y las diferentes opciones de crecimiento e inversión que se presentan.

Ng y Björnsson (2004) realizaron un proyecto para analizar y evaluar las inversiones que se pueden dar en el medio de la arquitectura, la construcción y la ingeniería, y que los profesionales que están interesados en dichas áreas puedan manejar las opciones reales para valorar dichas alternativas. A través del proyecto se pudo llegar a concluir que dichos profesionales tienen dificultades para poder utilizar estos métodos; para conseguir la información se tuvieron en cuenta cuáles variables se pueden utilizar para poder desarrollar dichos proyectos y en cuáles escenarios se deben desarrollar. Esta teoría es ejemplificada con la valoración de una carretera de peaje, proporcionando las debidas fórmulas y concluyendo que las opciones reales difieren de los análisis de decisión cuando un mercado es incompleto.

Garvin y Cheah (2004) analizaron las técnicas de valoración por métodos tradicionales y por medio de las opciones reales para el sector de la infraestructura pública, lo que les permitió poder tomar decisiones de inversión. Mediante este proyecto se trató de evaluar la viabilidad económica para el desarrollo de los proyectos que, generalmente, tienen problemas en mantener el capital de los dueños de dichas infraestructuras. Para poder evaluar estas técnicas se examinaron los supuestos a través de un caso de carretera de peaje, y se encontró que el método de valoración por opciones reales apoya el método tradicional para poder tomar mejores decisiones estratégicas; en el caso de la carretera se llega a la conclusión de aplazar dicho proyecto.

Se concluye que la valoración de este tipo de proyectos es dependiente de los datos variables del mismo, para poder llegar a una toma de decisiones financieramente viable.

Cheah y Liu (2005) hicieron un trabajo para evaluar los proyectos de infraestructura, que son bastante complejos. Los autores partieron de la hipótesis de que existen riesgos dentro de los diferentes contratos de desarrollo de proyectos en el sector de la infraestructura que no pueden ser valorados por métodos tradicionales, como el modelo de VPN. Bajo esta hipótesis parten de que el modelo para valorar bajo opciones reales es más óptimo a la hora de tomar decisiones en este sector; sin embargo, la aplicación del mismo sigue siendo muy limitada. En el artículo se realiza la evaluación de varias opciones para un proyecto de construcción en la India, y concluyen que el modelo de opciones reales es un método donde se puede encontrar bien explicado el tema de la flexibilidad; sin embargo, el caso demostró que primero habría que analizar y superar los problemas de implementación que tiene el modelo bajo el sector de la infraestructura.

Chiara, Garvin y Vecer (2007) analizaron cómo se pueden enfocar las opciones reales hacia los diferentes proyectos de infraestructura y construcción, ya que el artículo plantea que dichos proyectos tienen unos riesgos bastante grandes que afectan directamente a los ingresos, y que las garantías que les ofrece el gobierno para poder mitigar dichos riesgos no son lo suficientemente considerables. A la hora de observar y analizar la estructura de estas garantías las opciones reales toman lugar, realizando un análisis de Monte Carlo para poder ilustrar los diferentes escenarios razonables de dichas garantías y para evidenciar cuáles serían las diferentes oportunidades viables para estos proyectos, y así mejorar la flexibilidad de la toma de decisiones a la hora de invertir en dichos proyectos. Los autores concluyen que el método les agrega flexibilidad en la toma de decisiones y la mitigación de riesgos, y con este se pueden mejorar las futuras negociaciones y estrategias financieras que pueden tomar frente a los proyectos de este sector.

Grupo, Sewalk y Huo (2012) estudiaron, por medio de la metodología de opciones reales, cuál es la estrategia que ayude a maximizar las utilidades en un proyecto de inversión inmobiliario de uso mixto en Denver, Estados Unidos. Se comparó el retorno de la inversión según el plan inicial con otras alternativas de construcción, como centros comerciales y apartamentos sin uso mixto, para así poder decidir cómo y cuándo cambiar la combinación de propiedades, lo que permite optimizar los ingresos.

Kim, Ashuri y Han (2013) realizaron una valoración financiera con la metodología de opciones reales, para determinar el mejor momento de entrada en el mercado internacional de la construcción. Para el análisis se tuvo en cuenta que se requiere una gran inversión de capital que permita ingresar a mercados internacionales; que este capital no se puede recuperar en su totalidad cuando se sale del mercado y la gran incertidumbre a la que se enfrentan los inversionistas a la hora de medir y cuantificar los riesgos. Se utilizaron metodologías tradicionales como el VPN y el enfoque de opciones reales para medir si se aplaza la inversión o se sale del mercado. Se concluye que las metodologías tradicionales no cuantifican la volatilidad y no proporcionan flexibilidad, como sí lo hacen las opciones reales que, a su vez, permiten calcular el costo de oportunidad de la inversión y tomar decisiones que aporten valor para los inversionistas.

Esders, Adey y Lethanh (2016) hacen un comparativo entre las metodologías tradicionales y las opciones reales para la evaluación de programas de trabajo (WP) óptimos en la construcción de edificios de oficinas. Para la evaluación se tiene en cuenta una alta incertidumbre, asociada con los costos operativos, y se concluye que el uso de opciones reales permite determinar los WP que mejor benefician al proyecto de inversión, gracias a la flexibilidad y el potencial de mejora en la toma de decisiones a través del tiempo.

Mintah, Higgins y Callanan (2018) buscaron analizar, con el enfoque de opciones reales, la estrategia óptima de inversión en un proyecto de inversión residencial en Australia. Se realizó una comparación entre la flexibilidad de

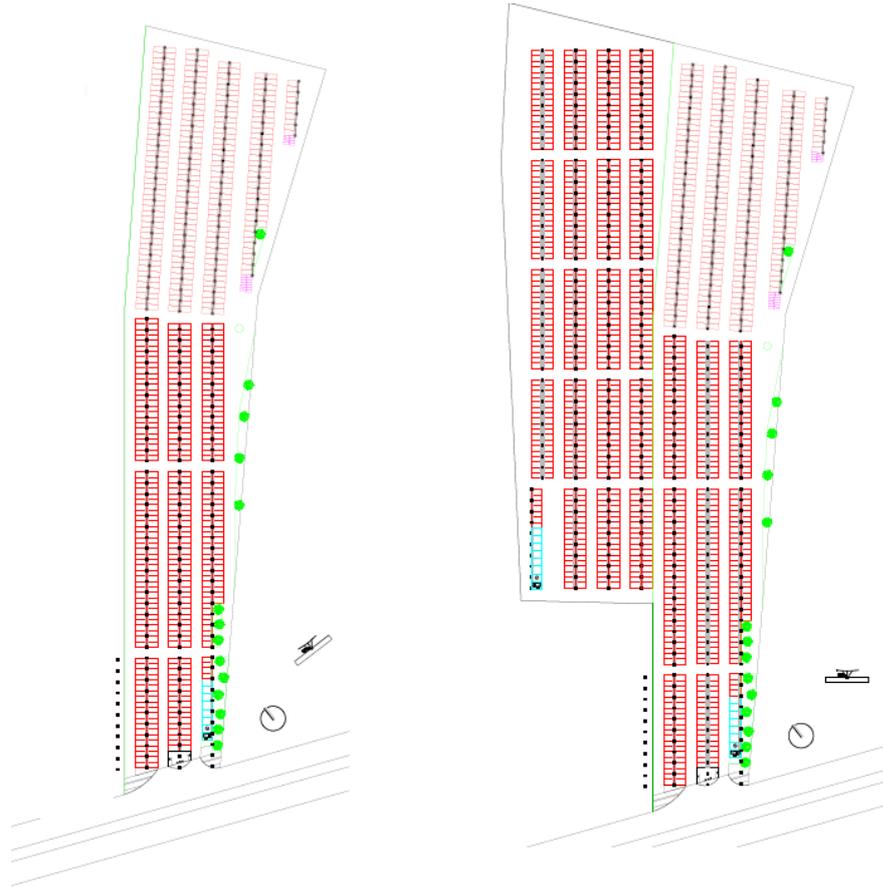
salida y la opción de compra estadounidense perpetua con pago de dividendos. Allí se estableció que la flexibilidad es una de las estrategias más importantes para la mitigación del riesgo y, en la gestión de la incertidumbre, que ofrece alternativas de solución a problemas que se presentan a lo largo del proyecto y ayuda en la reducción de posibles costos que puedan ocasionar el abandono del proyecto y posibles pérdidas para los inversionistas.

Van den Boomen, Spaan, Schoenmaker y Wolfert (2019) realizaron un análisis por medio de la metodología de opciones reales para medir la flexibilidad en la toma de decisiones y cómo agregar valor para la inversión y reemplazo de la infraestructura pública. Se utilizó un árbol binomial o de decisión, y se concluyó que debido a la incertidumbre relacionada con los factores micro y macroeconómicos, las políticas públicas, los precios y los costos de la construcción, esta metodología favorece el proceso de toma de decisiones, pero aún no es muy utilizado en la evaluación para la construcción de infraestructura pública. Se recomienda su uso en momentos de incertidumbre.

### **3. Descripción del proyecto**

Se realiza la valoración de un proyecto para la construcción de un parqueadero cerca del Aeropuerto Internacional José María Córdova, con el enfoque de opciones reales, en un lote que tiene una extensión de 19.620 m<sup>2</sup>. Se espera que tenga una capacidad de 800 celdas de parqueo, una vida útil de 10 años y una inversión inicial de \$11.719.144.762 (el valor incluye lote, obra civil y adecuaciones). Además, se plantea la posibilidad de expansión en seis años en un lote aledaño de 17.869 m<sup>2</sup> (véase imagen 1).

**Imagen 1. Lote sin ampliación y con ampliación**



Fuente: elaboración propia.

Para que el parqueadero cubra todos sus costos y gastos debe tener 257 celdas utilizadas diariamente, equivalente al 32 % de su capacidad. Este valor es explicado por el costo a la deuda y de personal necesario para que funcione correctamente. El ingreso propuesto para cada una de las plazas es de \$14.000, valor promedio cobrado por los demás negocios del sector con el mismo objeto social. Si se lleva a cabo la expansión del proyecto tendría un costo de \$10.706.345.442, equivalente al 91 % de la inversión inicial. Cuando se analiza el árbol binomial se tiene que el valor de la opción es mayor que la del ejercicio; en otras palabras, en estos escenarios es mejor mantener la opción que ejercerla.

La información necesaria para el cálculo de estado de resultados, flujo de caja, amortizaciones, tabla de pagos y demás datos importantes para la valoración es la siguiente:

- La tasa del crecimiento del precio es de 3,18 %.
- La tasa de crecimiento de los flujos de caja es de 3,14 %.
- La rentabilidad mínima exigida por los inversionistas es del 25 %.
- La financiación será del 60 %, deuda financiera, y 40 % con capital propio. El plazo es de 10 años con una tasa de interés del 15 % EA.
- La tasa impositiva es del 33 %.
- La inversión en instalaciones es de 9,58 %.
- La inversión anual por mantenimiento es de \$50.000.000.
- Los costos operativos son el 10 % de los ingresos.
- Los gastos de amortización por año son de \$112.290.894.
- El WACC (Weighted Average Cost of Capital) es del 16 %.

#### **4. Valoración del proyecto**

La valoración para el proyecto de construcción y funcionamiento de un parqueadero cerca del Aeropuerto Internacional José María Córdova se lleva a cabo primero por los métodos tradicionales más utilizados en el medio financiero, como el cálculo de flujos de caja descontados al WACC y la valoración de árboles binomiales.

##### **Valoración por flujo de caja descontado**

Para la valoración por el método de flujos de caja descontados para un proyecto de construcción y funcionamiento de un parqueadero se utiliza la metodología tradicional del cálculo del VPN del proyecto, y la TIR para garantizar la viabilidad de la inversión. Para poder hallar estos valores se recurre al cálculo de flujo de caja descontados al WACC, el cual se expresa de la siguiente manera:

$$WACC = \%D * Kd * (1 - T) + \%E * Ke$$

Donde, el %D (porcentaje de la deuda) y %E (porcentaje del patrimonio) estarán dados por el 60 % y el 40 %, respectivamente. El Kd (costo de la deuda) y el Ke (costo de Equity, representado como la tasa mínima que requieren los inversionistas) serán del 15 % y el 25 %, respectivamente. Y por último la T (tasa impositiva) será del 33 %. Los datos anteriormente descritos facilitan el cálculo del WACC, que para este proyecto es de 16,03 %. Luego se procede al cálculo del VPN y TIR del proyecto, y se encuentra que el VPN asciende a un valor de \$7.036.669.819, el cual representa una clara viabilidad de realizar el proyecto, respaldado con una TIR del 25,92 %, la cual cumple con la tasa mínima que requieren los accionistas para poder realizar dicha inversión (véase tabla 1).

**Tabla 1.**

**Flujos de caja descontados al WACC**

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Utilidad Operativa		\$ 3.516.509.107	\$ 3.631.904.947	\$ 3.750.970.374	\$ 3.873.822.083	\$ 4.000.580.475	\$ 4.131.369.785	\$ 4.266.318.194	\$ 4.405.557.963	\$ 4.549.225.557	\$ 4.697.461.780
Amortización		\$ 112.290.894	\$ 112.290.894	\$ 112.290.894	\$ 112.290.894	\$ 112.290.894	\$ 112.290.894	\$ 112.290.894	\$ 112.290.894	\$ 112.290.894	\$ 112.290.894
Inversiones	-\$	11.719.144.762	-\$ 50.000.000	-\$ 51.590.000	-\$ 53.230.562	-\$ 54.923.294	-\$ 56.669.855	-\$ 58.471.956	-\$ 60.331.364	-\$ 62.249.902	-\$ 64.229.448
Flujo de Caja Operativo	-\$	11.719.144.762	\$ 3.578.800.000	\$ 3.692.605.840	\$ 3.810.030.706	\$ 3.931.189.682	\$ 4.056.201.514	\$ 4.185.188.722	\$ 4.318.277.724	\$ 4.455.598.955	\$ 4.597.287.002
Impuesto operativo	-\$		-\$ 1.160.448.005	-\$ 1.198.528.632	-\$ 1.237.820.223	-\$ 1.278.361.287	-\$ 1.320.191.557	-\$ 1.363.352.029	-\$ 1.407.885.004	-\$ 1.453.834.128	-\$ 1.501.244.434
Flujo de Caja Libre	-\$	11.719.144.762	\$ 2.418.351.995	\$ 2.494.077.208	\$ 2.572.210.482	\$ 2.652.828.395	\$ 2.736.009.957	\$ 2.821.836.693	\$ 2.910.392.719	\$ 3.001.764.827	\$ 3.096.042.568
Valor Terminal											\$ 25.544.357.280
FCL VT	-\$	11.719.144.762	\$ 2.418.351.995	\$ 2.494.077.208	\$ 2.572.210.482	\$ 2.652.828.395	\$ 2.736.009.957	\$ 2.821.836.693	\$ 2.910.392.719	\$ 3.001.764.827	\$ 3.096.042.568
CRECIMIENTO % FCL				3,13%	3,13%	3,14%	3,14%	3,14%	3,14%	3,14%	3,14%
VPN	\$	7.036.669.819	VPN Medio	\$ 7.196.944.199							
TIR		25,92%	TIR Medio	25,83%							

Fuente: elaboración propia.

Luego de obtener estos valores, bajo las metodologías tradicionales, se realizaron los cálculos de los mismos a través de la herramienta informática de simulación @RiskSimulator, con el fin de obtener un valor medio de la VPN y TIR a través de 10.000 simulaciones bajo unos escenarios optimista, conservador y pesimista; trabajándose con una distribución triangular y con los datos de entrada de ingreso diario por plaza, tasa de crecimiento del precio, tasa de crecimiento de los flujos de caja y el WACC (véase tabla 2).

**Tabla 2.**

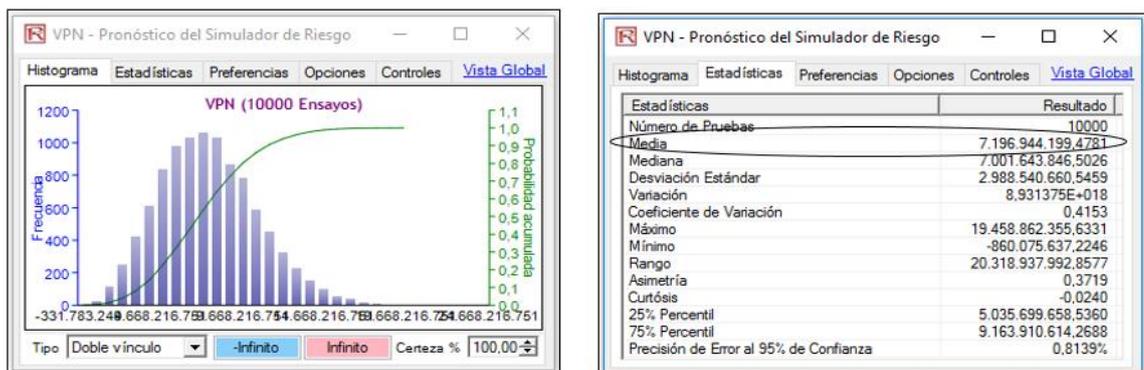
Variables de entrada para la simulación

VARIABLES	ESCENARIOS		
	OPTIMISTA	CONSERVADOR	PESIMISTA
Ingreso diario por plaza	\$18.000	\$14.000	\$10.000
Tasa de crecimiento del precio	5,18 %	3,18 %	1,80 %
Tasas de crecimiento de los FCL	4,14 %	3,14 %	2,14 %
WACC	19,03 %	16,03 %	13,03 %

Fuente: elaboración propia.

Como rangos de salida se tomaron la VPN, TIR y la volatilidad de los flujos de caja traídos a valor presente. Después de realizar las 10.000 iteraciones se encontró que el VPN medio del proyecto ascendió a un valor de \$7.196.944.199; bajo el mejor escenario se encontró que el VPN sería de \$19.458.862.355 y bajo un escenario pesimista sería de \$-860.075.637. Razón por la cual, puede concluir que el proyecto será viable financieramente solo en los escenarios pesimistas y conservador (véase imagen 2).

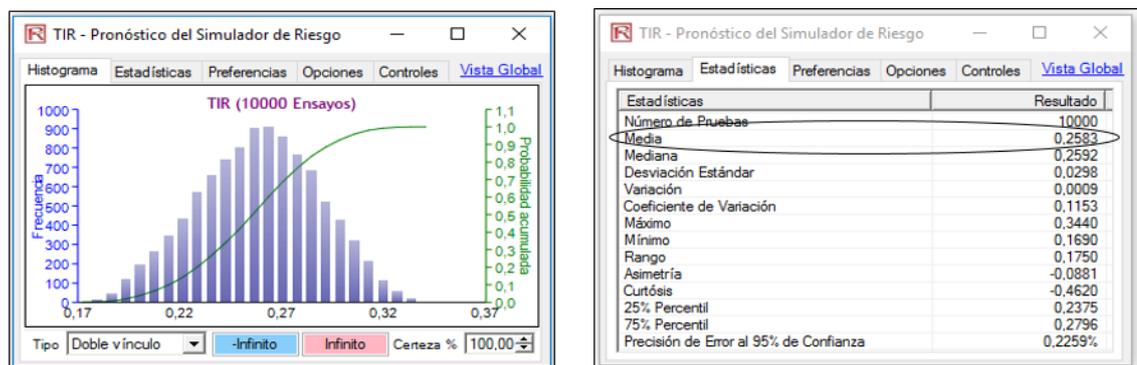
**Imagen 2. Pronóstico de Riesgo VPN**



Fuente: elaboración propia.

Además, la simulación de la TIR arroja que el valor medio sería de 25,83 %, bajo un escenario optimista la TIR sería de 34,40 %, y bajo el peor escenario posible que se pueda encontrar el proyecto la TIR tendría un valor de 16,90 %. Concluyendo así que los escenarios optimista y conservador serían los únicos que podrían cubrir la tasa mínima requerida por los inversionistas; aunque en el escenario pesimista el valor sea positivo no sería suficiente para cubrir la TMR del 25 % (véase imagen 3).

**Imagen 3.** Pronóstico de riesgo TIR



Fuente: elaboración propia.

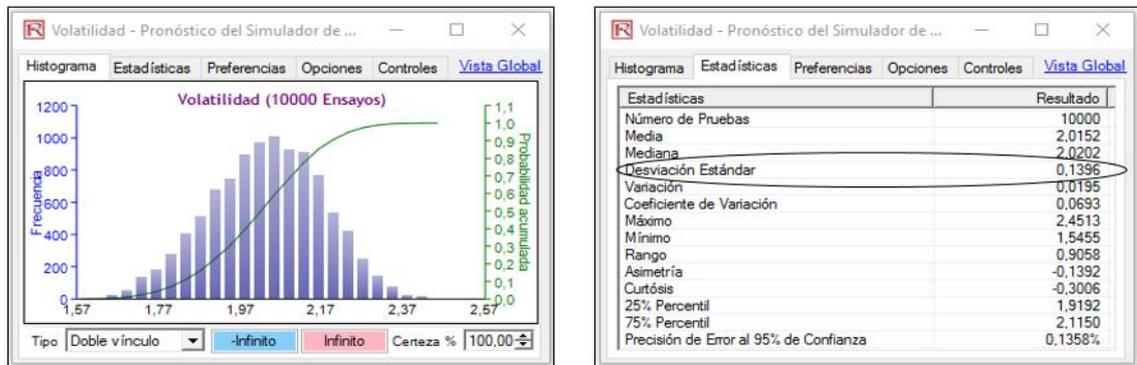
Una vez analizado el proyecto, bajo las técnicas tradicionales, se procede con el cálculo de la volatilidad a través de la herramienta informática @RiskSimulator, para analizar si la expansión del parqueadero es viable o no. Se calculó la volatilidad de los flujos de caja anteriormente encontrados con la siguiente fórmula:

$$LN\left(\frac{VP_1}{VP_0}\right) = LN\left(\frac{-Inversion + VP_1(FC_1) + VP_2(FC_2) + \dots + VP_n(FC_n)}{VP_1(FC_1) + VP_2(FC_2) + \dots + VP_n(FC_n)}\right)$$

Los resultados encontrados con la herramienta @RiskSimulator dan a conocer que la desviación estándar es de 0,1396; es decir, el 13,96 %, el cual será el valor utilizado para poder establecer la metodología de árboles

binomiales y poder evaluar la opcionalidad de expansión del proyecto (véase imagen 4).

**Imagen 4.** Pronóstico de simulación de la volatilidad



Fuente: elaboración propia.

### Valoración por opciones reales

La valoración de la expansión del proyecto se llevó a cabo bajo la metodología de opciones reales, con la técnica de árboles binomiales como un método que se basa en el álgebra para poder valorar proyectos. Según Copeland y Tufano (2004), realizar la valoración bajo esta metodología representa una ventaja, ya que permite que la persona comprenda de una mejor forma la técnica de la valoración. Para poder aplicar esta metodología de árboles binomiales se requiere de la siguiente información:

T: tiempo en el que se valorará la opción.

n: resultado de los momentos que tendrá el árbol ( $T/ \Delta T$ ).

d: probabilidad de contracción del árbol.

$\Delta T$ : tiempo en el que se revisará la opción de expansión.

u: probabilidad de expansión del árbol.

$\sigma$ : volatilidad de los flujos de caja.

Donde:

$$n = \frac{T}{\Delta T}$$

$$u = e^{\sigma \sqrt{\Delta T}}$$

$$d = \frac{1}{u}$$

Bajo esta información se encontró que el tiempo de la opción (T) sería de 6 años, es decir, de 6 momentos en los que se puede tomar la decisión; (n) sería igual a 6; la probabilidad de contracción del árbol (d) sería de 0,87; el ( $\Delta T$ ) sería igual a 1 momento; la probabilidad de expansión del árbol (u) sería de 1,15 y la volatilidad para la opción sería la hallada bajo el @RiskSimulator del 13,96 % (véase tabla 3).

**Tabla 3.**

Opción de ampliar

<b>OPCIÓN DE AMPLIAR</b>			
<b>T</b>	6	<b>rf</b>	2,53 %
<b><math>\Delta t</math></b>	1	<b>q</b>	0,56
<b>n</b>	6	<b>VPN (St)</b>	\$7.196.944.199
<b>u</b>	1,15	<b>% Ampliación</b>	91,08%
<b>d</b>	0,87	<b>Costo de ampliar</b>	\$10.706.345.442
<b>a</b>	1,03		

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, la metodología para valorar se estructura en la realización de cuatro árboles binomiales, de los cuales cada uno proporciona información lo suficientemente relevante para poder construir los siguientes; el último árbol muestra la viabilidad de la opcionalidad. Empezando así con el árbol del subyacente, partiendo del VPN medio hallado anteriormente y multiplicando por la probabilidad de expansión y contracción en cada momento del árbol para encontrar los diferentes escenarios que se pueden dar a través del tiempo con el valor de este VPN, y así llegar hasta el momento 6 (véase tabla 4).

**Tabla 4.**

**Árbol del subyacente**

0	1	2	3	4	5	6
						\$ 16.630.802.018
					\$ 14.463.909.102	
				\$ 12.579.349.227		\$ 12.579.349.227
			\$ 10.940.336.106		\$ 10.940.336.106	
		\$ 9.514.876.481		\$ 9.514.876.481		\$ 9.514.876.481
	\$ 8.275.145.624		\$ 8.275.145.624		\$ 8.275.145.624	
\$ 7.196.944.199		\$ 7.196.944.199		\$ 7.196.944.199		\$ 7.196.944.199
	\$ 6.259.225.899		\$ 6.259.225.899		\$ 6.259.225.899	
		\$ 5.443.686.622		\$ 5.443.686.622		\$ 5.443.686.622
			\$ 4.734.407.180		\$ 4.734.407.180	
				\$ 4.117.542.559		\$ 4.117.542.559
					\$ 3.581.051.668	
						\$ 3.114.462.294

Fuente: elaboración propia.

El siguiente árbol a desarrollar es el árbol del ejercicio, en el cual se evalúa tanto el VPN de cada momento que fue calculado en el árbol anterior y el costo de ampliar el parqueadero, el cual sería de \$10.706.345.442, con un porcentaje de ampliación del 91 % con base en la información del lote encontrado para la expansión. Además, por estar valorando la opción de expandir un proyecto, bajo la teoría de opciones reales, esta valoración correspondería a una opción “call” estadounidense. Y por esto el árbol se desarrollará con la siguiente fórmula:

$$Max((VPN * \% \text{ ampliacion} - \text{costo de ampliar}); 0)$$

En el árbol del ejercicio podemos observar como a partir del momento 4 el VPN, por el porcentaje de ampliación del proyecto, empieza a ser mayor que el costo de ampliar el proyecto, y a partir de este momento es donde se empiezan a mostrar resultados positivos en el árbol. Sin embargo, para poder llegar a este punto se debió pasar por las probabilidades de expansión de los momentos anteriores (véase tabla 5).

**Tabla 5.**

Árbol del ejercicio

0	1	2	3	4	5	6
						\$ 4.440.229.545
					\$ 2.466.722.434	
				\$ 750.351.364		\$ 750.351.364
			\$ -		\$ -	
		\$ -		\$ -		\$ -
	\$ -		\$ -		\$ -	
\$ -		\$ -		\$ -		\$ -
	\$ -		\$ -		\$ -	
		\$ -		\$ -		\$ -
			\$ -		\$ -	
				\$ -		\$ -
					\$ -	
						\$ -

Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso a desarrollar es la construcción del árbol de la opción viva, el cual comienza a desarrollarse desde el momento 6 hasta el momento 1, donde la fórmula para hallar el momento 6 será la misma fórmula implementada en el árbol del ejercicio. Después de esto, para los demás momentos, se aplica la siguiente fórmula hasta llegar al momento 1:

$$\frac{MAX(alza\ opcion\ viva; alza\ arbol\ ejercicio) * q + MAX(baja\ opcion\ viva; baja\ arbol\ ejercicio) * (1 - q)}{(1 + rf)^{\Delta T}}$$

Donde:

$$q = \frac{a - d}{u - d}$$

$$a = e^{rf * \Delta T}$$

Para el cálculo de la tasa libre riesgo (rf) se toman los Treasury Bonds a 5 años, publicados en el mes de agosto del 2018. Además, se muestra el árbol de la opción viva donde se observan los diferentes escenarios en los cuales es óptimo realizar la expansión del parqueadero, y escenarios donde no es óptimo hacerla. Este árbol refleja el valor de mantener la opción (véase tabla 6).

**Tabla 6.**

Árbol de la opción viva

0	1	2	3	4	5	6
						\$ 4.440.229.545
					\$ 2.735.160.989	
				\$ 1.661.139.847		\$ 750.351.364
			\$ 997.512.471		\$ 407.385.551	
		\$ 593.499.049		\$ 221.180.364		\$ -
	\$ 350.416.773		\$ 120.084.655		\$ -	
\$ 205.555.867		\$ 65.197.127		\$ -		\$ -
	\$ 35.397.240		\$ -		\$ -	
		\$ -		\$ -		\$ -
			\$ -		\$ -	
				\$ -		\$ -
					\$ -	
						\$ -

Fuente: elaboración propia.

El último paso a realizar, para la valoración del proyecto, es la construcción del árbol de la opción, en el cual estarán integrados los valores tanto del árbol del ejercicio como el árbol de la opción viva (véase tabla 7).

**Tabla 7.**

Árbol de la opción

0	1	2	3	4	5	6
						\$ 4.440.229.545
					\$ 2.735.160.989	
				\$ 1.661.139.847		\$ 750.351.364
			\$ 997.512.471		\$ 407.385.551	
		\$ 593.499.049		\$ 221.180.364		\$ -
	\$ 350.416.773		\$ 120.084.655		\$ -	
\$ 205.555.867		\$ 65.197.127		\$ -		\$ -
	\$ 35.397.240		\$ -		\$ -	
		\$ -		\$ -		\$ -
			\$ -		\$ -	
				\$ -		\$ -
					\$ -	
						\$ -

Fuente: elaboración propia.

Este árbol se construyó con la siguiente fórmula, la cual integra el árbol de la tabla 5 y el árbol de la tabla 6.

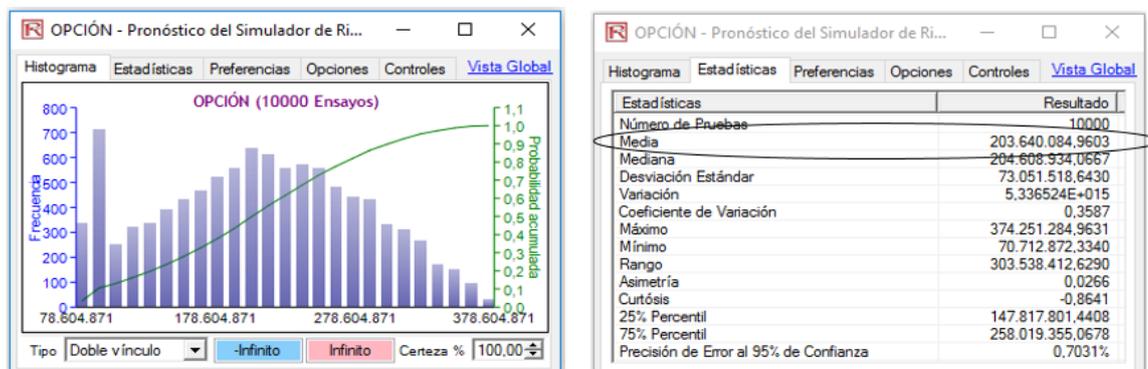
$$MAX(\text{arbol de la opcion viva}; \text{arbol del ejercicio})$$

## 5. Resultados

Al realizar el análisis del árbol de la opción se encontró que todos los escenarios que se muestran en la tabla 7, del árbol de la opción viva, son mayores que el valor del árbol del ejercicio; en otras palabras, en estos escenarios es mejor mantener la opción de expandir el parqueadero a ejercer dicha opción. El único escenario que se presentaría viable para realizarla sería el momento número 6, pero para esto se necesitaría una valoración con momentos más extensos y poder determinar si el momento 6 mostrado en esta valoración es viable para poder expandir el parqueadero. Y en el momento 1 nos arroja un valor de \$205.555.867.

Por consiguiente, se realizó una simulación con la herramienta @RiskSimulator para poder sensibilizar el valor de la opción en el momento 1, ajustada con la volatilidad anteriormente calculada. Volatilidad como variable de entrada y valor de la opción en el momento 1 como variable de salida. Para la variable de entrada se tomaron rangos de mínimo: 10,96 %, Most Likely: 13,96 % y máximo: 16,96 % (véase imagen 5).

**Imagen 5.** Pronóstico de simulación del árbol de la opción



Fuente: elaboración propia.

El resultado se muestra en la tabla 8, y se encontró que el valor total del proyecto sería igual al VPN medio arrojado por la simulación anterior, más el valor medio de la opción arrojada por la simulación.

**Tabla 8.**

Valor total del proyecto

<b>Valor total</b>	<b>VPN</b>	<b>OR</b>
\$ 7.400.584.284	\$ 7.196.944.199	\$ 203.640.085

Fuente: elaboración propia.

## **6. Conclusiones**

Las opciones reales han ganado importancia con el paso de los años, pues como se mencionó anteriormente tienen en cuenta la incertidumbre, la volatilidad del mercado, el análisis de riesgo y la temporalidad, y facilitan la toma de decisiones para generar valor en cualquier momento de ejecución del proyecto o de la empresa. Aunque estas pueden causar inconvenientes, por no tener una estructura o modelo como los otros métodos de valuación, el valor agregado que ofrece el árbol binomial, con respecto a los flujos de caja descontados y otros cálculos, supera este problema y convierte este método en el mejor para valorar proyectos en general.

Después de haber realizado la valoración por los métodos tradicionales se encontró que es financieramente viable la realización del proyecto de construcción y funcionamiento de un parqueadero situado en los alrededores del Aeropuerto Internacional José María Córdova, en Rionegro, Antioquia. Visto bajo el modelo de flujos de caja descontados, a una tasa WACC, el proyecto arroja valores positivos tanto para el VPN como para la TIR del proyecto, haciéndolo atractivo para los inversionistas. Sin embargo, a la hora de modelar la opcionalidad de expandir el parqueadero los datos arrojados por la metodología de valoración por opciones reales, con los parámetros establecidos, dio como resultado que sería mejor mantener la posibilidad de expandirse, ya que los valores de la opción viva son mayores a los valores de

la opción del ejercicio; en otras palabras, los costos asociados a la expansión del proyecto son demasiado altos y los flujos de efectivo que generaría dicha expansión muy difícilmente alcanzarían a cubrir la inversión que se tendría que hacer para poder realizarla. Razón por la cual es mejor esperar y mantener la opción en lugar de ejercerla.

## 7. Referencias

- Cheah, C. & Liu, J. (2005). Real Option Evaluation of Complex Infrastructure Projects: The Case of Dabhol Power. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 10(1), 55-68.
- Chiara, N., Garvin, M. & Vecer, J. (2007). Valuing Simple Multiple-Exercise Real Options in Infrastructure Projects. *Journal of Infrastructure Systems*, 13(2), 97-104.
- Copeland, T. & Tufano, P. (2004). A Real-World Way to Manage Real Options. *Harvard Business Review*, 82(3), 90-99.
- Esders, M., Adey, B. & Lethanh, N. (2016). Using Real Option Methods as a Tool to Determine Optimal Building Work Programs. *Structure and Infrastructure Engineering*, 12(11), 1395-1410.
- Garvin, M. & Cheah, C. (2004). Valuation Techniques for Infrastructive Investment Decisions. *Construction Management and Economics*, 22(4), 373-383.
- Grupo, R., Sewalk, J. Z. & Huo, C. (2012). Real Option Analysis: A Switching Application for Mixed-Use Real Estate Development. *Pacific Rim Property Research Journal*, 18(3), 277-291.
- Kim, D., Ashuri, B. & Han, S. (2013). Financial Valuation of Investments in International Construction Markets: Real-Options Approach for Market-Entry Decisions. *Journal of Management in Engineering*, 29(4), 355-368.
- 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.

Ng, F. & Björnsson, H. (2004). Using Real Option and Decision Analysis to Evaluate Investments in the Architecture, Construction and Engineering Industry. *Construction Management and Economics*, 22(5), 471-482.

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.