



**Colegio de Estudios
Superiores de Administración**

**OPCIONES REALES, UN MÉTODO DE VALORACIÓN PARA EL
DESARROLLO DE PROYECTOS AEROPORTUARIOS**

Anibal Ramirez Cuellar

Colegio de Estudios Superiores de Administración – CESA

Maestría Finanzas Corporativas

Bogotá D.C.

2022

**OPCIONES REALES, UN MÉTODO DE VALORACIÓN PARA EL
DESARROLLO DE PROYECTOS AEROPORTUARIOS**

Anibal Ramirez Cuellar

Director

Bernardo León Camacho

Colegio de Estudios Superiores de Administración – CESA

Maestría Finanzas Corporativas

Bogotá D.C.

2022

Contenido

Introducción	7
Hipótesis.....	11
Objetivo General	11
Objetivo Especifico.....	12
Estado del Arte	12
Coincidencias y regularidades en el estado del arte.....	21
Marco Teórico	24
Breve acercamiento al modelo de Opciones Reales.....	24
Inversión e infraestructura.....	39
Infraestructura y capacidad aeroportuaria	43
Metodología	50
Tipo de investigación	54
Técnicas e instrumentos de investigación	55
Resultados	57
Flujo de caja libre (FCL).....	57
Estimación del WACC.....	62
Valor Presente Neto (VPN).....	63
Variables de incertidumbre	65
Estimación de la volatilidad.....	68

Simulación de Montecarlo	71
Árbol Binomial.....	72
Identificación del tipo y valor de las opciones.....	75
<input type="checkbox"/> Opción de Abandono.....	75
<input type="checkbox"/> Opción de Contraer	76
<input type="checkbox"/> Opción de Expandir.....	78
Conclusiones	80
Bibliografía	83

Ilustración 1 Distribución de la inversión por país	10
Ilustración 2 30 principales aeropuertos de América Latina y el Caribe	46
Ilustración 3. Pasos para el desarrollado de la valoración de opciones reales.	56
Ilustración 4 Flujo de Caja anual	61
Ilustración 5. Ecuación general WACC.....	62
Ilustración 6 principales variables de impacto en VPN - Tornado	67
Ilustración 7 principales variables de impacto en VPN – Tornado	67
Ilustración 8 principales variables de impacto en VPN - Spider	68
Ilustración 9 principales variables de impacto en VPN – Spider	68
Ilustración 10 Estimación de Volatilidad.....	71
Ilustración 11 Resultado sobre la variable "X"	72
Ilustración 12 Resultados para obtener árbol binomial	74
Ilustración 13 Árbol Binomial	74
Ilustración 14 Opción de Abandono	76

Tabla 1 Tipología de Opciones Reales	30
Tabla 2 Estimación Operaciones ED II	51
Tabla 3 Estimación Pasajeros ED II	51
Tabla 4 Estimación Demanda Pasajeros	52
Tabla 5 Estimación Demanda Operaciones	53
Tabla 6 Pasos	56
Tabla 7 Distribución de Ingresos Regulados y No Regulados	59
Tabla 8 Costo de Capital.....	63
Tabla 9 Valor Presente Neto	64
Tabla 10 valor opciones	81
Gráfica 1 Comportamiento del presupuesto destinado a inversión	8

Introducción

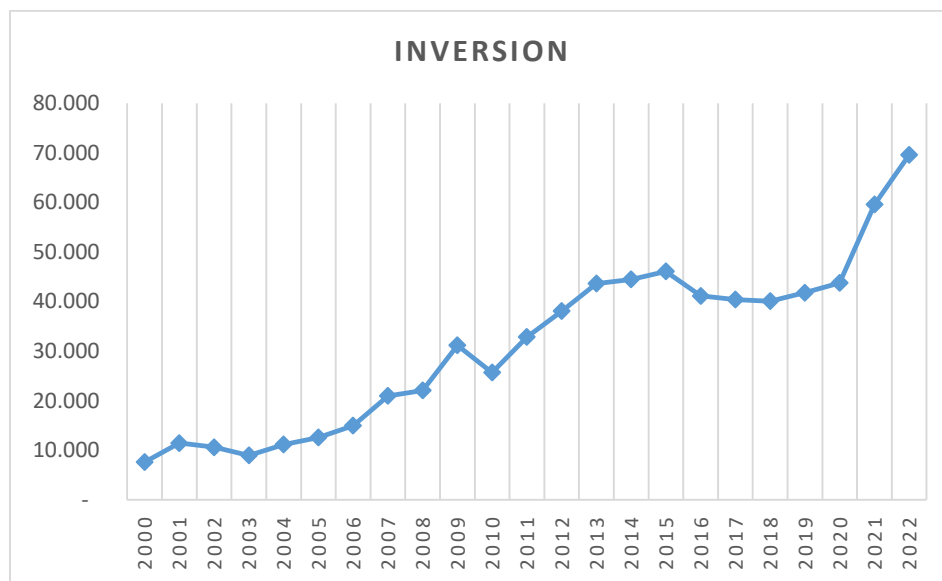
Colombia se ha embarcado en una carrera cuya finalidad es cerrar la brecha en infraestructura, la cual, no había tenido un gran desarrollo acorde a sus necesidades como el evidenciado durante la presidencia del General Gustavo Rojas Pinilla.

Esta deficiencia, hace al país menos competitivo e impide la diversificación económica como lo menciona un estudio de la OCDE el cual dice; La inversión en infraestructura en varios sectores (transporte, salud, educación, vivienda, desarrollo económico) es necesaria para diversificar la economía apartándose de la dependencia a las materias primas, impulsando así la productividad (OECD, 2016).

Teniendo en cuenta la coyuntura sin precedentes que presenta la economía como efecto de COVID-19, Fedesarrollo en su estudio Impacto macroeconómico y social de la inversión en infraestructura en Colombia, 2021-2030, define que una mayor inversión en infraestructura hace parte fundamental entonces de la agenda de recuperación económica posterior al choque, dados sus fuertes encadenamientos con otros sectores de la economía y su efecto positivo sobre el empleo y el ingreso de los hogares (Mejía, 2020). En este sentido, Salazar (2017) realizó un análisis donde evidencia el impacto positivo de la inversión en infraestructura mediante la metodología de multiplicadores y encadenamientos, ilustrando que por cada \$1 peso invertido genera un impacto positivo en la economía de \$2.72 pesos.

La ejecución de este tipo de proyectos necesita de una inversión importante, y es en este punto donde se encuentra un panorama poco alentador cuando requieren de recursos

públicos, pues como se muestra en la siguiente gráfica, el presupuesto destinado para inversión que venía creciendo desde el 2010, decreció en el 2016 y 2017, manteniéndose así ésta hasta la fecha.



Gráfica 1 Comportamiento del presupuesto destinado a inversión
Fuente: Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Elaboración propia

Así mismo, en el marco fiscal de mediano plazo de 2021, las vigencias futuras para proyectos de inversión, se concentran en sectores con énfasis en infraestructura (Minhacienda, 2021), evidenciando de esta manera que la nación hace un esfuerzo para disminuir el rezago en esta materia (ver imagen 1).

Sector	Vigencias futuras							Total	%
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028-2048		
Transporte	8.047	5.665	6.366	6.464	6.047	6.216	54.771	93.576	79,6
Vivienda, Ciudad y Territorio	2.560	2.060	2.240	2.072	884	646	373	10.836	9,2
Hacienda	303	595	682	742	736	175	332	3.565	3,0
Tecnologías de la Información y las Comunicaciones	513	224	171	178	186	194	414	1.880	1,6
Inclusión Social y Reconciliación	1.749	0	0	0	0	0	0	1.749	1,5
Educación	624	612	308	45	0	0	0	1.589	1,4
Defensa y Policía	910	208	193	178	0	0	0	1.488	1,3
Fiscalia	63	0	46	46	46	46	832	1.081	0,9
Otros	1.786	13	8	0	0	0	0	1.807	1,5
Total general	16.555	9.378	10.014	9.725	7.899	7.278	56.722	117.570	100
Participación relativa	14,1	8,0	8,5	8,3	6,7	6,2	48,2	100,0	
% PIB 2021	1,5	0,8	0,9	0,9	0,7	0,7	5,1	10,6	

*Imagen 1 cupo vigencias futuras - APP (% del PIB)
Fuente: Ministerio de Hacienda y Crédito Público*

En el sector transporte, se encuentran proyectos carreteros, férreos, de navegabilidad y aeroportuarios, siendo este último, uno de los que mayor transformación ha presentado, incremento considerablemente el tráfico aéreo y evidenciando una deficiencia en la infraestructura actual para el transporte aéreo. Del cual, de acuerdo con el Análisis de inversiones aeroportuarias en América Latina y el Caribe al horizonte 2040 realizado por la CAF, Las inversiones estimadas para cerrar la brecha de capacidad en infraestructura aeroportuaria en el periodo 2016 a 2040 ascienden a un total de casi 53.150 millones de USD a precios de 2016 (Farromeque Quiroz, 2018), y Colombia requerirá invertir cerca del 16% de esos recursos, alrededor de 8.538 M.USD (Ver ilustración 1).

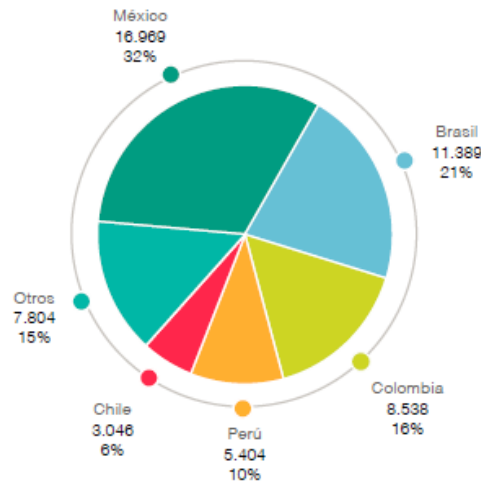


Ilustración 1 Distribución de la inversión por país

Fuente: CAF

Uno de los aeropuertos que mayor crecimiento de pasajeros ha evidenciado es El Dorado, ubicado en la ciudad de Bogotá D.C., el cual, de acuerdo al movimiento anual de pasajeros de la Aeronáutica Civil (2019) pasó de tener 10,8 millones de pasajeros en el 2013, a 16 millones de pasajeros en el 2019 y a 22 millones de pasajeros en el año 2021, un incremento de 104% aproximadamente. Es este incremento de pasajeros lo que ha impulsado la construcción del El Dorado II, el cual, tiene una localización tentativa entre los municipios de Madrid y Facatativá, requiriendo una inversión supuesta para este ejercicio de \$1 billón de pesos. En este tipo de proyectos, las valoraciones y factibilidades financieras se realizan a través de métodos tradicionales como el flujo de caja descontado, la tasa interna de retorno y el valor presente neto, los cuales, presentan grandes inconvenientes al no contemplar acontecimientos inesperados que generan volatilidad en los flujos de caja futuros (Dixit & Pindyck, 1994), debido a la demanda de pasajeros, operación de aerolíneas de bajo costo o costo total, que permitan implementar estrategias de expansión, contracción, abandono o aplazamiento de la inversión como es el caso de la metodología de Opciones Reales, la cual permite complementar el análisis realizado

mediante el método tradicional, evitando de esta manera que el gobierno destine recursos a un proyecto que no necesite actualmente, un enfoque de opciones reales puede ayudar a reducir el riesgo sistémico, especialmente en un entorno volátil (Huber, 2009), pudiendo así, destinarlos al mejoramiento de uno o a otro proyecto en otro sector.

Expuesto lo anterior y teniendo en cuenta que un proyecto de éstas características en los cuales la incertidumbre puede afectar la ejecución del mismo, hay riesgos que el proyecto debe asumir en caso que se materialice alguno de estos, lo cual lleva a que mediante este trabajo de grado se realice la valoración que contemple implicaciones relacionadas con la flexibilidad que ofrecen las opciones reales y no únicamente los flujos de caja futuros (flujo de caja descontado), haciendo posible determinar matemáticamente el resultado de la valoración mediante Opciones Reales sobre la valoración tradicional estático para el desarrollo del proyecto El Dorado II. Identificando de esta manera las condiciones de flexibilidad que permite la aplicabilidad de opciones reales en el proyecto junto al valor agregado que esta metodología aporta a proyectos aeroportuarios.

Hipótesis

De acuerdo a la inversión requerida para la construcción del aeropuerto El Dorado II, es recomendable aplazar el proyecto planteado.

Objetivo General

Complementar mediante Opciones Reales, la valoración financiera para el proyecto Aeroportuario el Dorado II.

Objetivo Especifico

- Que aporta la flexibilidad a la valoración del Flujo de Caja.
- Identificar las variables determinantes para la implementación de opciones reales en el proyecto.
- Calcular la volatilidad del flujo de caja del proyecto.
- Identificar el tipo de opciones reales apropiadas para la toma de decisiones en el proyecto.
- Identificar que opción real que genera mayor valor al proyecto.

Estado del Arte

A continuación, se desarrollan elementos pertinentes para comprender el estado en cuestión de la implementación de la teoría de las opciones reales, haciendo hincapié en aquellas investigaciones y proyectos que tuvieron desarrollo en el sector aeroportuario, exhibiendo las investigaciones más recientes y significativas en el campo:

Nunes (2015) desarrolla una evaluación de las concesiones a través de la teoría de las opciones reales en un caso de estudio, el Aeropuerto de Guarulhos (Brasil). En este caso particular se exhibe cómo a partir de la creciente demanda del transporte aéreo en Brasil se gesta la necesidad de realizar una ampliación que logre cubrir de manera adecuada con la prestación de servicios, permitiendo con ello un aumento de cantidad y calidad. Para analizar dicha concesión, el autor recurre a las opciones reales, dando cuenta de una mirada holística en relación con los diferentes escenarios de acción, vinculados a la inflación, la tasa de cambio y el crecimiento de la demanda. Estos escenarios fomentaron

un análisis bottom-up y top-down que recurren a modelos de simulación de probabilidad. Los resultados permitieron concluir que, a través de una comparación de modelos, los escenarios posibles eran viables para la ampliación del aeropuerto, primando aquel desarrollado por la constructora seleccionada por parte del Estado para la ejecución del proyecto.

El análisis de opciones reales para los proyectos de inversión en infraestructura aeroportuaria es un enfoque que se ha estructurado y desarrollado con gran detalle a nivel global. De acuerdo con Viegas y Oliveira (2015), en el sector del transporte, el análisis tradicional de los proyectos de inversión ha generado grandes debates, en los que se hacen dos tipos de abordajes, principalmente: el de tomas de decisiones a través de métodos tradicionales y el que se realiza por medio de las opciones reales o AOR (Análisis de Opciones Reales). Para los autores, el AOR permite reducir la incertidumbre del valor de un proyecto, y más en aquellos que requieren una gran inversión, como es el caso del Aeropuerto de Lisboa. El proyecto en cuestión es de gran importancia para el país, principalmente en términos económicos y sociales, por lo que fue preciso hacer un análisis de la viabilidad de inversión que ayudara a sustentar las decisiones en torno a la implementación.

Siguiendo los planteamientos de Viegas y Oliveira (2015), la aplicación de AOR en comparación con las metodologías tradicionales permitió desarrollar una ruta de trabajo más coherente a la realidad financiera. Lo anterior supone que existe un mayor control e información de las variables de impacto, permitiendo con ello reducir variaciones y la

incertidumbre sobre el manejo económico y social de un proyecto de gran escala, como es la construcción (o ampliación) de un aeropuerto.

Siguiendo esta misma línea temática, Sun y Schonfeld (2016) abordan el uso de las opciones reales en el mundo financiero, principalmente en aquellos proyectos de inversión asociados con la planeación de infraestructura aeroportuaria. A partir de esta investigación es posible centrar que un elemento primordial dentro de las opciones reales es tener en cuenta la incertidumbre de la demanda, ya que juega un papel decisivo en los procesos de inversión y expansión. Dentro de la investigación, los autores adoptan un programa no lineal que permite analizar de manera escalonada la economía asociada con valores temporales de dinero y de optimización de decisiones. Los resultados obtenidos implican que a partir de un modelo estocástico se puede mejorar la toma de decisiones estratégicas, ya que permite tener un manejo mayor sobre la incertidumbre de la demanda en el sector aeroportuario.

Xiao, Fu, Oum y Yan (2016) desarrollan, en conjunto con el Instituto de Transporte y Estudios Logísticos (o ITLS por sus siglas en inglés), un proyecto encaminado a modelar la capacidad aeroportuaria a través de opciones reales. El proyecto analiza la capacidad para invertir en relación con la adquisición de una posible expansión. Para el modelaje, hacen uso de la incertidumbre de la demanda como pilar fundamental, haciendo un análisis de regresión sobre las capacidades anteriores y la real; para que de esta manera se observe la demanda total y el crecimiento exponencial de la misma. A partir del análisis se logra establecer que un aeropuerto no elige la opción real para expansión por el alto porcentaje en la incertidumbre que se posee, por lo que debe mediar su inversión inicialmente para

mejorar un bienestar social que genere una mayor ganancia en tiempo real. De esta manera se observa que las opciones reales permiten tomar decisiones a corto, mediano y largo plaza y elegir aquella más útil de acuerdo con las capacidades aeroportuarias y los beneficios sociales y económicos que se desean alcanzar.

Oliveira (2017) propone un análisis de la inversión que se realiza para la ampliación de infraestructura, principalmente en el aeropuerto de Ponta Delgada (Portugal). El investigador parte de proponer el desarrollo de un nuevo contexto histórico, social y económico para la región; lo que ha generado la ampliación del turismo y una mayor movilidad a nivel nacional e internacional. Este cambio asociado a una visión proyectiva permitió que un número significativo de Stakeholders estén interesados en la ampliación del aeropuerto, como mecanismos para ampliar el turismo y obtener mayores beneficios. Para comprender el comportamiento de la inversión y la viabilidad del proyecto, Oliveira hace uso del método de opciones reales por medio de la construcción de un árbol binomial.

Oliveira (2017) permite analizar las desventajas de los métodos tradicionales para analizar el proyecto de expansión, ya que estos poseen una gran incertidumbre y variabilidad en torno a los resultados; lo que no sería óptimo para el esquema de trabajo que desea plantear el Estado y el sector privado. A partir del árbol de problemas, centra su atención en el cálculo del Valor Actualizado de las Oportunidades de Crecimiento (VAOC), lo que le permite visualizar y determinar el valor de inversión máximo. Los resultados mostraron que la aplicación de opciones reales ofreció una visión general del proyecto, en relación con la inversión, pero que era necesaria la aplicación futura de un modelo estocástico para

aumentar la aleatoriedad y disminuir de esta manera la incertidumbre de las variables exógenas.

Por su parte, Xiao y Yan (2017) evalúan la inversión en relación con la capacidad aeroportuaria, primando las opciones reales en diferentes escenarios. Para cumplir con dicho objetivo analizan el papel que tienen las aerolíneas, los ingresos comerciales, la incertidumbre en relación con la demanda. Si bien, el documento no se encuentra enfocado en la construcción de manera principal, permite identificar las necesidades de inversión que necesita un aeropuerto; donde una de las decisiones que se tomen está vinculada directamente con la construcción. En la investigación en mención, los autores proponen un manejo en torno al análisis de inversión, donde parten de una expansión futura de diversos esquemas de trabajo. A partir de la aplicación de las opciones reales determinan que la inversión puede ser alta si se tiene una demanda baja; por lo cual no conviene un proceso de expansión. Por tal motivo, proponen que el primer proceso, antes de una expansión, es la adopción de una competencia dentro del mercado de las aerolíneas, permitiendo con ello el aumento de servicios comerciales y la necesidad de expansión en un tiempo determinado.

Félix, Henrique y Moraes (2018) exhiben la construcción de un modelo de opciones reales con el fin de identificar las rutas de trabajo y de inversión en nuevos puertos y terminales portuarios en Brasil. Si bien la investigación no se centra en la ejecución o ampliación de infraestructura aeroportuaria, permite identificar la aplicación de las opciones reales en un nivel macro; la industria del transporte, tanto de carga, como de pasajeros. De acuerdo con los autores, la implementación del análisis de opciones reales en el Brasil se ha

popularizado en el sector del transporte, principalmente por la necesidad que tiene la industria para establecer una modernización y a la necesidad de expansión turística. Dentro del artículo se exhibe como se fomentan dos rutas de trabajo. Por una parte, a partir del cálculo de valor de opción se opta por detener y/o replantear la inversión a un futuro, en aquellos casos donde se posea un VPN negativo. Por otra parte, se calcula el valor de la opción a través del modelo Black-Sholes-Merton, calculando cuál es el valor que están dispuestos a invertir los interesados. La selección de ambos permite generar un valor de licitación de espera. Los resultados de la investigación demuestran que el gobierno debe detener aquellos proyectos que poseen un valor presente neto negativo, ya que no son adecuados para invertir y desarrollar.

Como se ha identificado, la utilización de esta metodología para la evaluación de los proyectos en torno a la expansión de la industria del transporte, principalmente la aeroportuaria, han sido de gran utilidad durante los últimos años, ya que permiten una toma de decisiones con menor incertidumbre que la que proporcionan los métodos tradicionales. Siguiendo con este orden de ideas aparece la investigación de Karaka (2018), la cual tiene una mirada orientada a la vinculación entre inversión, tiempo y diseño. Para el autor, en la actualidad, la vinculación de estos tres elementos está enfocada a la expansión a partir de las necesidades del usuario, pero debe tenerse en cuenta que, en los sistemas de transporte aéreo, hay considerables oportunidades de expansión a un costo elevado. Dada la incertidumbre y la volatilidad que se posee en los procesos de construcción en los aeropuertos es vital que se posea niveles de conexión y pasos para la implementación de la inversión.

Con el fin de mostrar la integración entre inversión, tiempo y diseño, Karaka (2018) propone una simulación, donde hace uso comparativo de metodologías tradicionales y de las opciones reales para analizar un proceso de expansión en aeropuertos en Estados Unidos. Los resultados encontrados permiten sostener que no hay una relación lineal entre el tamaño del aeropuerto y la eficiencia operacional, principalmente si hay una desconexión entre las capacidades que manejan los aeropuertos menores y los que tienen un mayor tráfico de pasajeros. Lo anterior es de vital relevancia, ya que permite construir una red de expansión territorial en torno al sector aeroportuario, dado que la expansión no conectada podría traer grandes inconvenientes en la inversión y en el flujo de caja.

Para el año 2019, el aeropuerto de Guarulhos sigue siendo uno de los referentes más importantes para el análisis de las opciones reales, principalmente para calcular e identificar aquellos elementos en relación con los programas de concesión y la inversión para su ampliación y mejoría. Félix, *et al.* (2019) hacen un análisis desde el punto de vista económico para identificar cómo se han desarrollado los procesos de inversión y manejo de la expansión del aeropuerto desde la concesión para dichos fines en el año 2012. El principal problema con la expansión se debe a los altos flujos de efectivo, los cuales, sin importar su proyección, poseen una gran incertidumbre. Con el fin de identificar cómo debería mejorarse dicha inversión y el manejo de los procesos optan por dejar a un lado los enfoques y métodos tradicionales, haciendo hincapié en la necesidad de usar un modelo de opciones reales que esté cimentado en la protección a las inversiones y a reducir las pérdidas potenciales. El uso de las opciones reales, principalmente del modelo Black Scholes Merton, dentro del caso de estudio permitió comprender el proceso de una forma dinámica y evaluando la viabilidad de la inversión.

De acuerdo con Félix, *et al.* (2019) el análisis de las opciones reales debe hacer uso del NPV (Net Present Value) o Valor Presente Neto en este caso particular. Este valor corresponde a un procedimiento, el cual calcula el valor que poseen los flujos de caja en un futuro a partir de una inversión. Para el Aeropuerto de Guarulhos, el VPN es negativo, por lo que la inversión debe realizar en un futuro próximo, aproximadamente en cuatro años, cuando se posea un valor estratégico o se ponga en análisis el abordaje de un árbol de decisiones o un modelo de simulación de Monte Carlo.

En territorio colombiano se destaca la investigación realizada por Restrepo y López (2019). El enfoque de opciones reales se usó para valorar un proyecto de construcción cerca de un aeropuerto internacional, el cual ha aumentado su capacidad en torno a la prestación de servicios de parqueo. De acuerdo con los autores, el aumento de vuelos en la región y la presencia de un número significativo de aerolíneas de bajo costo permitieron que se elevara el flujo de pasajeros y con ello el uso de parqueaderos; con el fin de mitigar esta problemática se optó por analizar la viabilidad de un proyecto de construcción a través de modelos de valoración de proyectos, partiendo inicialmente de las metodologías tradicionales: VPN y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Para la ejecución de la evaluación, Restrepo y López recurren, a su vez, al uso de las opciones reales, la cual es una evaluación de proyectos dinámica que permite una mayor flexibilidad en comparación con las metodologías tradicionales, incorporando así herramientas que permitan tomar decisiones, pues los proyectos no tienen un comportamiento estacional y por el contrario, cuentan con una dinámica diaria que genera potenciales afectaciones, permitiendo anticiparse y poder contar con lineamientos ante

determinados sucesos y permitir así tomar decisiones, identificando así el primer objetivo específico del proyecto relacionado al aporte de la flexibilidad a la valoración del flujo de caja. La idea de implementar las opciones reales, por parte de los autores, se encuentra sustentada en que esta permite identificar las opciones que añaden valor y, a partir de ellos, desarrollar estrategias para el análisis y toma de decisiones a nivel financiero. De acuerdo con los resultados, existen grandes valores agregados y procesos óptimos si se analiza el proyecto a través de las metodologías tradicionales; al momento de hacer uso de las opciones reales se encuentra que hay costos demasiados altos y los flujos de efectivo esperados no alcanzan a cubrir la inversión para la construcción. Lo anterior, concluyendo que se replantee la construcción cuando se posean mejores condiciones para su realización.

Finalmente, Texeira y Lima (2019) analizan las consecuencias que puede generar la expansión de un aeropuerto sin tener en cuenta la demanda como pilar primario en los procesos de inversión. En el caso particular, los autores presentan una reflexión sobre la sobreoferta que posee el Aeropuerto de Río de Janeiro (Brasil), donde la concesión ha generado grandes dificultades financieras, tanto para el sector público como privado. Durante la investigación, realizan un proceso de análisis de la concesión cuando a esta ya se le ha invertido y cuenta con un valor sobreestimado. Los resultados ofrecen que no hubo suficientes variables en cuenta para comprender la prima de la oferta sobre la demanda.

Coincidencias y regularidades en el estado del arte

La posibilidad de haber establecido un estado del arte a partir de una cantidad significativa de recursos de investigación que se concentran en un problema de estudio semejante y bajo la metodología de las opciones reales puede significar, más que un síntoma de pertinencia, un síntoma de factibilidad para el presente estudio. Tras comparar estas experiencias académicas puede identificarse la prevalencia de metodologías compartidas, particularmente en la selección de categorías de análisis e indicadores. Además, se identifican patrones que tienen que ver directamente con el problema de estudio, esto es, la infraestructura aeroportuaria, y que pueden ser sugerentes de eventuales conclusiones a las que el estudio tenga la oportunidad de llegar. Es por esto que brevemente se exponen las coincidencias y regularidades detectadas, ubicándolas como un aporte de otros casos de estudio para el que compete particularmente a esta investigación, el proyecto Aeroportuario el Dorado II.

En primer lugar, las investigaciones consultadas, en su mayoría, coinciden en el origen del problema, estableciendo que el aumento en la demanda que se ha dado, particularmente en los aeropuertos latinoamericanos, ha sido el detonante para proyectar la posible expansión en su infraestructura (Nunes, (2015); Oliveria, (2017), Sun y Schonfeld, (2016), Xiao, *et al.*, (2016). Pero sobre este particular es que precisamente el enfoque de opciones reales cobra prevalencia, en tanto se corre el riesgo de tomar decisiones apresuradas que, aunque puedan generar beneficios inmediatos, pueden resultar en situaciones en que el costo de oportunidad futura sea demasiado alto, tal como se asume en la investigación de Xiao y Yan (2017). Es importante señalar que, de la mano

del aumento en la demanda, el problema real debe identificarse en la ampliación de la incertidumbre que esto genera (Félix, *et al.*, (2019); Sun y Schonfeld, (2016); Viegas y Oliveria, (2015); Xiao, *et al.*, (2016)). Parece ser, como lo señalan gran parte de los estudios, que pensar un modelo de opciones reales para la infraestructura aeroportuaria se encuentra estrechamente vinculado con la incertidumbre en el aumento de los flujos de caja relacionados con la creciente demanda.

También se logra identificar en las investigaciones que el enfoque de opciones reales es una propuesta que cobra fuerza ante modelos tradicionales de análisis. Como lo plantean, por ejemplo, Viegas y Oliveira (2015), las opciones reales logran sustituir a las metodologías tradicionales y convertirse en una propuesta sólida de análisis que arroja resultados mucho más coherentes con la realidad financiera de los proyectos que son objeto de estudio. La capacidad de control sobre las variables aumenta como aumenta también la posibilidad de recolectar información sobre cada una de estas. Por ejemplo, a diferencia de modelos tradicionales de análisis permite evidenciar con mayor claridad y rigurosidad el valor real de los costos de un proyecto en tanto identifica los valores agregados y la optimización de los proyectos, tal como sucede en el caso de la investigación de Restrepo y López (2019).

Este tipo de aportes sugiere que el grado de objetividad o, por lo menos, de proyección puede resultar más conducente a tomar decisiones que no alteren la oportunidad de generar mayores y mejores beneficios. También puede constituir la oportunidad para que los *stakeholders* que ya se encuentran asociados al proyecto y aquellos que se quieran involucrar tengan mayor certeza de la viabilidad y factibilidad de los proyectos, como lo

indica Oliveira (2017) en su investigación. Es así como las opciones reales empiezan a constituir una apuesta de alto valor en la protección de las inversiones (Félix, *et al.*, (2019)). Con esto lo que se quiere decir es que las investigaciones consultadas ratifican la pertinencia de esta propuesta de análisis basada en el enfoque de opciones reales, pues, además, su proceder permite develar las oportunidades que mayor valor agregado contemplan y, por ende, mayor proyección pueda tener (Restrepo & López, 2019).

Finalmente, algunos indicadores asociados a cada uno de los estudios pueden servir de referencia para el proceso de diseño de la metodología de esta investigación. En primer lugar, el valor presente neto (VPN) es recurrente en distintas investigaciones (Félix, *et al.*, (2018); Félix *et al.*, (2019); Restrepo y López, (2019); Sun y Schonfeld, (2016)). Este indicador calcula un valor temporal asociado al proyecto y permite determinar su factibilidad en tanto se relaciona con el valor de incertidumbre; de allí derivan otros indicadores de análisis como el ingreso de las aerolíneas, la inflación, las tasas de cambio y otros. Por otro lado, aparecen otros recursos que contribuyen en el diseño de la metodología como lo son las propuestas de el árbol binomial y la simulación de Montecarlo; el primero para generar estrategias, priorizarlas y valorarlas y el segundo para modelar un comportamiento aleatorio de los proyectos.

En general, los aportes de las investigaciones son concretos y tienen que ver con tres elementos de la investigación. En primer lugar, el origen o los síntomas del problema que derivan de situaciones específicas de aumento en la demanda de vuelos y, junto con ello, la cantidad de situaciones asociadas. Por otro lado, la pertinencia y las oportunidades que desprenden implementar el enfoque de análisis de opciones reales como metodología para

la investigación, en tanto, a diferencia de métodos de análisis tradicionales, permite mayor profundidad en la comprensión; a esto se deben añadir las técnicas paralelas como el árbol binomial. Y, finalmente, algunos indicadores para el análisis.

Marco Teórico

Este apartado busca referirse a una caracterización de algunos de los abordajes que se han establecido sobre el objeto de estudio. En primer lugar, se hace un breve acercamiento al modelo estratégico de Opciones Reales para caracterizar algunos de sus componentes y de su devenir histórico; de esta manera se genera un contexto con el cual se entienda mejor su desarrollo en el apartado metodológico. Posteriormente se aborda una concepción de inversión en infraestructura, tratando de establecer su dimensión de impacto en el marco de proyectos de relevancia pública. Por último, se realiza un abordaje de la situación aeroportuaria en América Latina para comprender mejor la situación en la especificidad del caso bogotano.

Breve acercamiento al modelo de Opciones Reales

Una breve descripción o primera aproximación de lo que son las Opciones Reales la presenta Arango (2015) al proponer que son una filosofía del pensamiento estratégico. Esto significa que son un mecanismo para abordar de manera relacional la estrategia con las finanzas y la evaluación de un proyecto que, en el caso de este estudio, se piensa en función de la infraestructura aeroportuaria. Según indica Duana (2008), este modelo fue establecido en 1973 por Fisher Black, Myron Scholes y Robert Merton, quienes, a partir de esto, lograron desarrollar uno de los mayores avances en la valoración de opciones

hasta entonces. Este, entre otras, ha permitido definir alternativas en los procesos de toma de decisiones para proyectos de inversión. Asimismo, Tresierra y Carrasco (2016) atribuyen su origen a los mismos autores, añadiendo, además, a personajes como Cox y Ross en 1976 y a Rubinstein en 1979. De manera que el origen de la estrategia de Opciones Reales es relativamente reciente, pero ello no significa que su viabilidad y oportunidad de eficacia en cuanto a los resultados pueda ponerse en tela de juicio, especialmente para el caso de proyectos que involucren un desarrollo en infraestructura de la magnitud de un aeropuerto.

Desde la década de 1970 son muchos los desarrollos y aportes que sobre este enfoque estratégico se han elaborado como también sus aplicaciones. Son precisamente Tresierra y Carrasco (2016) quienes desarrollan esta cronología que da cuenta de cómo el modelo de Opciones Reales ha tenido cabida en el diseño y ejecución de diversos proyectos. Los autores mencionan que Brennan y Schwartz (1985) evaluaron por primera vez un proyecto centrado en el uso de recursos naturales, específicamente en una mina de cobre, aplicando este modelo como estrategia para maniobrar ante la volatilidad e incertidumbre que implica fijar precios sobre este tipo de recursos. Reconociendo que las Opciones Reales se basan, según el modelo de Black, Scholes y Merton, en la teoría del arbitraje, consideraron, sobre la mina de cobre, opciones de apertura, cierre y mantenimiento de esta, resultando esto como el insumo principal para la toma de decisiones en esta primera experiencia referida. Como se observa, esta experiencia, que es una de las pioneras en este campo, da luces de cómo el modelo de Opciones Reales se convierte en un recurso sustancial para la ejecución de proyectos de gran calado. Por supuesto, parte de un andamiaje metodológico que, como se observa de manera detallada en la sección

metodológica, garantiza rigurosidad y consistencia en los datos para la elección de la opción más apropiada en la toma de decisiones para la ejecución de un proyecto.

Continuando con el rastreo histórico, también en la década de 1970 McDonald y Siegel implementan el modelo de Opciones Reales en el contexto de inversión de una empresa en proyectos denominados riesgosos (Tresierra & Carrasco, 2016). Con su implementación se define que la organización puede optar por la pausa temporal de la producción, siempre que la variable estocástica que define los costos aparezca en un rango mayor a las ventas. Se ha planteado precisamente que las variables de esta naturaleza se encuentran relacionadas con el rango de incertidumbre que pueda aparecer en torno a una situación problema (Pérez, 2013) que, en nuestro caso, se sintetiza en las oportunidades reales de la ejecución de un proyecto de infraestructura. No obstante, la incertidumbre no implica imposibilidad de determinar acciones o de tomar decisiones que conduzcan a establecer la factibilidad de un proyecto. Precisamente allí se requiere de un ejercicio de recolección y consolidación de la información requerida para reducir en su máximo las imprecisiones que eventualmente puedan derivar de la incertidumbre.

Una de las propuestas en este sentido, propuesta que precisamente se adopta como marco analítico para nuestra investigación, se centra en poder identificar las variables de incertidumbre a partir de un marco de análisis y de acción lógico que redunde en este propósito. Copelan y Antikarov (2001) plantean que previamente deben establecerse algunos datos, particularmente relacionados con la situación presupuestal y financiera de cualquier proyecto; proponen que previo a la definición de las variables de incertidumbre debe realizarse procesos de planificación basados en la realización del flujo de caja libre

(FCL) y su proyección, estimar los costos promedios ponderados para la financiación del proyecto y calcular el valor presente neto con el que la factibilidad del proyecto empieza a tomar mayor claridad. Sólo entonces se pueden identificar las variables de incertidumbre que, a su vez, requieren de un grupo de acciones como diagramas de flujo para hacer cálculos de posibles resultados, los diagramas de causa y efecto, la identificación de la incertidumbre en las fuentes de información y otros procesos similares que ha desarrollado con especificidad autores como Espinoza *et al.* (2009).

En 1993, el modelo de opciones reales se aplica como un ejercicio de análisis de créditos contingentes gracias a lo cual, nuevamente en un proyecto de cobre, se obtiene un valor agregado a través de la flexibilidad que este modelo permite. A partir de esto, en 1996, la Valorización de Opciones se convierte en el método para estudiar la dimensión financiera de las empresas mineras, contribuyente así a generar análisis concretos y de mayor utilidad de variables como el tiempo, la incertidumbre y, en general, la estructura de los proyectos. Ello coincide con lo que propusieron Berger, Ofek y Swary (1996) sobre la opción de abandono de un proyecto minero, adoptando esta justamente del modelo de Opciones Reales como la oportunidad de añadir valor a la empresa dedicada a actividades de esta naturaleza. Es decir, este modelo de pensamiento estratégico constituye un aporte que se caracteriza por la sensatez en los procesos de toma de decisiones.

Según este acercamiento a los primeros ejercicios de aplicación que se caracterizan, de manera particular, por estar enfocados en dinámicas económicas asociadas a la extracción y explotación de materias primas, se empieza a descubrir su funcionamiento y aplicación en el análisis de proyectos con comportamientos estocásticos. Tresierra y Carrasco (2016)

nos permiten encontrar, en esta primera mirada, que el modelo de Opciones Reales es una contribución en la dirección de proyectos para definir la alternativa que mayores beneficios puede generar en cualquier empresa.

Una mirada general desde su perspectiva metodológica permite encontrar apuestas que pueden ser distintas o que bien podrían llegar a ser complementarias la una de la otra en tanto conlleva a momentos similares en los procesos de toma de decisiones. Por ejemplo, Arango (2015) establece una caracterización del modelo de opciones reales bajo un marco de acción y desarrollo de cuatro momentos. El primer momento supone la caracterización o identificación de las opciones reales a las que se enfrenta el proyecto. Posterior a este el proceso de valoración de cada uno de los proyectos caracterizados como estratégicos para la inversión. El tercer momento es el de la reformulación de cada proyecto buscando aumentar el valor de las opciones. Finalmente, se lleva a cabo la gestión del proyecto una vez se ha creado la gama de opciones reales. Por su parte, Copelan y Antikarov (2001) formulan cinco fases en donde la primera, como se mencionó líneas atrás tiene como propósito establecer un marco amplio de comprensión de la situación financiera y de recursos. Posteriormente, deben establecerse con claridad el marco de incertidumbre y la volatilidad, siendo capaces de contemplar un panorama amplio de posibilidades sobre las que se sitúa el proyecto. A ello le siguen acciones que cada vez van reduciendo el marco de opciones y que permiten una evaluación de estas con recursos como el árbol binomial. En la cuarta fase de este proceso se elige la opción real para, posteriormente, pasar a realizar el cálculo de su valor, siendo esta la última fase de esta propuesta metodológica y la que, por consideraciones de rigurosidad se proyecta como el enfoque metodológico de esta investigación.

Por otro lado, Maya (2014) en su estudio de revisión metodológica de proyectos de inversión determina que existen dos grandes clases en cuanto a opciones reales refiere: opciones reales sobre la dinámica del proyecto y opciones reales dentro del proyecto; veamos la diferencia. La primera clase se caracteriza por la oportunidad que supone para los gerentes de tomar decisiones sin conocer a fondo el detalle técnico de lo que se está desarrollando. Por su parte, la segunda clase, que como dice Maya es mucho más reciente y poco estudiada, se caracteriza por las opciones que pueden ser asumidas para tomar decisiones de carácter técnico o tecnológico, es decir, mucho más específicas de la operación de cada proyecto. Por tanto, se diferencian por la dimensión en la que son aplicadas: una clase a la generalidad del proyecto y la otra a las especificidades de este.

En este marco de ideas, el modelo de Opciones Reales precisamente se caracteriza, como lo mencionó Arango (2015), por la gama de alternativas que pueden ser asumidas en la decisión de un proyecto. Al respecto, se encuentran algunos complementos entre autores sobre la cantidad de oportunidades que pueden tener lugar. No obstante, para no profundizar en esta discusión, a continuación, se presenta una visión general de los tipos de opciones reales identificadas en diferentes postulados teóricos, reconociendo que las Opciones Reales centrales al hacerse efectivas son la opción de retardar, la opción de Crecimiento y la opción de abandono; las otras han venido emergiendo como complemento.

Tabla 1 Tipología de Opciones Reales

Tipo	Descripción
Opción CALL	<p>Una opción de compra otorga a su tenedor el derecho a comprar un activo a un precio predeterminado (precio de ejercicio) en un período específico.</p> <p>En ese caso, el emisor o vendedor de la opción tiene la obligación de entregar el activo si se ejerce la opción y recibe a cambio el precio de ejercicio. Esto es un juego de suma cero, ya que la ganancia para una parte es una pérdida para la otra parte. (Trigeorgis H. T., 2004).</p> $C: \text{Max}\{S - X, 0\}$ <p>Hasta tanto no se ejerza esta opción, el poseedor no tiene derechos o beneficios del subyacente como es el caso de los dividendos en el caso bursátil o a ingresos por explotación económica en este tipo de proyectos.</p>
Opción PUT	<p>Una opción de venta, otorga el derecho a vender un activo a cambio para recibir un precio de ejercicio especificado en una fecha predeterminada. (Trigeorgis H. T., 2004).</p> $P: \text{Max}\{X - S, 0\}$

Tipo	Descripción
	<p>Mientras sea tenedor de la opción, tiene derechos sobre el subyacente, como es el caso de los dividendos en el caso bursátil o a ingresos por explotación económica en este tipo de proyectos.</p>
<p>Opción de retardar, diferir o esperar</p>	<p>Es cuando se pospone la inversión en el proyecto planteado hasta que las condiciones que condujeron a ello se conviertan en favorables para el proyecto.</p> <p>Cuando las perspectivas comerciales son inciertas, se genera un incentivo para esperar e invertir cuando el mercado se desarrolle lo suficiente. Esta opción es importante cuando se toman decisiones de inversión irreversible bajo incertidumbre. Si la gerencia no puede desinvertir y recuperar la inversión, la decisión del tiempo de inversión debe ser tomada con cautela y el proyecto debe diferirse hasta que se tenga un margen suficiente de VPN (Trigeorgis H. T., 2004).</p>
<p>Opción de contraer</p>	<p>Proporciona la capacidad de reducir el tamaño del proyecto, también significa la oportunidad de renunciar al proyecto a cambio de algún tipo de beneficio que eventualmente provenga de este.</p>

Tipo	Descripción
	<p>La opción de contraer puede verse como una opción PUT, si la demanda resulta ser más débil de lo esperado originalmente, la gerencia puede operar por debajo de su capacidad o incluso reducir la escala de operaciones, ahorrando así parte de los costes variables (Trigeorgis H. T., 2004).</p>
<p>Opción de abandono</p>	<p>Una vez inicia un proyecto, la gerencia puede tener la flexibilidad de abandonar el proyecto a cambio de su valor de salvamento o valor en su mejor uso alternativo antes del final de su vida útil. Esta flexibilidad permitiría abandonar operaciones, divisiones o negocios completos. (Trigeorgis H. T., 2004).</p> <p style="text-align: center;"><i>Max{Salvamento, Mantener la opción abierta}</i></p> <p>Aplicaría para casos en los cuales es recomendable abandonar o cuando el estado no puede mantener u operar la infraestructura. Si el proyecto no arroja los resultados esperados se puede buscar una alternativa anticipada de abandono para evitar futuras pérdidas. Incluso puede ser la oportunidad de recuperar maquinaria u otros activos.</p>

Tipo	Descripción
Opción de expandir	<p>Esta se convierte en la oportunidad para que el propietario de un proyecto pueda generar las condiciones de adquirir una parte adicional o mayor de este. Constituye, además, la posibilidad de capitalizar previamente eventuales oportunidades de crecimiento.</p> <p>Por lo cual, resulta estratégico en cuanto aumenta la capacidad de ganancias de la participación en un proyecto.</p> <p>Esta opción proporciona la flexibilidad de ampliar un proyecto existente en lugar de crear uno nuevo e invertir en escalar la operación del mismo.</p>
Opción de cierre temporal	<p>En algunas circunstancias, puede ser deseable suspender temporalmente la producción. Por ejemplo, si los ingresos en efectivo no son suficientes para cubrir costos operativos y los costos de cambiar entre el funcionamiento e inactivar son relativamente pequeños, puede ser mejor suspender las operaciones. (Trigeorgis H. T., 2004).</p> $CF = \text{Max}[\text{quantity } X (\text{price} - \text{variable cost}), 0]$

Tipo	Descripción
Opciones de cambiar la producción	<p>Menciona Gallego, <i>et al.</i>, (2019) en su investigación, que podríamos verlo como la posibilidad de tomar dos caminos, renunciando a un tipo de proyecto para sustituirlo por otro, es por esto, que puede ser vista como una opción Call y Put.</p> <p>Si los precios o la demanda cambian, la gerencia puede cambiar el mix de producción de la planta (flexibilidad de producto), alternativamente los mismos productos terminados pueden ser producidos por un proceso de producción distinto o por materias primas diferentes (flexibilidad del proceso). (Trigeorgis H. T., 2004)</p>
Opciones de crecimiento	<p>se trata de la alternativa de avanzar, hacia nuevas oportunidades que le permitan al proyecto aprovechar ventajas competitivas que tengan, frente al mercado.</p> <p>Puede ser vista como una opción call, pues requiere una inversión adicional (Gallego, 2019).</p>

Fuente: Arango (2015), García (2017), Hernández (2007), Maya (2014), Mascareñas (2015), Trigeoris (2004), Gallego (2019)

De manera concreta, las opciones reales de abandonar, contraer y expandir, son las que se proyectan para el marco de oportunidades de selección y su eventual aplicación en nuestro caso de estudio. Esto quiere decir que, independiente de la hipótesis que se ha planteado,

el análisis desarrollado arroja la posibilidad de decidir si se debe expandir o si se debe pensar en ejecutar un proyecto mucho menor en relación a las dimensiones de la idea inicial, o si se debe optar por el abandono sea cual fuere la razón que lo sustente. En cualquier caso, el modelo de opciones reales constituye un ejercicio concreto de análisis que, además de las referencias históricas que lo sitúan como una oportunidad para la ejecución de proyectos, de manera concreta contempla una estructura de análisis que se nutre de otro tipo de recursos metodológicos y de estimación de costos que le dan mayor fuerza.

En este marco de análisis, Mascareñas (2018) aporta algunas características del modelo de opciones reales que, aunque son latentes en lo desarrollado hasta acá, se hacen explícitas y se exponen a continuación para robustecer los criterios con que eventualmente se adopte la opción real contemplada. Ciertamente las opciones reales tienen como una característica central ser aquellas cuyo activo subyacente es un activo real: un proyecto de inversión, un inmueble, una organización empresarial, entre otros. Pero, además del activo subyacente como elemento central, Mascareñas expone otros que igualmente deben tomarse en consideración para, posteriormente, comprender tanto la metodología que se adopta como las interpretaciones que tengan lugar al momento de los resultados. De manera concreta estos elementos son: el precio activo subyacente, el precio de ejercicio (de compra o de venta), el tiempo hasta el vencimiento, la volatilidad, el tipo de interés sin riesgo y los dividendos. Con base en lo que propone este autor, brevemente se especifica la interacción de estos con el modelo de opciones reales para la toma de decisiones.

Como indica García (2013), en el caso de la opción real, el precio del activo subyacente indica cuál es el valor actual de este activo real, diferenciándose de la opción financiera en tanto esta indica el valor de la opción financiera. Por tanto, en la opción real este precio se concentra en el valor actual de los flujos de caja que es de donde se espera proyectar el activo a lo largo de su vida. En la medida en que el precio del activo subyacente se modifique también lo hará, por supuesto, el valor de compra de este de manera directamente proporcional; si el uno aumenta, el otro también. Distinto a como sucede en el caso de la opción de venta. En el caso del precio de ejercicio (de compra o de venta), indica, para la opción real, el precio que debe pagarse por hacerse finalmente con el activo real subyacente, lo que implica hacerse con sus flujos de caja. Es decir, el precio de ejercicio es otorga el derecho para adquirir (o vender) el activo subyacente.

El tercer elemento es el tiempo de espera hasta el vencimiento, este supone la oportunidad de disponibilidad temporal en el que una opción real puede ser ejercida. Cada opción real, por circunstancias múltiples, puede encontrarse con una fecha de vencimiento para su ejecución. Por supuesto que mayor disponibilidad de tiempo siempre supone una ventaja para la decisión final de una opción real, en tanto aumenta el margen para determinarla al tiempo que aumenta la posibilidad de encontrarse con acontecimientos o sucesos que resulten favorables en torno a las definiciones sobre el activo subyacente. Por otro lado, la volatilidad o el riesgo se contempla como la varianza en los rendimientos de un activo subyacente, lo cual implica la posibilidad de que los precios asociados a este se modifiquen en el futuro. Determinar esta incertidumbre y su eventual amplitud sólo será favorable en tanto los tomadores de decisiones tengan la capacidad de recolectar información suficiente para reducir sus eventuales efectos negativos; es decir, la única

forma de convertir la volatilidad en un elemento positivo es captando la mayor cantidad de información posible. Pero, indica Mascareñas (2018), cuanto mayor sea el riesgo, más valiosa será la opción real por la relación asimétrica entre pérdidas y ganancias.

Por último, aparecen, por un lado, el tipo de interés sin riesgo cuya implicación en las opciones reales permite identificar el valor temporal del dinero; en tanto aumente el tipo de interés sin riesgo disminuyen tanto el valor del activo subyacente y el precio del ejercicio, debido a que el valor actual de los flujos de caja esperados sufre una suerte de penalización. Sin embargo, un aumento en este elemento tiende a reducir el valor de la opción de venta y no el valor de la opción de compra. Por otra parte, aparecen los dividendos que son el dinero líquido generado por un activo subyacente en el lapso en que el directamente poseedor de la opción real no la ejerce, particularmente en las opciones de compra, traduciéndose esto, básicamente, en una renuncia a tales dividendos.

Otra consideración que debe tenerse en cuenta en torno a las opciones reales es su pertinencia, particularmente, en algunas de estas situaciones propuestas por Calle y Tamayo (2009). En primer lugar, son de utilidad cuando las decisiones de inversión que deben ser adoptadas aparecen de manera contingente; como plantean los autores, el análisis de opciones reales en este tipo de casos valora con mayor precisión las oportunidades que otros enfoques no pueden apreciar. Otro escenario óptimo para su implementación es cuando la incertidumbre es amplia, pero se cuenta también con la oportunidad de recabar más información, situación en la que precisamente coinciden con Mascareñas (2018). También es oportuna cuando el valor del activo subyacente presenta posibilidades futuras de crecimiento, contrario a los análisis que se reducen a la actualidad

de los flujos en efectivo. Finalmente, las opciones reales pueden solucionar situaciones en que los proyectos tengan que ser actualizados o corregidos en medio de su ejecución.

Es importante advertir que el modelo de opciones reales presenta algunas implicaciones en cuanto a la temporalidad de su ejecución, algo que ya mencionaba Mascareñas (2018), pero que profundiza Colla (2012) al proponer que la ejecución inmediata de una opción real o su espera genera beneficios, pero también eventuales pérdidas. En el caso de esperar un tiempo considerable en el marco de las oportunidades del proyecto el beneficio recae sobre la posibilidad de resolver la incertidumbre y poder generar los beneficios considerados a futuro; pero, en este caso, hay un costo de oportunidad por la imposibilidad de acceder a los beneficios presentes asociados al proyecto. En cambio, en el ejercicio de una opción real inmediata sucede lo contrario, se obtienen beneficios del presente, pero el costo de oportunidad se asocia a un riesgo en tanto puedan ser mayores los beneficios a futuro. Todas estas miradas se enmarcan en un elemento de comprensión: la propuesta de opciones reales es una extensión de su similar, la teoría de opciones financieras, pero que se centra en activos reales y no financieros, gracias a lo cual se puede intervenir un proyecto de tal forma que el propósito de incrementar su valor pueda cumplirse.

Como se evidencia, el modelo de Opciones Reales supone un ejercicio de pensamiento estratégico que permite, a partir de análisis cuantitativos y cualitativos, determinar el mejor horizonte de un proyecto de inversión. Si bien en principio se diseñaron enfoques en torno a la producción de recursos primarios, cada vez se ha ampliado más su espectro para contribuir en otro tipo de proyectos que, para nuestro caso particular, tiene que ver con la ejecución o inversión en infraestructura.

A continuación, se aborda teóricamente este concepto para, posteriormente, analizar el caso de la infraestructura aeroportuaria.

Inversión e infraestructura

Desde la perspectiva keynesiana se asume que la producción de bienes y servicios en una economía, pudiendo ser en este caso de carácter nacional, se entiende como la articulación de cuatro componentes, a considerar: la inversión, el consumo, las compras que hace el gobierno y las exportaciones netas (Jahan, Mahmud, & Papageorgiu, 2014). De esta manera el consumo se incentiva disminuyendo los impuestos, la inversión, por su parte, se incentiva reduciendo la tasa de interés, a la vez que reduce el costo financiero de la deuda, se incrementa el gasto público y se fomentan las exportaciones que terminan por beneficiar el tipo de cambio. Desde esta perspectiva de la economía el énfasis se da necesariamente en el gasto público, pues se argumenta que todo incremento de la renta que produce el Estado genera un efecto multiplicador. Dicho en pocas palabras, el gasto público contribuye a estimular la economía. (Salazar, 2017).

Según Rodríguez y Vanegas (2016), han existido diferentes pensadores y economistas que han contribuido sobremanera a entender la importancia de la inversión pública en proyectos de infraestructura. Uno de ellos es Aschauer quien propone que el gasto público invertido a mejorar aspectos como la gestión de residuos, los hospitales, la educación, la policía y, por supuesto, el transporte, se convierte en un beneficio gracias al cual las oportunidades económicas de las personas incrementan y contribuyen, entre otras a mejorar su salud, su seguridad, su recreación y, en general su desarrollo. Otro de los

teóricos mencionados por Rodríguez y Vanegas es Hulten (1996) quien, complementando el postulado anterior, propone que además de la inversión en gasto público e infraestructura es importante un uso eficiente de estos, pues, de lo contrario, esto supondría tasas de crecimiento económico reducidas o gestionadas deficientemente.

Dicho esto, es importante mencionar que la infraestructura para cualquier Estado entra a convertirse en un *stock* de capital (Zepeda, Ángeles, & Carrillo, 2017). Esta necesariamente contribuye al crecimiento económico de cada país o región en la que sea desarrollada; una de sus características principales apunta a su reconocimiento como eje por donde entra la producción, razón por la cual se convierte en pilar del crecimiento económico de los territorios. Por tanto, existe una relación implícita entre infraestructura y crecimiento económico, la primera influye de manera positiva a la segunda.

El caso de la infraestructura aeroportuaria, caracterizada claramente como infraestructura de transporte reviste de mayor pertinencia para fomentar el crecimiento económico según reconoce Aschauer (citado por Zepeda *et al.*, (2017)). Entre sus efectos positivos destaca, en primer lugar, y desde un análisis de su dimensión regional, la infraestructura de transporte potencia la productividad de los territorios interconectados; sin embargo, para que ello surta efecto es indispensable contar con criterios no sólo de cantidad, sino también de calidad en la infraestructura existente. De esta manera su aporte será en absoluto una contribución innegable a los desarrollos locales interconectados regionalmente. Por otro lado, también en términos regionales, es importante revisar cómo se distribuye la infraestructura, de modo que no haya concentración y desarrollo desigual, por lo que la

característica vinculada a la cantidad requiere también de un enfoque de planificación y ejecución descentralizada.

Precisamente, sobre la particularidad o las consideraciones que deben asumirse en la ejecución de proyectos de infraestructura es importante revisar los aportes que menciona Conthe (2004) en el concepto de su suministro. En primer lugar, plantea el autor, el desarrollo de proyectos de infraestructura suponen, antes que nada, cuantiosas sumas de dinero que únicamente generarán algún tipo de rentabilidad en el horizonte del largo plazo. Esto se da siempre que la infraestructura garantice la oferta de un servicio durante un tiempo prolongado, siendo esto el principal reconocimiento de amortización de la inversión.

En segundo lugar, siguiendo el hilo de Conthe, el desarrollo de infraestructura, una vez se ha determinado y ejecutado la cuantía de la inversión inicial, los costes adicionales del servicio ofrecido a los clientes o beneficiarios será tanto menor, por lo que, entre más se haga uso de los servicios que brinda la infraestructura, el costo medio del proyecto tiende a su reducción. Por último, con el suministro de infraestructura, el servicio que se ofrece generará beneficios para la actividad económica específica a la que corresponde, pero también para el bienestar de los ciudadanos. Principalmente por este beneficio es que debe proyectarse una inversión en infraestructura que no presente interrupciones en el servicio ofrecido, pues ello puede generar conmoción económica y afectar el desarrollo social; razón de más para perder confianza en las autoridades encargadas de este tipo de proyectos.

Por el impacto social en las diferentes escalas locales, regionales y nacionales, la inversión en infraestructura tiende a reconocerse en términos de su naturaleza de bien público; su aporte o afectación en el desarrollo histórico de los países le conceden este tipo de titularidad. El papel de las autoridades locales y nacionales no se reduce específicamente a la generación de confianza, sino que naturalmente hay detrás todo un entramado de gestiones en la prestación del servicio. Como menciona Conthe (2004), incluso en el evento de que la inversión en infraestructura venga de recursos privados, hay también allí un nivel de potestad y responsabilidad de las entidades y autoridades en el ejercicio de, por lo menos, la elección de los contratistas y del modelo bajo el que se dan las concesiones, definiendo así el tipo de servicios a suministrar, pero también el régimen desde el cual se regula el proyecto.

Finalmente, una última caracterización en términos de la inversión en infraestructura tiene que ver con las tipologías o los grandes grupos en los que se inscriben los diferentes proyectos en el caso colombiano. Su caracterización se ha desarrollado en torno a dos tipos de proyectos: la infraestructura de carácter lineal o la infraestructura de carácter concentrada (Viloria, Cadavid, & Awad, 2018), incluso estas se relacionan particularmente con la infraestructura de transporte. En primer lugar, los proyectos de tipo lineal son aquellos que se ejecutan en corredores o conexiones tales como las carreteras, los túneles, las líneas, los canalizadores, los ductos y también los cableados. En estos proyectos se deben considerar con mayor minucia los impactos ambientales por su extensión larga y por la forma en que ello puede implicar usos del suelo específicos y prolongados en el territorio.

Por otro lado, los proyectos de infraestructura concentrados tienen que ver naturalmente con aquellos asociados a las edificaciones, los equipamientos, las maquinarias, las instalaciones industriales o las estaciones de transporte. Es decir, los proyectos concentrados son aquellos que tienen una ubicación determinada en un área específica y que, ciertamente, generan impactos en el territorio en el que encuentran lugar. Podría reconocerse que a este tipo de proyectos corresponde el análisis de la infraestructura aeroportuaria, pero, valga decir, para su ejecución también se requieren componentes de la infraestructura lineal como las carreteras y los cableados. Como mencionan Vilorio *et al.*, (2018), los proyectos lineales y los proyectos concentrados se desarrollan en ciclos integrados y de manera progresiva; en estos se concibe, por supuesto, todo el ejercicio de planificación, construcción, operación e, incluso, abandono.

Infraestructura y capacidad aeroportuaria

En la planeación y proyección de la infraestructura aeroportuaria la capacidad del sistema representa un elemento central para su gestión. Como lo indican Ramírez *et al.*, (2017), la determinación de la capacidad aeroportuaria se puede obtener por una variada gama de operaciones; esto puede ser con base a caracterizaciones empíricas, pueden implementarse modelos de análisis o también pueden implementarse modelo de simulación. En cada uno de estos casos se arrojan datos particulares que, en últimas, apuntan a detallar las características de la infraestructura requerida y los procesos que en ella deben llevarse a cabo. Son diferentes las variables que entran en juego en la determinación de la capacidad aeroportuaria, algunas de ellas corresponden con los horarios, los tiempos estimados del servicio y, en general, la duración de los procesos. Ejercicios de correlación darán cuenta

precisamente de la capacidad en cada aeropuerto y su categorización e importancia a nivel nacional y a nivel regional.

Sobre este último aspecto, los aeropuertos en América Latina y el Caribe (ACL) se han categorizado en cinco tipologías, cada una de ellas correspondiendo naturalmente al concepto de capacidad aeroportuaria y representando, a su vez, una cierta prevalencia regional y nacional. La categorización corresponde a: 1) grandes aeropuertos estructurantes del sistema aeronáutico de ALC; 2) Red de aeropuertos con importante base de tráfico doméstico y tráfico internacional; 3) Aeropuertos con poca base de tráfico pero que son punto de conectividad internacional de un país o región; 4) Aeropuertos turísticos; y 5) Resto de aeropuertos (Banco de Desarrollo de América Latina, 2016). En el marco de esta tipificación debe mencionarse que Bogotá D.C, se encuentra el Aeropuerto el Dorado, ubicado en la categoría 1.

El análisis o estudios que involucren la infraestructura aeroportuaria inevitablemente se encuentran vinculados a la inserción nacional y regional. En el caso de ALC los aeropuertos han constituido uno de los puntos clave para que la región se inserte de manera competitiva en las dinámicas del mercado global y de la interconectividad. La importancia del buen desarrollo y de la gestión de la infraestructura radica en la posibilidad de reducir costos de conexión y de comercio, beneficiando así a pasajeros a y empresas en general. Según cifras de la CEPAL (2019), los aeropuertos en la región de ALC representan casi 5 millones de empleos y más de 150 mil millones de dólares de su producto interno bruto (PIB).

La misma fuente indica que en un lapso de casi una década, entre 2008 y 2015, la sumatoria de la inversión de los países de América Latina en infraestructura aeroportuaria alcanzó casi 20 mil millones de dólares en ejecución. Sin embargo, ello no representa una cifra significativa en tanto supone aproximadamente un 0.05% del PIB de la región, siendo quizá uno de los montos de menor cuantía en cuanto a infraestructura de transporte refiere. Menciona la CEPAL (2019) en su informe de infraestructura aeroportuaria en la región que una inversión que suponga, por lo menos, 42 mil millones de dólares sería suficiente para ampliar la capacidad aeroportuaria en ALC en hasta 50 millones de pasajeros, casi la totalidad de habitantes que tiene Colombia. Junto con ello se crearían casi un millón de empleos adicionales que aportarían indiscutiblemente al desarrollo de la región.

Estas proyecciones y, en general, el contexto expuesto, se dan en el marco de un crecimiento del 6,5% del tráfico aéreo a nivel mundial (CEPAL, 2019), cifra que corresponde con los datos de pasajero/kilometro transportado. Asimismo, otra cifra indicada por la CEPAL evidencia que la oferta de asientos/kilometro creció también en un rango de 6,1%. Sobre la base de estos comportamientos ha estimado la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) que, en un lapso de 20 años, para el 2040, las operaciones aéreas alcanzarían un total de 90 millones, representando esto una cantidad mundial de pasajeros similar a los 10 mil millones de personas. Mientras tanto en ALC, sobre la base del uso de 141 aeropuertos tipificados como internacionales, durante el año 2018 el incremento de pasajeros en la región alcanzó un aumento del 6,9%; como lo indica la CEPAL, este crecimiento se da en torno a una capacidad instalada regional de 2,6 millones de vuelos que conectan 385 ciudades en toda la región. A continuación, la ilustración 2, muestra el top 30 de aeropuertos en ALC.

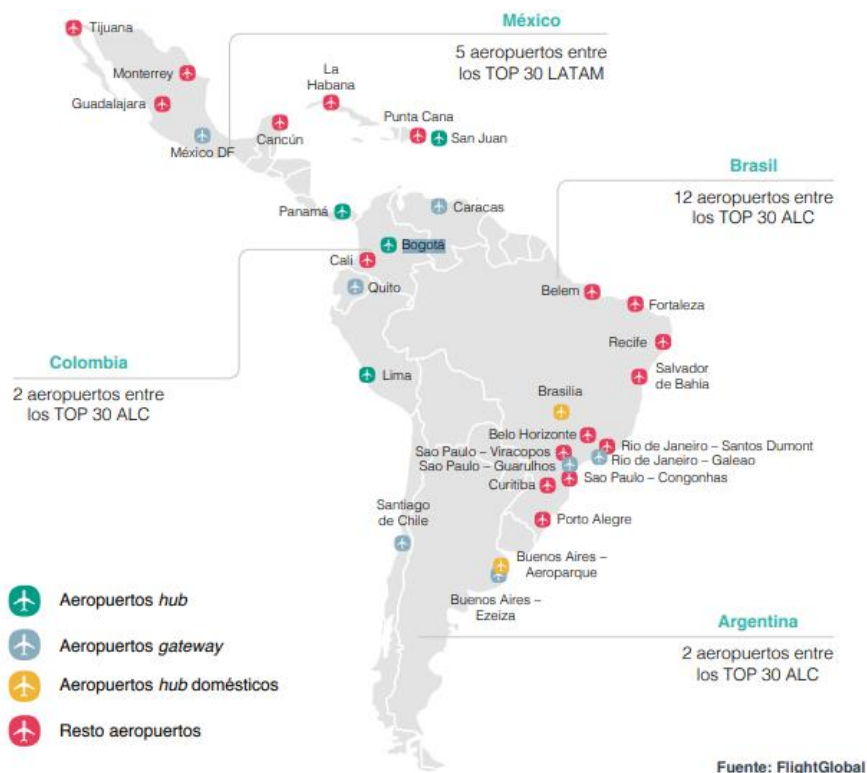


Ilustración 2 30 principales aeropuertos de América Latina y el Caribe
Fuente: Banco de Desarrollo de América Latina (2016)

El incremento de la inversión en infraestructura en los países latinoamericanos, no busca únicamente disminuir el rezago presentado en este importante eslabón, si no, impulsar el desarrollo económico como lo explica el Banco de Desarrollo de América Latina – CAF “Si bien es cierto que la inversión en infraestructura no garantiza por sí misma el crecimiento económico y regional, la provisión eficiente de los servicios de infraestructura constituye uno de los aspectos más importantes y necesarios de las políticas de desarrollo. Se ha demostrado empíricamente que el progreso en infraestructuras ejerce un impulso muy importante sobre las economías, promoviendo una mejora de la productividad, de la competitividad internacional y del bienestar social” (Vasallo, 2016).

En el caso colombiano, la inversión en infraestructura aeroportuaria se ha venido decantando principalmente en el proyecto del nuevo aeropuerto El Dorado II, articulado al actual aeropuerto internacional de Bogotá, este quedaría ubicado en el departamento de Cundinamarca, zona geográfica en la que se encuentra la capital del país. Su proyección se ha definido para que abarque un área de aproximadamente 1.300 has con tres pistas, cada una con una longitud de 4 km (CEPAL, 2019). Además, el proyecto cuenta con una torre de control y las respectivas centrales de pasajeros y de carga. Articulado a esta infraestructura se ha previsto la construcción de obras complementarias como autopistas y tranvías que conecten el nuevo aeropuerto con la capital, especialmente con su zona central. Con esto, el actual terminal aéreo de Bogotá se convertiría en una división especializada para la conexión de aerolíneas de bajo costo.

Pero también en retrospectiva puede caracterizarse la inversión que se ha dado en infraestructura. Nuevamente el Aeropuerto Internacional El Dorado destaca por ser una de las grandes obras de inversión aeronáutica con la torre de control. Esta hace parte de una inversión que desde el 2010 hasta el 2018 ha involucrado un gasto de 3,3 billones de pesos por parte de la Aeronáutica Civil (Aeronáutica Civil, 2018). Igualmente, de esta inversión se ha destinado para la construcción del Centro de Gestión Aeronáutica de Colombia (CGAC), que es el cerebro de todas las operaciones aéreas del país. Gracias a estos recursos Colombia ha alcanzado un total de 1.400.000 aterrizajes y despegues anuales, movilizando en estos más de 40 millones de pasajeros.

Con esta misma inversión se ha establecido una proyección para incrementar la cantidad de vuelos por ahora en el principal aeropuerto del país, de manera que de 70 se pasen a 90

vuelos en este lapso, siendo ello producto de mejoras en los procedimientos de aeronavegación de aquellas empresas que conectan con el Aeropuerto Internacional El Dorado (Aeronáutica Civil, 2018). Esto ha convertido a Bogotá en una de las ciudades con mayor tráfico aéreo de pasajeros; su aeropuerto ocupa el tercer puesto en este ranking para ALC sólo después de Ciudad de México y São Paulo, el primero con más de 38,4 millones de pasajeros anuales, el segundo con 38,3 millones de pasajeros anuales, mientras que Bogotá ha alcanzado un total de 30 millones de pasajeros aproximadamente. Las cifras del Banco de Desarrollo de América Latina (2016), proyectan que Bogotá alcanzará para el 2040 un aproximado de 67 millones de pasajeros anuales.

Entre otras, una de las razones del incremento de pasajeros que se presenta en la región tiene que ver con la proliferación de líneas aéreas de bajo costo; su crecimiento ha contribuido al aumento de la demanda de pasajeros que encuentran ahora muchas más ventajas frente a, por ejemplo, el transporte terrestre. Los precios competitivos con los que han ido posicionándose, han provocado un incremento en la población de pasajeros aéreos en la región (CEPAL, 2019). En el mundo, según indica la CEPAL, las líneas aéreas de bajo costo concentraron el 30% de todos los vuelos durante el año 2017, lo que representó el sector de crecimiento más dinámico en cuanto a cantidad de pasajeros refiere.

No obstante, estas dinámicas y proyecciones de crecimiento en la demanda de pasajeros aéreos suponen una cantidad de retos y cambios para la capacidad y la infraestructura aeroportuaria. Uno de los más latente tiene que ver con la necesidad de sustituir la flota aérea hacia aeronaves cada vez más grandes y sofisticadas, de manera que puedan albergar una mayor cantidad de pasajeros y cubrir cada vez más grandes rutas. De la mano de ello

pueden generarse dinámicas de reducción de costos y aumentarse las opciones de vuelo, a la vez que ello genera mayor conectividad a nivel mundial. Pero estos cambios suponen también la necesidad de adecuar la infraestructura de los aeropuertos, construyendo pistas cada vez más grandes y numerosas, como también un nuevo proceso tecnológico que sea capaz de atender aeronaves más grandes y en tiempos reducidos (CEPAL, 2019).

Por tanto, la velocidad a la que se adecúe la infraestructura aeroportuaria se convierte en una variable a considerar para el avance en la oferta de vuelos y por supuesto en el cubrimiento de una demanda cada vez más creciente. En este contexto, la capacidad aeroportuaria se traduce, entre otras, en la capacidad de las pistas; si bien deben revisarse otros aspectos de la infraestructura, este elemento resulta calve, en tanto condiciona la llegada y la salida de vuelos que eventualmente tiendan a crecer en diferentes dimensiones. Es por ello que importa hacer eco de la propuesta de Ramírez (2018) para considerar los factores que afectan la capacidad de la pista, que afectan el campo de vuelo y que, por supuesto, corresponden con la naturaleza de la infraestructura de los aeropuertos:

- Las condiciones de control de tráfico aéreo y de aproximación y despegue.
- La longitud, orientación y número de pistas existentes.
- De la forma en que se utiliza el sistema de pistas para las operaciones.
- El número, situación y características de las calles de salida de la pista.
- El número y características de las calles de rodadura y apartaderos de espera para acceso a las cabeceras de pista para el despegue.
- Mezcla de aeronaves usuarias del aeropuerto y sus características.

- Condiciones climatológicas. Estado de la superficie de las pistas. • Tipo de ayudas visuales.
- Procedimiento de aproximación, especialmente si existen restricciones (p.e. medioambientales).
- Interferencias en el espacio aéreo con aeropuertos próximos o bases aéreas militares.

Con todo lo expuesto anteriormente, se identifica la necesidad de complementar mediante Opciones Reales la valoración realizada al proyecto El Dorado II, debido a la alta volatilidad que presenta el sector aeroportuario y la demanda de pasajeros, que ha tenido un importante crecimiento principalmente por el ingreso de las aerolíneas de bajo costo que no requieren de grandes inversiones para su operación.

Metodología

Como un aporte de valoración financiera para la construcción del aeropuerto El Dorado II, se ejecutan una serie de cálculos que se exponen en secciones más adelante, a partir de su análisis y contrastación se determina la opción real que mejor se adecúe a este proyecto.

Los estudios adelantados por la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI (2015) (2016), determinaron estimaciones de demanda de pasajeros y carga para el Aeropuerto Internacional el Dorado y para el Dorado II:

Tabla 2 Estimación Operaciones ED II

ED II					
Total Operations	<u>2021</u>	<u>2026</u>	<u>2031</u>	<u>2036</u>	<u>2041</u>
<i>Annual</i>	110.200	126.700	141.500	155.900	171.900
<i>Peak Month</i>	10.028	11.530	12.877	14.187	15.643
<i>Busy Day</i>	351	404	451	497	548
<i>Peak Hour</i>	37	42	47	52	57
<i>Arriving</i>	26	30	34	37	41
<i>Departing</i>	23	27	30	33	37
Percentages					
<i>Peak Month</i>	9,1%	9,1%	9,1%	9,1%	9,1%
<i>Busy Day</i>	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
<i>Peak Hour</i>	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%
<i>Arriving</i>	14,9%	14,9%	14,9%	14,9%	14,9%
<i>Departing</i>	13,4%	13,4%	13,4%	13,4%	13,4%

Tabla 3 Estimación Pasajeros ED II

ED II					
Total Passengers	<u>2021</u>	<u>2026</u>	<u>2031</u>	<u>2036</u>	<u>2041</u>
<i>Annual</i>	4.576.000	5.409.000	6.143.000	6.865.000	7.664.000
<i>Peak Month</i>	410.172	484.839	550.631	615.348	686.967
<i>Busy Day</i>	13.231	15.640	17.762	19.850	22.160
<i>Peak Hour</i>	1.292	1.527	1.734	1.938	2.164
<i>Arriving</i>	771	912	1.035	1.157	1.292
<i>Departing</i>	853	1.008	1.145	1.280	1.429
Percentages					
<i>Peak Month</i>	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%
<i>Busy Day</i>	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
<i>Peak Hour</i>	9,8%	9,8%	9,8%	9,8%	9,8%
<i>Arriving</i>	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%
<i>Departing</i>	12,9%	12,9%	12,9%	12,9%	12,9%

Tabla 4 Estimación Demanda Pasajeros

Commercial Passenger Allocations - Option 5									
Total Passengers	ED I			ED II			Total		
	<u>Domestic</u>	<u>International</u>	<u>Total</u>	<u>Domestic</u>	<u>International</u>	<u>Total</u>	<u>Domestic</u>	<u>International</u>	<u>Total</u>
2014 <u>Forecast Year</u>	18.835.000	8.354.000	27.189.000	-	-	-	18.835.000	8.354.000	27.189.000
2015	20.249.000	9.055.000	29.304.000	-	-	-	20.249.000	9.055.000	29.304.000
2016	21.443.000	9.754.000	31.197.000	EDD II - Operations Begin 2021			21.443.000	9.754.000	31.197.000
2021	22.805.000	12.199.000	35.004.000	3.685.000	891.000	4.576.000	26.490.000	13.090.000	39.580.000
2026	26.532.000	15.350.000	41.882.000	4.287.000	1.122.000	5.409.000	30.819.000	16.472.000	47.291.000
2031	29.658.000	18.487.000	48.145.000	4.792.000	1.351.000	6.143.000	34.450.000	19.838.000	54.288.000
2036	32.612.000	21.830.000	54.442.000	5.270.000	1.595.000	6.865.000	37.882.000	23.425.000	61.307.000
2041	35.761.000	25.807.000	61.568.000	5.778.000	1.886.000	7.664.000	41.539.000	27.693.000	69.232.000
CAGR 2014-2041	2,4%	4,3%	3,1%				3,0%	4,5%	3,5%
CAGR 2021-2041	2,3%	3,8%	2,9%	2,3%	3,8%	2,6%	2,3%	3,8%	2,8%
Traffic Split	ED I			ED II			Total		
	<u>Domestic</u>	<u>International</u>	<u>Total</u>	<u>Domestic</u>	<u>International</u>	<u>Total</u>	<u>Domestic</u>	<u>International</u>	<u>Total</u>
2014 <u>Forecast Year</u>	69,3%	30,7%	100,0%	-	-	-	69,3%	30,7%	100,0%
2015	69,1%	30,9%	100,0%	-	-	-	69,1%	30,9%	100,0%
2016	68,7%	31,3%	100,0%	EDD II - Operations Begin 2021			68,7%	31,3%	100,0%
2021	65,1%	34,9%	100,0%	80,5%	19,5%	100,0%	66,9%	33,1%	100,0%
2026	63,3%	36,7%	100,0%	79,3%	20,7%	100,0%	65,2%	34,8%	100,0%
2031	61,6%	38,4%	100,0%	78,0%	22,0%	100,0%	63,5%	36,5%	100,0%
2036	59,9%	40,1%	100,0%	76,8%	23,2%	100,0%	61,8%	38,2%	100,0%
2041	58,1%	41,9%	100,0%	75,4%	24,6%	100,0%	60,0%	40,0%	100,0%

Tabla 5 Estimación Demanda Operaciones

Commercial Passenger Allocations - Option 5									
Total Operations	ED I					ED II			
	<u>Commercial</u>			<u>General</u>	<u>Total</u>	<u>Commercial</u>		<u>General</u>	<u>Total</u>
	<u>Passenger</u>	<u>Cargo</u>	<u>Military</u>	<u>Aviation</u>	<u>Operations</u>	<u>Passenger</u>	<u>Military</u>	<u>Aviation</u>	<u>Operations</u>
2014 <u>Forecast Year</u>	262.000	15.500	22.800	35.900	277.500	-		-	-
2015	282.500	16.000	27.200	38.900	298.500	-		-	-
2016	299.800	16.400	27.800	40.000	316.200	EDD II - Operations Begin 2021			
2021	320.500	18.500	15.400	4.600	339.000	53.600	15.400	41.300	110.300
2026	377.400	20.800	17.200	5.200	398.200	62.300	17.200	47.200	126.700
2031	426.900	23.200	18.900	2.900	450.100	69.600	18.900	53.000	141.500
2036	474.800	25.800	20.900	6.500	500.600	76.500	20.900	58.600	156.000
2041	528.000	28.800	23.200	7.200	556.800	84.000	23.200	64.800	172.000
CAGR 2014-2041	2,6%	2,3%	0,1%	-5,8%	2,1%				
CAGR 2021-2041	2,5%	2,2%	2,1%	2,3%	2,5%	2,3%	2,1%	2,3%	2,2%
Traffic Split	ED I					ED II			
	<u>Commercial</u>			<u>General</u>	<u>Total</u>	<u>Commercial</u>		<u>General</u>	<u>Total</u>
	<u>Passenger</u>	<u>Cargo</u>	<u>Military</u>	<u>Aviation</u>	<u>Operations</u>	<u>Passenger</u>	<u>Military</u>	<u>Aviation</u>	<u>Operations</u>
2014 <u>Forecast Year</u>	78,0%	5,0%	7,0%	11,0%	100,0%	-		-	-
2015	77,0%	4,0%	7,0%	11,0%	100,0%	-		-	-
2016	78,0%	4,0%	7,0%	10,0%	100,0%	EDD II - Operations Begin 2021			
2021	89,0%	5,0%	4,0%	1,0%	100,0%	49,0%	14,0%	37,0%	100,0%
2026	90,0%	5,0%	4,0%	1,0%	100,0%	49,0%	14,0%	37,0%	100,0%
2031	90,0%	5,0%	4,0%	1,0%	100,0%	49,0%	13,0%	37,0%	100,0%
2036	90,0%	5,0%	4,0%	1,0%	100,0%	49,0%	13,0%	38,0%	100,0%
2041	90,0%	5,0%	4,0%	1,0%	100,0%	49,0%	13,0%	38,0%	100,0%

Para determinar estas estimaciones, se tuvieron en cuenta las siguientes hipótesis:

- Las aerolíneas de bajo costo se trasladarán a El Dorado II (EasyFly, JetBlue, SATENA, Spirit, Viva Colombia), cambiando así la perspectiva de la CEPAL.
- La fuerza Aérea Colombiana mantiene su operación en El Dorado I.
- Las demás operaciones militares y aviación de Gobierno se trasladan al aeropuerto El Dorado II.
- La aviación de carga se mantiene en el aeropuerto El Dorado I.
- El 10% de la aviación general (aviación pesada) se queda en el aeropuerto Dorado I.
- El 90% de la aviación general se traslada al aeropuerto El Dorado II.

Las características de la metodología diseñada se exponen a continuación.

Tipo de investigación

Por la naturaleza de los datos en que se fundamenta el análisis del problema de estudio, la investigación se desarrolla desde un enfoque cuantitativo. Tomando en cuenta que uno de los criterios en el método de opciones reales es la medición de datos de carácter financiero y, en general, de solvencia de recursos, es la perspectiva cuantitativa la que mejor se adecúa. Por supuesto, ello supone también que deben revisarse documentos relacionados con el caso de estudio, pudiendo ser estos tanto documentos o información oficial del proyecto, como documentos de referencia en proyectos semejantes. Por su carácter cuantitativo, se ha estimado que el alcance de la investigación es descriptivo porque, como se expone más adelante, considera diferentes componentes del problema o conceptos

asociados a este que, además, son medidos para definir el comportamiento de la variable que, en este caso, es la opción real. Y, por otro lado, es también de alcance explicativo por tratar de determinar una opción real a partir del esclarecimiento de diferentes componentes que pueden dar luz sobre la viabilidad o no del proyecto estudiado (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Técnicas e instrumentos de investigación

Como se ha mencionado, la investigación se fundamenta particularmente en la técnica de opciones reales, es a partir de esta que se puede valorar el caso de estudio y elaborar las conclusiones pertinentes. Incluso entre los objetivos se ha propuesto que sea la misma investigación una oportunidad para analizar el valor agregado que esta metodología aporta en el desarrollo y definición de proyectos aeroportuarios. No obstante, es una metodología que se nutre de diversos análisis y de una búsqueda particular de información que garantiza que el proceso investigativo sea mucho más integral. Es decir, aunque la metodología de opciones reales es la técnica central de este proyecto investigativo, esta se complementa con otros ejercicios analíticos o técnicas de investigación que dan solidez a los resultados (la determinación de la opción real). Tales técnicas corresponden naturalmente a un proceso de revisión documental y de análisis de información histórica sobre el desarrollo de proyectos aeroportuarios, de manera que se tengan niveles de referencia que puedan ser complementarios o contrastados entre sí.

Además de la revisión documental y de información histórica, la concreción de la metodología de opciones reales implica un ejercicio de consulta asociado a cada uno de

los cinco pasos planteados por Copelan y Antikarov (2001). La especificación de estos pasos se presenta en la siguiente ilustración y la caracterización de cada uno de los componentes se elabora posteriormente.

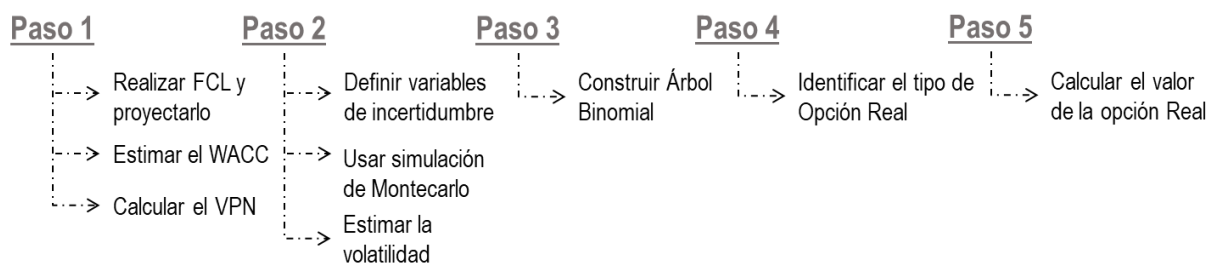


Ilustración 3. Pasos para el desarrollo de la valoración de opciones reales.

Fuente: elaboración propia.

Siendo así, el cuadro que se presenta a continuación detalla los indicadores que se han considerado para los procesos de cada uno de los pasos:

Tabla 6 Pasos

Variable	Pasos	Estrategias de análisis	Indicadores
Opciones reales	Paso 1	Realizar FCL	<ul style="list-style-type: none"> • Proyección del FC • Tasa de retorno
		Estimar el WACC	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de capital • Recursos propios del proyecto • Deuda del proyecto • Costo de la deuda • Capital aportado por accionistas
		Calcular el VPN	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de descuento • VPN
	Paso 2	Definir variables de incertidumbre	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de variables • Gráfico de tornado • Gráfico de spider
		Usar simulación de Montecarlo	<ul style="list-style-type: none"> • Número de salidas

Variable	Pasos	Estrategias de análisis	Indicadores
		Estimación de volatilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Volatilidad
	Paso 3	Construir árbol binomial	<ul style="list-style-type: none"> • S = valor presente de los activos subyacentes • X= valor presente del costo de implementación de la opción • σ = volatilidad • t = tiempo • rf = riesgo • p= probabilidad • u= coeficientes de crecimiento • d= decrecimiento
	Paso 4	Identificar opción real	<ul style="list-style-type: none"> • Opción de expandir • Opción de contraer • Opción de abandono
	Paso 5	Calcular valor de opción real	<ul style="list-style-type: none"> • Costo inicial del proyecto • Valor de la opción

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Flujo de caja libre (FCL)

Este es uno de los métodos más usados para la valoración de un proyecto (Valencia, 2018). El FCL se proyecta por un periodo de veinticinco (25) años, dando inicio en el 2020 hasta el año 2044 y con ello se calculan las oportunidades que las estrategias para la ejecución del proyecto tienen en cuanto a generar por sí mismo un valor que garantice su viabilidad. Sobre los resultados alcanzados y después de su análisis se empiezan a considerar las proyecciones de manera particular sobre los indicadores de generación de valor para el proyecto. Es así que van estableciéndose los posibles escenarios a los que se enfrentará este, pudiendo de esta manera trazar los plazos y demás detalles que caracterizarán parte de la viabilidad del proyecto. De manera que se parte del análisis de los estados financieros

del proyecto para poder develar algunas de las variables críticas para clarificar los indicadores de valor que, en este caso, se desarrollan a partir del costo promedio ponderado de la financiación de un proyecto (WACC, por sus siglas en inglés *weighted average cost of capital*).

El proyecto el Dorado II, al ser un proyecto a ejecutarse bajo el esquema de Asociación Público Privada el cual se rige bajo la Ley 1508 de 2012 y sus decretos reglamentarios, los flujos se proyectaron a veinticinco (25) años teniendo en cuenta las estimaciones presentadas en las gráficas 2, 3, 4 y 5 con una característica principal de este tipo de proyectos, hay una participación de los recursos asignados por el gobierno, gran parte de estos ingresan al inicio del proyecto y el restante, comienza a ingresar cuando la infraestructura entra en funcionamiento. Esto genera la necesidad de apalancar el proyecto generando un costo financiero considerable.

De acuerdo al cronograma de inversión, los recursos necesarios para la obra deben garantizarse en un patrimonio autónomo, generando seguridad que la obra se ejecutará y no quedará inconclusa. El periodo de obra antes de iniciar a recaudar ingresos regulados y no regulados o de explotación económica es de 4 años, motivo por el cual el proyecto comienza a tener ingresos por estas actividades a partir del año 5.

El FC tiene tres componentes principales de ingresos; Regulados, No Regulados explicados brevemente en el párrafo anterior y los aportes públicos, representados en vigencias futuras que permiten el cierre financiero del proyecto. Respecto a las vigencias futuras, estas ingresan al proyecto desde el año 3 hasta el año 20 y es un respaldo del

gobierno al proyecto, lo que genera una tranquilidad de contar anualmente con más del 50% de los ingresos.

De acuerdo a Carrillo (2014), en un proyecto aeroportuario como el Aeropuerto Internacional el Dorado objeto de análisis, los ingresos Regulados y No Regulados se discriminan de la siguiente manera:

Tabla 7 Distribución de Ingresos Regulados y No Regulados

	Promedio			
INGRESOS REGULADOS	74,31%	75,06%	74,71%	74,69%
<i>Tasa Aeroportuaria Nacional</i>	23,24%	24,44%	29,18%	25,62%
<i>Tasa Aeroportuaria Internacional</i>	68,79%	65,90%	61,34%	65,34%
<i>Derecho de uso de puentes Nacional</i>	0,72%	1,16%	1,43%	1,10%
<i>Derecho de uso de puentes Internacional</i>	2,70%	2,66%	2,71%	2,69%
<i>Derecho de Parqueo Aeronaves Nacional</i>	0,07%	0,38%	0,73%	0,39%
<i>Derecho de Parqueo Aeronaves Internacional</i>	3,32%	4,38%	3,48%	3,73%
<i>Derecho de Carros de Bomberos Combustible</i>	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%
<i>Derecho de expedición de Carnets</i>	0,64%	0,55%	0,63%	0,61%
<i>Derecho de parqueo en Operaciones Intern. Pte Abordaje</i>	0,07%	0,00%	0,00%	0,02%
<i>Derecho de parqueo en Operaciones Nacio. Pte Abordaje</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Derecho uso de mostradores</i>	0,38%	0,46%	0,43%	0,42%
INGRESOS NO REGULADOS	25,69%	24,94%	25,29%	25,31%
<i>Arrendamientos</i>	88,22%	90,53%	88,87%	89,21%
<i>Regalías</i>	4,76%	3,18%	4,81%	4,25%
<i>Reciclaje</i>	0,33%	0,13%	0,15%	0,20%
<i>Recargo por administración servicios</i>	0,84%	0,00%	0,00%	0,28%
<i>Varios</i>	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Servicio de parqueadero</i>	5,84%	6,16%	6,17%	6,06%

Fuente: (Carrillo Cuellar, 2014) - Elaboración propia.

La tabla anterior, muestra el porcentaje de participación de los ingresos durante 3 periodos consecutivos, planteando un promedio de éstos como referencia para la identificación de los rubros que más adelante servirán para asociar las variables al análisis. Los valores incluidos en el flujo de caja fueron tomados de documentos públicos de la estructuración adelantada por el Consorcio Deloitte y Durán & Osorio (2015), así como de la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI.

Los Egresos, se componen principalmente por Adquisición Predial, Edificios y construcciones, Equipos, Gastos preoperativos y Costos operativos.

El proyecto contempla la ejecución del CAPEX durante los primeros años, pero no asume la explotación de toda la infraestructura al mismo tiempo, por lo que asumirá el OPEX de forma progresiva según comience a operar los distintos sistemas (2015).

En la siguiente imagen se puede visualizar el Flujo de caja del proyecto con su proyección hasta el 2044:

		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027		2043	2044	
Flujo de Caja descontado													
+ Ingreso VF Asociado Privado		3.091.499	-	-	200.602	186.656	263.206	138.616	142.775	147.058			
	Total Pasajeros	30.657.000	4.576.000	4.576.000	4.576.000	4.576.000	4.576.000	5.409.000	5.409.000		7.664.000	7.664.000	
	Aviones	706.200	110.200	110.200	110.200	110.200	110.200	126.700	126.700		171.900	171.900	
	Pasajeros esperados												
	Aviones												
2.021	4.576.000		110.200										
2.026	5.409.000		126.700										
2.031	6.143.000		141.500										
2.036	6.865.000		155.900										
2.041	7.664.000		171.900										
Ingresos Regulados		1.742.797	-	-	-	17.767	32.564	35.008	37.626	...	149.665	174.162	
Tasa Aeroportuaria Naciona		446.504	-	-	-	4.552	8.343	8.969	9.640	...	38.344	44.620	
Tasa Aeroportuaria Internacional		1.138.801	-	-	-	11.610	21.278	22.876	24.586	...	97.796	113.803	
Derecho de uso de puentes Nacional		19.229	-	-	-	196	359	386	415	...	1.651	1.922	
Derecho de uso de puentes Internaciona		46.881	-	-	-	478	876	942	1.012	...	4.026	4.685	
Derecho de Parqueo Aeronaves Nacional		6.855	-	-	-	70	128	138	148	...	589	685	
Derecho de Parqueo Aeronaves Internacional		64.948	-	-	-	662	1.214	1.305	1.402	...	5.578	6.490	
Derecho de Carros de Bomberos Combustible		1.220	-	-	-	12	23	25	26	...	105	122	
Derecho de expedición de Carnets		10.573	-	-	-	108	198	212	228	...	908	1.057	
Derecho de parqueo en Operaciones Intern. Pte Abordaje		407	-	-	-	4	8	8	9	...	35	41	
Derecho de parqueo en Operaciones Nacio. Pte Abordaje		-	-	-	-	-	-	-	-	...	-	-	
Derecho uso de mostradores		7.378	-	-	-	75	138	148	159	...	634	737	
Ingresos no Regulados		952.752	-	-	-	9.713	17.802	19.138	20.569	...	81.819	95.211	
Arrendamientos		849.918	-	-	-	8.665	15.880	17.073	18.349	...	72.988	84.934	
Regalías		40.492	-	-	-	413	757	813	874	...	3.477	4.046	
Reciclaje		1.937	-	-	-	20	36	39	42	...	166	194	
Recargo por administración servicios		2.668	-	-	-	27	50	54	58	...	229	267	
Varios		32	-	-	-	0	1	1	1	...	3	3	
Servicio de parqueadero		57.705	-	-	-	588	1.078	1.159	1.246	...	4.955	5.767	
+ Ingresos Comerciales		2.695.548	-	-	-	27.480	50.366	54.146	58.195	...	231.483	269.372	
Egresos		2.398.130	4.103	3.071	15.417	16.646	44.541	48.943	50.515	...	145.780	179.120	
Inversión		1.069.434	1.025.833	-	43.601	-	-	-	-	...	-	-	
Flujo de Caja del Proyecto		2.319.484	(1.029.936)	(3.071)	141.584	170.009	246.145	140.038	146.406	149.141	...	85.704	90.252
TIR		12,838%											
VPN		265.829											
Tasa de descuento		9,742%											

Ilustración 4 Flujo de Caja anual

Fuente: (Duran & Osorio, Modelo Económico Financiero - El Dorado II, 2015) – ANI - Elaboración propia.

Estimación del WACC

El WACC es el costo promedio ponderado de la financiación de un proyecto, considerado también como los costos de capital (Cardon, Gaitán, & Velásquez, 2017). De manera particular, con la estimación del WACC se está calculando y caracterizando la generalidad de la estructura del capital del proyecto, es decir, la forma y el nivel de participación de fuentes de financiación que constituyen el capital total del proyecto. Siguiendo los postulados de Altuve y Casal (2017), la estimación del WACC parte de la siguiente fórmula:

$$WACC = K_e * \frac{E}{E + D} + K_d * (1 - T) * \frac{D}{E + D}$$

Ilustración 5. Ecuación general WACC

Fuente: Elaboración propia

Donde,

WACC = Costo ponderado del capital

K_e = Costo del capital propio, estimado a partir del CAPM

*K_d = Costo de la deuda, estimado a partir del flujo de la deuda
del estimado para el proyecto*

E = Valor del capital propio

D = Valor de la deuda

T = Tasa impositiva

La TIR del accionista/Inversionista, deberá ser igual o mayor a un costo del capital propio, estimado de manera teórica utilizando la metodología del CAPM. Dicha metodología se encuentra acorde a los lineamientos del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, planteados

en la resolución número 446 de 2010. A continuación, se detallan las variables definidas en la resolución y los resultados de la estimación preliminar.

Tabla 8 Costo de Capital

Costo del Capital Propio (Ke)	
rf	2,15%
B desapalancado	0,445
Tx	30%
Beta apalancado	1,2
Prima mercado	6,32%
CDS	1,62%
Ke USD	11,167%
Inflación Colombia	3,0%
Inflación Estados Unidos	2,0%
Ke Real	8,987%
Ke COP	12,25%
Prima de riesgo adicional	0,617%
Ke COP	12,9499%
Deuda	70%
Equity	30%
D/E	2,33
Kd	11,953%
WACC	9,74%

Fuente: Elaboración propia

Valor Presente Neto (VPN)

El VPN es un indicador que determina la factibilidad de un proyecto, esta estimación depende del resultado que arroje su análisis, si es igual o mayor que cero quiere decir que el proyecto es factible. No obstante, plantean Manotas y Toro (2009), esta información puede resultar insuficiente para asumirla como una regla de decisión que considere el nivel de confianza de los directivos del proyecto. Los valores que entran en juego en la estimación del VPN son la tasa de descuento, el cálculo de la función de distribución del VPN esperado y también la función acumulativa de probabilidad.

Los proyectos de concesión mediante el esquema APP, presentan una asignación de riesgos durante todo el periodo de concesión, los cuales se asignan a quien tenga mayor capacidad de mitigarlos. Estos son eventos inciertos que pueden llegar a suceder en el futuro, dentro del horizonte de ejecución del proyecto y representaran efectos de diferente magnitud en uno o más de sus objetivos. El análisis de riesgos involucra una revisión de las causas que generan su presencia, así como de las implicaciones o impactos que acarrearía el hecho de llegar a concretarse cada uno de estos en algún momento del tiempo, para el cumplimiento del objetivo general, siendo pertinente mencionar, que algunos de estos se pueden mitigar con pólizas, opciones o coberturas en caso de riesgos cambiarios

Un proyecto de esta magnitud con riesgos que debe asumir el inversionista, requiere de una rentabilidad que permita mitigar los posibles riesgos que puedan materializarse durante su ejecución e impacte los flujos previstos.

De acuerdo a los flujos establecidos para la ejecución del proyecto y a la metodología del Flujo de Caja Descontado, se hace necesario descontar dichos flujos con la tasa de descuento – WACC calculada en la tabla No. 4 permitiendo determinar así el Valor Presente Neto del proyecto:

Tabla 9 Valor Presente Neto

VPN FC	265.829
--------	---------

Cifras en millones de pesos

De esta manera, se puede evidenciar que el proyecto es financieramente viable y atractivo para un inversionista que permita mitigar los riesgos que se puedan llegar a materializar.

Variables de incertidumbre

Tomando como referencia lo propuesto por Espinoza *et al.* (2009) la estimación de las variables de incertidumbre debe desarrollarse tomando en cuenta cada uno de los componentes:

- La identificación tomando como herramienta un diagrama de flujo, logrando describirse a partir de modelos matemáticos para cálculos de resultados.
- El establecimiento de fuentes de incertidumbre por medio de la aplicación de diagramas de causa y efecto; en el caso de esta fase importa revisar al detalle que los informes de incertidumbre estén integrados por todos los componentes. Igualmente puede emplearse un diagrama de causa y efecto o un diagrama de Ishikawa para estructurar este informe.
- A su vez se identifica además la incertidumbre de cada una de las fuentes; esta cuantificación deviene en una caracterización de los tipos de incertidumbre y la forma en que estos se encuentran distribuidos. Resulta natural, por tanto, que se establezcan a partir de valores numéricos que expresen con mayor facilidad un nivel estandarizado de incertidumbre.
- Posteriormente se realiza una combinación de las incertidumbres identificadas para obtener lo que los autores denominan la incertidumbre combinada. (Espinoza, y otros, 2009).
- Finalmente se lleva a cabo el proceso de procesamiento estadístico. En esta última fase se calcula la media, la desviación típica y el coeficiente de variabilidad.

Para la ejecución de proyectos de infraestructura social y productiva mediante el esquema de Asociación Público Privada de iniciativa pública, se requiere en su gran mayoría un

apalancamiento público muy fuerte, pues la inversión necesaria para ponerlos en funcionamiento es alta y es por ese motivo que el estado decide concesionarlos, buscando recursos y optimización de estos en el sector privado. Los proyectos tienen cierres financieros con el aporte de recursos públicos y una característica de estos proyectos, es que una vez finaliza el periodo de concesión, la infraestructura revierte al gobierno.

Si bien el aporte de recursos públicos es primordial para la ejecución del proyecto pues garantiza un ingreso fijo anual, la explotación comercial e ingresos en el caso de este proyecto por tasas de cada pasajero influyen considerablemente en caso de cierre o dificultad para el traslado de los pasajeros al aeropuerto que se encontraría ubicado en las afueras de la ciudad.

Mencionado lo anterior y de acuerdo con el segundo objetivo específico de este proyecto, es posible identificar que los ingresos tienen condiciones establecidas para que comiencen a remunerar al inversionista como la puesta en funcionamiento de la infraestructura, siendo esta una de las actividades más importantes y pueden generar una sensibilidad para la toma de decisiones debido al gran impacto de estas variables junto al posible sobre costo por adquisición predial, incrementos como los evidenciados durante los últimos dos años con el acero y materiales de construcción en general.

Así mismo, una de las características principales de este tipo de proyectos, es que es posible plantear unidades funcionales para su ejecución, permitiendo que puedan recibir ingresos antes de finalizar la totalidad de las obras pues cada unidad funcional debe poder prestar el servicio de manera independiente y autónoma, permitiendo a su vez, explorar posibilidad de expansión o contracción en caso tal del proyecto.

Con la finalidad de identificar las variables que generan mayor impacto en el modelo e incidencia en el VPN, se elabora el gráfico de tornado y spider resultando lo siguiente:

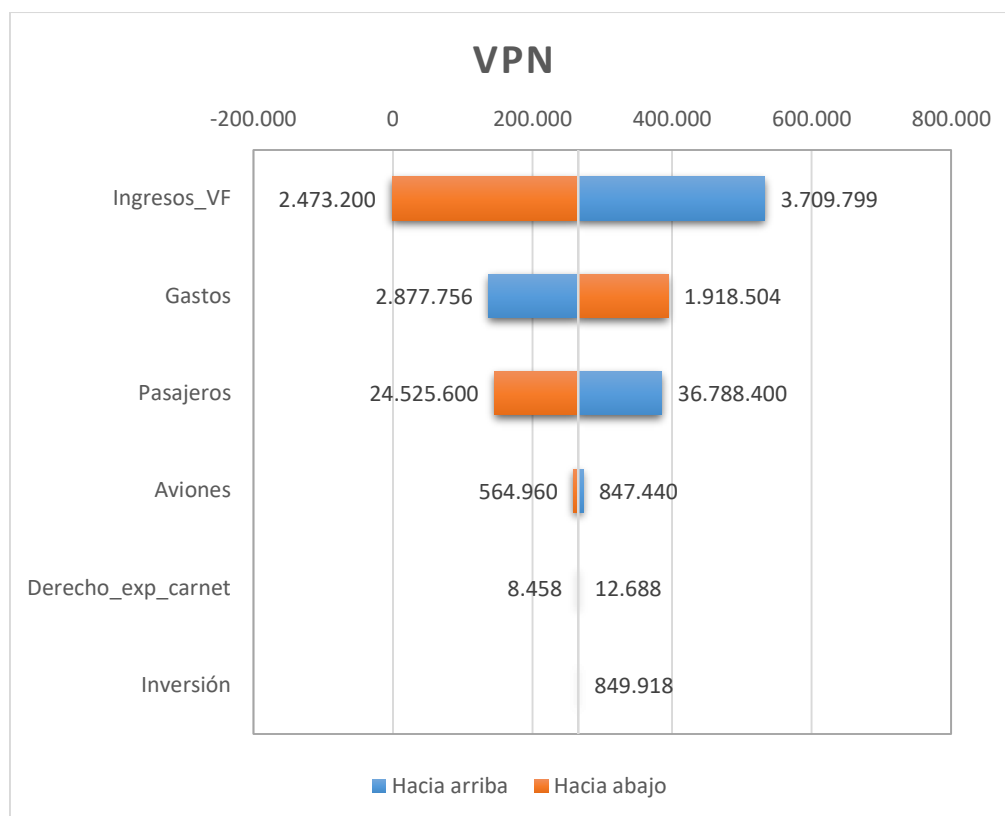


Ilustración 6 principales variables de impacto en VPN - Tornado

Fuente: Elaboración propia

Las etiquetas de barras muestran el rango de prueba de cada variable de entrada

Guardar estilo de gráfico

Restablecer estilo de gráfico

Variable de entrada	VPN				Entrada		
	Hacia abajo	Hacia arriba	Rango	Explicación de variación ¹	Hacia abajo	Hacia arriba	Caso base
Ingresos_VF	-1.463	533.121	534.585	38,31%	2.473.200	3.709.799	3.091.499
Gastos	394.310	137.348	256.962	83,44%	1.918.504	2.877.756	2.398.130
Pasajeros	146.127	385.531	239.405	96,14%	24.525.600	36.788.400	30.657.000
Aviones	259.267	272.391	13.124	100,00%	564.960	847.440	706.200
Derecho_exp_carnet	265.332	266.326	994	100,00%	8.458	12.688	10.573
Inversión	265.829	265.829	0	100,00%	679.934	679.934	849.918

Ilustración 7 principales variables de impacto en VPN – Tornado

Fuente: Elaboración propia

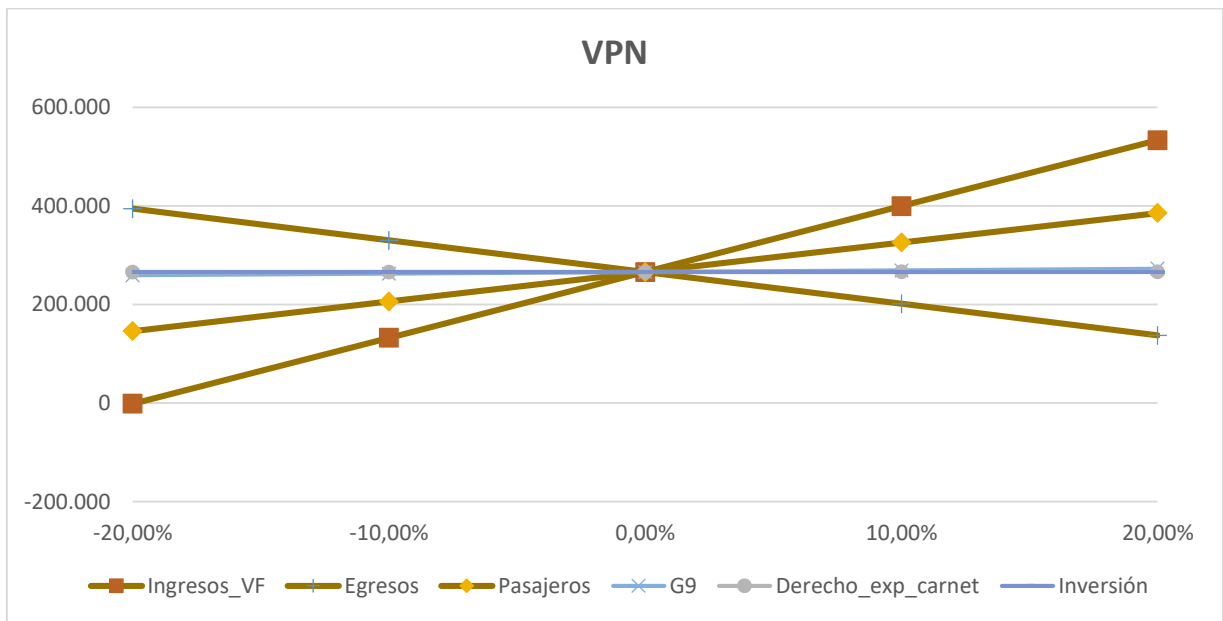


Ilustración 8 principales variables de impacto en VPN - Spider
Fuente: Elaboración propia – G9 es la cantidad de aviones anuales

Variable de entrada	Elasticidad ¹	VPN				
		-20,00%	-10,00%	0,00%	10,00%	20,00%
Ingresos_VF	7,72	-1.463	132.183	265.829	399.475	533.121
Egresos	-2,70	394.310	330.069	265.829	201.588	137.348
Pasajeros	2,34	146.127	205.978	265.829	325.680	385.531
Aviones	0,12	259.267	262.548	265.829	269.110	272.391
Derecho_exp_carnet	0,01	265.332	265.580	265.829	266.077	266.326
Inversión	0,00	265.829	265.829	265.829	265.829	265.829

Ilustración 9 principales variables de impacto en VPN – Spider
Fuente: Elaboración propia – G9 es la cantidad de aviones anuales

Estimación de la volatilidad

Es la actividad más importante en el proceso de simular y analizar opciones reales, según Ortiz y Girón (2015) la pertinencia de estimar la volatilidad del proyecto radica en la posibilidad de valorar desde la práctica los activos del proyecto durante un periodo de tiempo específico.

Mencionan Ortiz y Girón que con ello puede establecerse la desviación del rendimiento de los activos durante dicho lapso y con relación a hechos particulares; ello sucede articulado a la volatilidad que no puede ser observada durante la estimación. Gracias a este proceso pueden elaborarse mejores análisis sobre el riesgo financiero del proyecto, la valoración de sus diferentes activos, la selección de un portafolio y también la determinación de estrategias de cobertura. Como resultado se elabora un diseño teórico sobre la valoración del proyecto.

Mun menciona diferentes métodos utilizados para calcular la volatilidad y se relacionan dos de estos a continuación, los cuales fueron mencionados también por gallego (2019):

- *Aproximación del Flujo de caja de los retornos logarítmicos*

El enfoque logarítmico de rendimientos de flujos de caja calcula la volatilidad utilizando las estimaciones individuales de flujo de caja futuro y sus rendimientos logarítmicos correspondientes.

$$Volatilidad = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde n es el número de Xs, y \bar{x} es el promedio de valor de X. Usado principalmente para acciones en opciones financieras y precio de petróleo y electricidad, más una de las advertencias en su uso, es que no se puede usar cuando se tienen flujos de caja negativos y cuando los flujos son muy pocos, podría sobreestimar la volatilidad (Mun, 2006) (Gallego, 2019) (Mun, 2002).

- *Aproximación del valor presente de los retornos logarítmicos:*

Este método colapsa todas las estimaciones de flujo de caja futuro en dos sumas de valores presentes, uno para el primer período de tiempo y otro para el tiempo presente.

Este enfoque fue introducido por primera vez por Tom Copeland (Mun, 2006).

$$X = \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^n VP FCF_i}{\sum_{i=0}^n VP FCF_i} \right]$$

Donde $VP FCF_i$ es el valor presente de los flujos de caja futuro en diferentes periodos de tiempo i . Es usada principalmente cuando se calcula la volatilidad en activos con flujos de caja, una aplicación típica son las opciones reales. El beneficio incluye la habilidad de acomodarse a flujo de cajas negativos siendo más riguroso que el anterior (Mun, 2002) (Gallego, 2019).

Para esta simulación y de acuerdo con el tercer objetivo específico del proyecto, se aplica el segundo método, es decir, la aproximación del valor presente de los retornos logarítmicos, donde X es el \ln (Valor presente $t=1$ / Valor presente estático), obteniendo como resultado que la volatilidad del modelo es de 16,1% y será la base para los análisis posteriores en las opciones reales.

Estimacion de la volatilidad: valor presente de los retornos logarítmicos

	Periodo 0	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Periodo 7	...	Periodo 23	Periodo 24
Valor presente t=0	\$ (1.029.936)	\$ (2.798)	\$ 117.563	\$ 128.633	\$ 169.706	\$ 87.980	\$ 83.815	\$ 77.801	...	\$ 10.102	\$ 9.694
Valor presente t=1		\$ (3.071)	\$ 129.016	\$ 141.165	\$ 186.239	\$ 96.551	\$ 91.980	\$ 85.381	...	\$ 11.086	\$ 10.638
Valor presente estatico	\$ (1.029.936)	\$ (2.796)	\$ 117.318	\$ 128.233	\$ 169.002	\$ 87.523	\$ 83.294	\$ 77.237	...	\$ 9.864	\$ 9.455

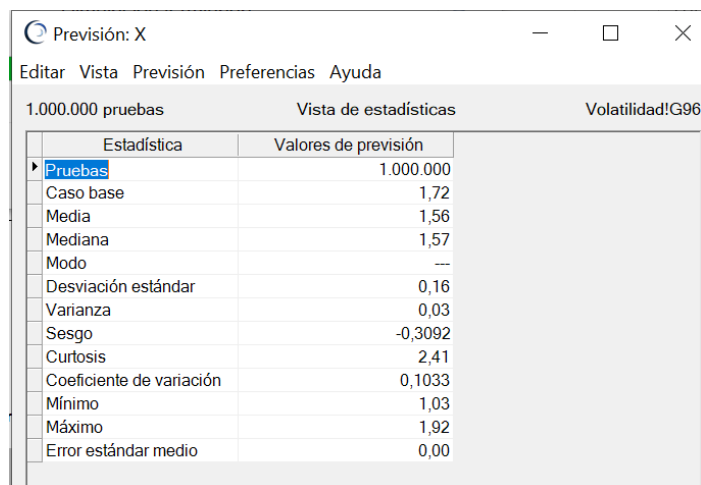
X	1,72
VOLATILIDAD	16,10%

Ilustración 10 Estimación de Volatilidad
Fuente: Elaboración propia

Simulación de Montecarlo

En esta etapa del paso 2 se simula un comportamiento aleatorio del proyecto con el que se logra consignar datos de confiabilidad de manera artificial (Zapata, Piñeros, & Castaño, 2004). Se genera un tipo de simulación secuencial para calcular en primer momento el tiempo total del proyecto y, de la misma forma, el tiempo de interés de este; tiene como ventajas que se puede aplicar cualquier método de distribución para simular o modelar los tiempos, aporta en posibles soluciones y determina las distribuciones de probabilidad de los diferentes índices de confiabilidad (Zapata, Piñeros, & Castaño, 2004).

Una vez realizada esta simulación sobre la variable “X”, se obtienen los siguientes resultados:



Estadística	Valores de previsión
Pruebas	1.000.000
Caso base	1,72
Media	1,56
Mediana	1,57
Modo	---
Desviación estándar	0,16
Varianza	0,03
Sesgo	-0,3092
Curtosis	2,41
Coefficiente de variación	0,1033
Mínimo	1,03
Máximo	1,92
Error estándar medio	0,00

Ilustración 11 Resultado sobre la variable "X"

Fuente: Elaboración propia

Árbol Binomial

Con instrumentos como el árbol binomial la valuación de opciones empieza a hacer mucho más concreta; de allí surge la oportunidad de expandir el proyecto, abandonarlo temporalmente o contraerlo según lo plantean en su modelo Cox, Ross y Rubinstein (1979) citados por Cruz (2012, pág. 91). Con las particularidades de este modelo pueden generarse estrategias, priorizarlas, valorarlas y seleccionar aquellas que influyen en la ejecución y uso del capital del proyecto. Con el árbol binomial lo que se busca es generar una valoración para establecer los flujos que se esperan en el proyecto aeroportuario, como también el valor que corresponde a la opción real. Se toman diferentes periodos del proyecto como referencia incorporando ahora las opciones reales que presenten algún tipo de valor de recuperación al tiempo (t).

Menciona Mun (2002) que en lugar de utilizar un conjunto arriesgado de flujos de efectivo y descontarlos a una tasa de descuento ajustada al riesgo similar al de FC descontado, uno puede

ajustar fácilmente el riesgo de las probabilidades de que ocurran flujos de efectivo específicos en momentos específicos. Por lo tanto, el uso de estas probabilidades ajustadas al riesgo en los flujos de efectivo permite descontar estos flujos de efectivo a la tasa libre de riesgo y sin importar qué modelo de opciones reales sea el interés, la estructura básica casi siempre existe, tomando la forma:

Entradas: S , X , σ , T , rf , p , q

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \text{ and } d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = \frac{1}{u}$$

$$p = \frac{e^{(rf-b)(\Delta t)} - d}{u - d}$$

Gallego, *et al.*, (2019) recopila la explicación realizada por Mun, mencionando que las entradas básicas son el valor presente de los activos subyacentes (S), el valor presente del costo de implementación de la opción (X), la volatilidad del logaritmo natural de los retornos en porcentaje del flujo de caja libre subyacente (σ), tiempo en años (T), tasa libre de riesgo (rf) y probabilidad (p) (Mun, 2002) y (Mun, 2006). Adicionalmente, para la elaboración de los árboles binomiales que modelan la distribución del valor de los recursos, es necesario calcular los coeficientes de crecimiento (u) y de decrecimiento (d) (Mascareñas, 2011).

Al materializar estas fórmulas sobre el ejercicio, se obtiene:

S	265.828,86
volatilidad	16,08%
dt	1
u	1,174
D	0,851
RF	1,90%
P	0,519
q	0,481

*Ilustración 12 Resultados para obtener árbol binomial
Fuente: elaboración propia*

Se parte del Valor Presente del Proyecto de izquierda a derecha y se multiplica cada nodo por el coeficiente dependiendo si es en la parte superior o inferior. En la superior se con u, y en el inferior con d.

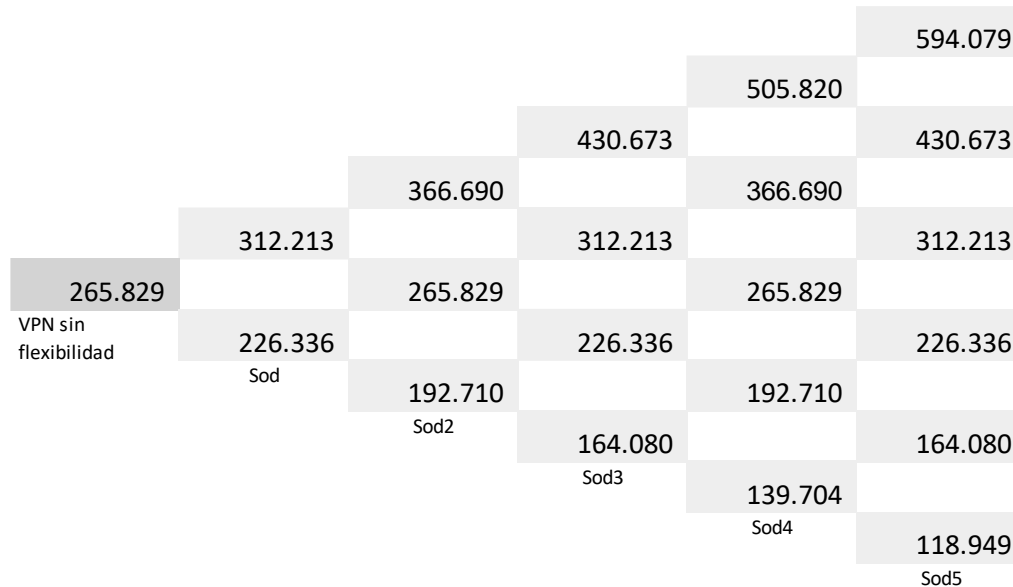


Ilustración 13 Árbol Binomial

Identificación del tipo y valor de las opciones

Una vez se han sorteado las etapas previas y de acuerdo con el cuarto objetivo específico de este proyecto, se ha consolidado la información suficiente para estimar el tipo de opción real aplicable al proyecto aeroportuario El Dorado II. En el marco teórico se ha referido un listado con las diferentes tipificaciones adjudicadas como opción real; pero para proceder con la presente investigación se estima un abanico de alternativas reducido a la opción de abandono, opción de contraer y opción de expandir:

- **Opción de Abandono**

En cada nodo de esta opción, se determina el máximo entre el valor de salvamento de abandono que en este caso es de 265.829 millones y el valor de cada nodo en el árbol binomial. Para el caso de los círculos identificados con las letras A, B y C, se relacionan para evidenciar tres ejemplos con resultados diferentes. Para el punto denominado A, el cual obtiene un resultado de aplicar $Max[Salvamento, S_o u^5]$, que el proyecto tiene la opción de continuar o abandonar maximizando la utilidad. Caso similar al caso B que resulta en un valor mayor al de Salvamento dando la opción de continuar o abandonar maximizando la utilidad.

Sin embargo, en el punto denominado C, la opción recomendada es abandonar al resultar un valor de salvamento.

El valor de la opción se determina como resultado de tomar el valor de la opción de 295.296 millones calculado con la siguiente formula:

$$[Max((p(S_o(u, d)) + (1 - p)(S_o(u, d)) * exp(-R * \delta t)), Salv) Max[Salv, S_o(u, d)]$$

Versus un valor estático de la opción de 265.829 millones, dando como resultado que el valor de la opción es de 29.468 millones, indicando flexibilidad en esta opción.

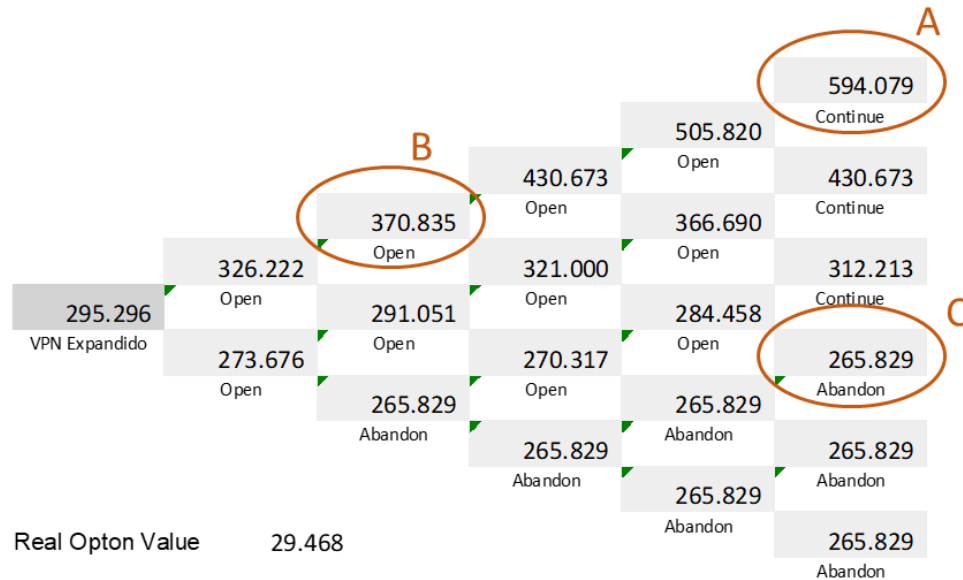


Ilustración 14 Opción de Abandono

- **Opción de Contraer**

Las variables utilizadas anteriormente se mantienen, sin embargo, para el planteamiento de esta opción, es necesario incorporar un factor de contracción y uno de ahorro que permitan determinar que en cualquier momento durante los próximos 5 años se puedan materializar por -50% y 150.000 millones respectivamente.

El segundo factor, el de ahorro, no es consecuente proporcionalmente hablando con la contracción, y esto se explica porque resultaría de aplazar la construcción y operación de una de las tres (3) pistas. Si se contemplase aplazar una pista adicional, el factor de contracción estaría cercano al 70% debido a la capacidad de atender vuelos y pasajeros afectando considerablemente los ingresos y operación del aeropuerto, con un riesgo

adicional y es la posible afectación que impida la operación del aeropuerto por determinado tiempo al contar con una única pista.

Ahora bien, en el árbol se pueden identificar tres (3) nodos terminales que reflejan el valor de continuar con el proyecto o contraer, y los resultados se obtienen de la maximización del valor de contraer versus continuar mediante la formula $Max[Contract S_0u^5 + ahorro, S_0u^5]$, para el caso del nodo identificado con la letra D, el resultado permite contemplar que el proyecto tiene la opción de continuar o contraer, caso similar al resultado obtenido en el nodo identificado con la letra E que tiene la opción abierta, sin embargo, en el punto denominado F, el resultado se representa con el valor de contraer.

El valor de la opción se determina como resultado de tomar el valor de la opción de 289.384 millones calculado con la siguiente formula:

$$[Max((p(S_0(u, d)) + (1 - p)(S_0(u, d)) * exp(-R * \delta t)), Contract S_0u^2 + ahorro)]$$

Versus un valor estático de la opción de 265.829 millones, dando como resultado que el valor de la opción es de 23.556 millones, indicando flexibilidad en esta opción.

						594.079 Continue
				505.820		
			430.673 Open	366.690	430.673	
		370.556 Open	320.408	Open	312.213	
	289.384 VPN Expandido	287.378 Open	263.168	Open	283.202	
		263.168 Contract	246.355	Contract	246.355	
			232.040	Contract	232.040	
				219.852	Contract	
					209.474	
Real Option Value	23.556					

- **Opción de Expandir**

Las variables utilizadas anteriormente se mantienen, sin embargo, para el planteamiento de esta opción, es necesario incorporar un factor de expansión y uno de inversión que permitan determinar que en cualquier momento durante los próximos 5 años se puedan materializar por -un 100% y 1.069.434 millones respectivamente.

Para esta opción, se identificó una dificultad de plantear una posible expansión por el tipo de proyecto, el sector en el que se encuentra y quien plantea su ejecución, es decir, el gobierno identifica la necesidad y oportunidad de un proyecto de estas características junto a los recursos para poder ejecutarlo y como se mencionó anteriormente, con la finalidad de ser más eficiente, se busca la vinculación de capital privado mediante una Asociación Público Privada que prevé un plazo de ejecución y alcance definido. Este proyecto tiene una demanda identificada de potenciales pasajeros que el incrementarla sería un reto difícil de cumplir, pues obedece a un comportamiento de variables exógenas como por ejemplo el crecimiento de la economía territorial, nacional y mundial, al

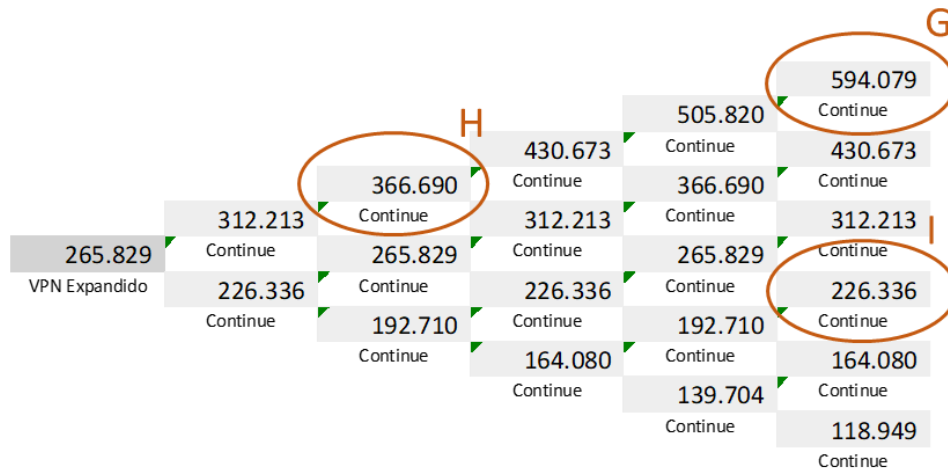
atractivo turístico o beneficios tributarios que permitan incrementar el flujo que viajeros nacionales e internacionales.

Ahora bien, en el árbol se pueden identificar tres (3) nodos terminales que reflejan el valor de continuar con el proyecto, y los resultados se obtienen de la maximización del valor de expandir versus continuar mediante la formula $Max[Expand S_0u^5 - invest, S_0u^5]$, para el caso de los tres (3) nodos identificados con la letra G, H y I, el resultado permite contemplar que el proyecto tiene la opción de continuar, la cual aplica para la totalidad de los nodos y que es consecuente con lo explicado anteriormente.

El valor de la opción se determina como resultado de tomar el valor de la opción de 265.829 millones calculado con la siguiente formula:

$$[Max((p(S_0(u, d)) + (1 - p)(S_0(u, d)) * exp(-R * \delta t)), Expand S_0u^2 - Invest, S_0^2]$$

Versus un valor estático de la opción de 265.829 millones con la aplicación del factor de expansión menos la inversión, dando como resultado que el valor de la opción es de -537.776 millones, indicando la inflexibilidad en esta opción.



Real Option Value - 537.776

Conclusiones

De acuerdo con el objetivo general de este trabajo, se realizó la valoración financiera del proyecto Aeroportuario el Dorado II mediante opciones reales, identificando las variables determinantes y la volatilidad del proyecto resultante fue del 16,1%, validando de esta manera que hay incertidumbre en el proyecto.

Una vez determinada la volatilidad que es la actividad principal para este tipo de análisis, pues de este parte el cálculo de las opciones reales, se elaboró el árbol binomial para cada opción y se determinó el valor de cada una:

Tabla 10 valor opciones

VPN flexibilidad	sin	225.829
Abandono		29.468
Contracción		23.556
Expansión		-537.776

Cifras en millones de pesos - COP

Fuente: Elaboración propia

Como se puede evidenciar en la tabla 7, las opciones de abandono y contracción cuentan con flexibilidad debido a su volatilidad, permitiendo así cuantificar el VPN en los diferentes flujos, siendo la opción de abandono la que mayor valor generaría en ese caso. Sin embargo, la opción de expansión no presenta flexibilidad.

Esta valoración complementaria demostró su valor agregado, sin embargo, no resultó favorable para este proyecto como está planteado originalmente al no dar una mayor flexibilidad a la hora de invertir recursos, y que este tipo de proyectos, y en general todos los formulados y estructurados por el Gobierno, deberían complementar las valoraciones realizadas mediante el método tradicional del flujo de caja descontado que actualmente es utilizado, con la aplicación de las opciones reales que permitan identificar e implementar flexibilidad al análisis para la toma de decisiones, pues la sola valoración por método tradicional puede sobreestimar un proyecto.

Esto, explica la importancia de contemplar este análisis de opciones reales para complementar el método tradicional de flujo de caja descontado, pues este último se realiza con criterios estáticos y puede resultar en una errada toma de decisión de no ejecutar el proyecto, situación que pudo suceder en este caso. Esto quiere decir, que el gobierno podría generar flexibilidad

reduciendo el alcance del proyecto a dos pistas, revisar que otra obra conexas se puede aplazar y plantearse como una posible expansión para ejecutar únicamente lo requerido en dos pistas.

Dicho de otra manera, si bien se contempló y analizó el proyecto como un todo, al presentarse con un menor alcance reduciría el riesgo comercial y financiero del proyecto, generando flexibilidad en la toma de decisiones y en el mediano plazo, si el flujo de pasajeros se incrementa de una manera importante, es posible que se presente una iniciativa privada¹ para la expansión del proyecto o que el mismo se pueda ejecutar sin necesidad de recursos públicos y el proyecto no se queda estancado.

Finalmente, se concluye que el proyecto el Dorado II presenta inflexibilidad como está planteado originalmente, generando así una oportunidad de mejora al revisar el alcance del mismo y que la valoración mediante opciones reales es completamente válida para este tipo de proyectos, permitiendo identificar alternativas para su ejecución y que no se tomen decisiones apresuradas resultado de un método de valoración tradicional estático.

¹ Proyecto de Asociación Público Privada -APP que es presentada por un privado y en su gran mayoría no requieren recursos públicos

Bibliografía

- Aeronáutica Civil. (2018). *Aeronáutica Civil ha invertido 3.3 billones de pesos para el desarrollo aeronáutico del país*. Recuperado el 19 de 08 de 2020, de Aeronáutica Civil: <http://www.aerocivil.gov.co/prensa/noticias>
- ALONSO, O. G. (2013). *Factibilidad Financiera para la Producción de anturio (Anthurium andreanum), en el municipio de Cuicláhuac, Veracruz*. . Montecillo, Texcoco, México.
- Altuve, J., & Casal , R. (2017). Comparación cualitativa y cuantitativa del costo medio ponderado de capital y weighted average cost of capital. *Sapienza Organizacional*, 4(8).
- Andrés, Z. Q. (s.f.). *reserarchgate*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/305775535>
- Arango, D. (2015). *Opciones reales en la gerencia de proyectos*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Argandoña, A. (Julio de 1990). *El pensamiento económico de Molton Friedman*. Obtenido de IESE Business School - Universidad de Navarra: <https://www.iese.edu/research/pdfs/DI-0193.pdf>
- Banco de Desarrollo de América Latina. (2016). *Análisis de inversiones aeroportuarias y portuarias. América Latina y el Caribe al horizonte 2040*. Corporación Andina de Fomento.
- Berger, P., Ofek, E., & Swary, I. (1996). Investor valuation of the abandonment option. *Journal of Financial Economics*, 42(2), 257-287.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*. *The University of Chicago Press*.

- Bowman, E., & Moskowitz, G. (2001). Real Options Analysis and Strategic. *INFORMS*, 772-777.
- Calle, A., & Tamayo, V. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios Gerenciales*, 25(111), 107-126.
- Cardon, D., Gaitán, S., & Velásquez, H. (2017). Variables macroeconómicas y microeconómicas que influyen en la estimación del costo de capital: un estudio de caso. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, XXV(1).
- Carrillo Cuellar, J. G. (30 de 05 de 2014). CESA. *Análisis De La Estructuración De Proyectos De Renovación Aeroportuaria En Colombia*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10726/1272>
- CEPAL. (2019). Infraestructura aeroportuaria en América Latina y el Caribe.
- Civil, A. (2019). Obtenido de <https://www.aerocivil.gov.co/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/estadisticas-operacionales>
- Colla, E. (2012). Opciones reales e incentivos. *Panorama Económico*, VII(14), 79-96.
- Conthe, M. (2004). Inversiones en infraestructura y Riesgo regulatorio. *Universia Business Review*(3), 124-135.
- Copelan, T., & Antikarov, V. (2001). *Real Options a practitioner's guide*. New York: Texere.
- Copelan, T., & Antikarov, V. (2001). *Real Options a practitioner's guide*. New York: Texere.
- Correa, j. S., & Murillo, J. (2015). *Escritura de investigación academica* (Segunda ed.). CESA.

- Cruz, F. (2012). Procesos estocásticos en la valuación de proyectos de inversión, opciones reales, árboles binomiales, simulación bootstrap y simulación Monte Carlo: flexibilidad en la toma de decisiones. *Contaduría y Administración*, 57(2), 83-112.
- Dixit, A., & Pindyck, R. (1994). *Investment under uncertainty*. New Jersey: Princeton.
- Duana, D. (2008). Modelo Black-Scholes-Merton, para la toma de decisiones financieras. *Revista Académica Virtual Unniversidad de Málaga*.
- Duana, D. M. (2008). Modelo Black-Scholes-Merton, para la toma de decisiones financieras. *Revista académica virtual universidad de Málaga*.
- Duran & Osorio, D. (12 de 2015). *Modelo Económico Financiero - El Dorado II*. Bogotá, Colombia.
- Duran & Osorio, D. (2016). Resumen ejecutivo. *prefactibilidad de carácter estratégico financiero y jurídico*. Bogotá, Colombia.
- Espinoza, M., Hernández, L., Correa, O., Álvarez, Y., Rodríguez, X., Gutiérrez, J., . . . Mayarí, R. (2009). Resultados de la estimación de la incertidumbre de la medición de ensayos en aguas residuales. *Revista Cubana de Química*, XXI(1), 58-67.
- Farromeque Quiroz, R. (2018). *Análisis de inversiones aeroportuarias en América Latina y el Caribe al horizonte 2040*. (C. R. from, Ed.) Obtenido de www.CAF.com: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1160>
- Félix, J., Henrique, C., & Moraes, J. (2018). Modelo de opciones reales para la evaluación de las inversiones en nuevos puertos y terminales portuarios brasileiros. *Revista Transportes*, 2, 103-115.

- Félix, J., Martins, M., Moury, L., Nóbrega, G., & Moutinho, F. (2019). A real options modelo for evaluating investments in the Guarulhos Airport Concession Program. *American Journal of Theoretical and Applied Business*, 5(3), 47-52.
- FMI, D. d. (23 de octubre de 2009). *Fondo Monetario Internacional*. Obtenido de <http://www.imf.org/es/news/articles/2015/09/28/04/53/sp102309>
- Gallego, G. R. (2019). OPCIONES REALES PARA LA VALORACIÓN DE UNA INVERSIÓN DE 50 AERONAVES EN UNA COMPAÑÍA AÉREA DE BAJO COSTO EN COLOMBIA. *Tesis*. Bogotá, Colombia.
- García E., P. A. (2017). Aplicación de opciones reales en la valoración financiera de un campo petrolero. *ODEON - observatorio de economía y operaciones numericas*. Obtenido de <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/odeon/article/view/5095/6151>
- García, P. (2017). Aplicación de opciones reales en la valoración financiera de un campo petrolero. *Observatorio de Economía y Operaciones Numéricas*(12).
- Guerrero, G. (2003). Los retos de la gestión financiera frente a la planeación estratégica de las organizaciones y. *INNOVAR*, 37-45.
- Hernández, M. (2007). Estrategia financiera dinámica con teoría de opciones reales, la decisión del abandono. *Inter Sedes: Revista de Las Sedes Regionales*, VIII(14), 65-73.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Huber, h. (2009). Strategic Flexible Planning and Real Options. *Jstor*.

Hulten, C. R. (1996). *National bureau of economic research*. Obtenido de <https://www.nber.org/papers/w5847>

Jahan, S., Mahmud, A. S., & Papageorgiou, C. (2014). ¿Qué es la economía Keynesiana? *Finanzas y Desarrollo*, 53-54. Obtenido de <http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2014/09/>

Jahan, S., Mahmud, A., & Papageorgiu, C. (2014). ¿Qué es la economía Keynesiana? *Finanzas y Desarrollo*, 53-54.

Karaka, I. (2018). Modeling Airport Business Risks, Enplanement Volatility, and Valuation of Flexibility Options in Airport Expansion Projects. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(29), 1-13.

Manotas, D., & Toro, H. (2009). Análisis de decisiones de inversión utilizando el criterio valor presente neto en riesgo (VPN en riesgo). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(49), 199-213.

Mascareñas, J. (2011). *Fusiones, adquisiciones y valoración de empresas*. Obtenido de file:///C:/Users/Academia/Downloads/kupdf.net_fusiones-adquisiciones-y-valoracioacuten-de-emresas-juan-mascarenas.pdf

Mascareñas, J. (2015). Opciones reales de ampliar y reducir un proyecto de inversión. *Social Science Research Network*, 35.

Mascareñas, J. (2018). Opciones reales: introducción. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

- Maya, L. (2014). Revisión metodológica a las herramientas de evaluación financiera de proyectos de inversión: opciones reales, flujos de caja descontados, simulación de Montecarlo y árboles de decisión. Medellín: Universidad EAFIT.
- Mejía, L. F. (15 de mayo de 2020). *Impacto macroeconómico y social de la inversión en infraestructura en Colombia, 2021-2030*. Bogotá: Fedesarrollo.
- Minhacienda. (2021). *Ministerio de Hacienda y Crédito Público*. Obtenido de https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/ShowProperty?nodeId=%2FConexionContent%2FWCC_CLUSTER-165808%2F%2FidcPrimaryFile&revision=latestreleased
- Mun, J. (2002). *Real Options Analysis*. New Jersey: John Wiley & Son.
- Mun, J. (2006). *Real Options Analysis*. New Jersey: John Wiley & sons.
- Nunes, M. B. (21 de 05 de 2015). Avaliação de concessões aeroportuárias através da teoria das opções reais: o caso do Aeroporto de Guarulhos. fundação Getúlio Vargas.
- OECD. (2016). *www.oecd.org*. Obtenido de <https://www.oecd.org/gov/mlg-colombia-summary-es.pdf>
- Oliveira, A. (2017). Inversión en infraestructura: aplicación del análisis de opciones reales en la expansión del aeropuerto de Punta Delgada. Universidade dos Açores.
- Ortiz, A., & Girón, L. (2015). Predicción de la volatilidad de la rentabilidad diaria del mercado del azúcar y su aplicación en la razón de cobertura. *Semestre Económico*, 18(38), 105-136.
- Oscar, V. (s.f.). *www.youtube.com*.

- Pérez, F. (2013). Enfoque estocástico de la incertidumbre en la selección de carteras de proyectos. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 14, 83-119.
- Perú, M. d. (s.f.). *www.mef.gob.pe*. Obtenido de <https://www.mef.gob.pe/es/politica-economica-y-social-sp-2822/243-transferencias-de-programas/1853-programa-de-infraestructura-social-y-productiva-foncodes>
- Ramírez, C. (2018). Cálculo de capacidad de pista del Aeropuerto Internacional el Dorado. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Ramírez, G., Piechocki, J., & Di Bernardi, A. (2017). Capacidad aeroportuaria: estudio de la influencia de las variables aleatorias sobre el lado aire mediante el uso de simulaciones computacionales. *Aeronáutica*(4), 127-135.
- Restrepo, C., & López, L. (2019). Valoración de un proyecto para la construcción de un parqueadero cerca del Aeropuerto Internacional José María Córdova, con el enfoque de opciones reales. Universidad EAFIT.
- Rodriguez Nava, A., & Venegas Martinez, F. (2016). Inversión pública en infraestructura: perspectivas para México. En J. A. vazques muñoz, & L. D. Tlapelpa Pizá, *La contratación del gasto público en Mexico* (págs. 51-69).
- Rodríguez, A., & Venegas, F. (2016). Inversión pública en infraestructura: Perspectivas para México. En J. Vazquez, & L. Tlapelpa, *La contratación del gasto público en México* (págs. 51-62). Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (ed.).

- Salazar, N. e. (2017). *Impacto del retraso de la ejecución del programa de concesiones 4G en el crecimiento económico*. Bogotá: Fedesarrollo.
- Sun, Y., & Schonfeld, P. (2016). Capacity investment model for airport facilities under demand uncertainty. *Journal of Advanced Transportation*(50).
- Texeira, L., & Lima, L. (2019). La privatización del aeropuerto internacional de Río de Janeiro ¿un problema de sobreoferta? *Revista Empresarial Latinoamericana*, 20(3), 249-268.
- Tresierra, Á., & Carrasco, C. (2016). Valorización de opciones reales: modelo Ornstein-Uhlenbeck. *Journal of Economics, Finance an Administrative Science*., 21(41), 56-62.
- Trigeorgis, H. T. (2004). *Strategic Investment Real Options and Games*. Obtenido de <https://epge.fgv.br/we/MFEE/AvaliacaodeEmpresas/2013?action=AttachFile&do=get&target=livro1.pdf>
- Trigeorgis, L. (1993). Real Options and Interactions with Financial Flexibility. *Financial Management Association International*.
- Valencia, N. (2018). Valoración por el método de Flujo de Caja Descontado y EVA de una empresa del sector de la salud, Rehabilitar Ltda., de la ciudad de Popayán (Cauca). Universidad EAFIT.
- Vasallo, J. M. (2016). *Asociación Público-Privada en America Latina. aprendiendo de la experiencia*. (CAF, Ed.) Bogotá, Colombia: CAF.
- Vedovoto, G., & Prior, D. (2015). Opciones reales: una propuesta para valorar proyectos de I+D en centros públicos de investigación agraria. *Contaduría y Administración*, 60(1), 145-179.

- Venegas, F., & Andrés, F. (2006). Opciones reales, valuación financiera de proyectos y estrategias de negocios aplicaciones al caso mexicano. *El trimestre económico*, 363-405.
- Viegas, C., & Oliveira, E. (2015). Contribuciones del análisis de opciones reales en la evaluación de proyectos de inversión. *Portuguese Journal of Finance Management and Accounting*, 1(2), 94-119.
- Viloria, M., Cadavid, L., & Awad, G. (2018). Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(2).
- Xiao, Y., & Yan, J. (2017). Modeling airport capacity choice with real options. *Transportation Research Part B: Methodological*, 100, 93-114.
- Xiao, Y., Fu, X., Oum, T., & Yan, J. (2016). *Modeling airport capacity choice with real options*. ITLS.
- Zapata, C., Piñeros, L., & Castaño, D. (2004). El método de simulación de Montecarlo en estudios de confiabilidad de sistemas de distribución de energía eléctrica. *Scientia Et Technica*, X(24), 55-60.
- Zapata, Q. C. (Diciembre de 2015). *researchgate*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/305775535>
- Zepeda, I., Ángeles, G., & Carrillo, D. (2017). Infraestructura portuaria y crecimiento económico regional en México. *Economía, Sociedad y Territorio*, XVIII(54), 337-266.

