

**El Valor de la Flexibilidad: Aplicación de las Opciones Reales a Concesiones  
Viales en Colombia**

**Andrés Felipe Aponte Penagos  
Erick Ruffo Muñeton Avancian**

**Colegio de Estudios Superiores de Administración –CESA-  
Maestría en Finanzas Corporativas  
Bogotá  
2015**

**El Valor de la Flexibilidad: Aplicación de las Opciones Reales a Concesiones  
Viales en Colombia**

**Andrés Felipe Aponte Penagos  
Erick Ruffo Muñeton Avancian**

**Director:  
Santiago Stozitzky Otalora**

**Colegio de Estudios Superiores de Administración –CESA-  
Maestría en Finanzas Corporativas  
Bogotá  
2015**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>6</b>
<b>INDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. Estado del Arte</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>14</b>
<b>2. Valoración Tradicional</b>	<b>14</b>
2.1. Valoración en Libros	15
2.2. Valoración por Múltiplos	16
2.3. Valoración por Goodwill	17
2.4. Descuento de Flujos de Caja	18
<b>3. Valoración de Opciones</b>	<b>20</b>
3.1. Tipo de Opciones	21
3.2. Opciones Reales Vs. Financieras	23
3.3. Valoración de Opciones Reales	26
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>31</b>
<b>4. Valoración del Proyecto por VPN haciendo uso de Flujo de Caja Descontado.</b>	<b>32</b>
4.1. Egresos	33
4.2. Estructura de Capital	34
4.3. Ingresos	36
<b>5. Valoración del Proyecto usando Opciones Reales</b>	<b>40</b>
5.1. Valoración de la opción	42
<b>RESULTADOS</b>	<b>48</b>
<b>6. Sensibilización</b>	<b>51</b>

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>56</b>

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***Por Andrés Felipe Aponte Penagos***

*A mi esposa por su apoyo incondicional en durante la recta final de esta importante etapa académica, a mi madre por sus sabios consejos y apoyo para que lograra culminar este trabajo, a mi hermana que desde la distancia siempre me alentó y estuvo apoyando. Gracias por ayudarme a cerrar este importante y duro ciclo de mi vida.*

### ***Por Erick Muñeton A.***

*A Dios, por sus inagotables bendiciones en mi vida y amor incondicional. A mi esposa, por ser la ayuda idónea que Dios me ha regalado, donde su apoyo ha sido incondicional y constante. A mis padres y hermano, por ser quienes me han incentivado en toda mi vida a perseguir mis sueños sin importar las circunstancias. A nuestro director, Santiago, por ser quien de manera desinteresada nos acompañó en este proceso, otorgándonos sus recomendaciones y sugerencias. Finalmente, pero no menos importante, a mi compañero y coautor de proyecto de grado, Andrés, por su persistencia y arduo labor dedicado al proyecto*

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1: FINANCIAMIENTO CONCESIONES 4G	6
TABLA 2: PRINCIPALES MÉTODOS DE VALORACIÓN	15
TABLA 3: VALORACIÓN POR MÚLTIPLOS DE UNA EMPRESA. (FERNANDEZ, 2008)	17
TABLA 4: HERRAMIENTAS PARA EL CÁLCULO DE VALORES DE INTANGIBLES. (FERNANDEZ, 2008)	18
TABLA 5: TASAS APROPIADAS PARA DIFERENTES FLUJOS. (FERNANDEZ, 2008)	19
TABLA 6: CAMBIO EN EL VALOR VS. CAMBIO EN LOS PARÁMETROS DE CALCULO (HULL, 2012)	24
TABLA 7: EQUIVALENCIA ENTRE OPCIONES FINANCIERAS Y REALES	25
TABLA 8: PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DEL TRÁFICO Y TARIFAS POR CATEGORÍA	39
TABLA 9: PARTICIPACIÓN POR RECAUDO DE CADA UNIDAD FUNCIONAL	40
TABLA 10: SENSIBILIZACIÓN DE LA OPCIÓN REAL	51

## INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: INFORME DE COMPETITIVIDAD GLOBAL DEL FORO ECONÓMICO GLOBAL 2014–2015	3
ILUSTRACIÓN 2: TIPO CALL CON POSICIÓN LONG	21
ILUSTRACIÓN 3: TIPO PUT CON POSICIÓN LONG	22
ILUSTRACIÓN 4: TIPO PUT CON POSICIÓN SHORT	22
ILUSTRACIÓN 5: TIPO CALL CON POSICIÓN SHORT	22
ILUSTRACIÓN 6: ÁRBOL DE UN SOLO PERIODO	28
ILUSTRACIÓN 7: ÁRBOL DE OPCIONES REALES	29
ILUSTRACIÓN 8: DISTRIBUCIÓN DE APORTES DE LA ANI	37
ILUSTRACIÓN 9: INGRESOS POR RECAUDOS DE PEAJES.	40
ILUSTRACIÓN 10: SEUDO-CÓDIGO ALGORITMO	44
ILUSTRACIÓN 11: SENSIBILIDAD DE LOS BENEFICIOS	45
ILUSTRACIÓN 12: DISTRIBUCIÓN DEL CRECIMIENTO DE TRÁFICO VEHICULAR	48
ILUSTRACIÓN 13 FUNCIÓN DE DENSIDAD Y PROBABILIDAD DE LOS BENEFICIOS.	49
ILUSTRACIÓN 14: HISTOGRAMA DE LOS BENEFICIOS.	50

## INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones de inversión, es quizá una de las actividades más estudiadas en la disciplina económica y financiera moderna. Puesto que, no solo busca asegurar una continuidad a la actividad económica de la empresa, sino también se busca generar valor para el inversionista.

La teoría financiera tradicional propone la evaluación de proyectos a partir de términos cuantitativos, no obstante ello deja a un lado los valores cualitativos que una buena estrategia puede aportar al proyecto. Esta limitante, se debe a que los enfoques de Flujos de Caja Descontados, por su carácter estático y concepción discontinua en el tiempo no permiten integrar ambos aspectos (cuantitativos y cualitativos).

Ante lo anterior, la comunidad académica y empresarial incrementó el interés sobre las técnicas utilizadas para la valoración y selección de oportunidades de inversiones alternativas, y de esta manera acercarse más a las realidades que les correspondan. La relación directa de la planeación estratégica con las finanzas corporativas permite, en términos de Myers (1976), interpretar a los proyectos de inversión como oportunidades de crecimiento empresarial y generación de valor bajo un marco de incertidumbre.

La teoría de opciones reales permite el uso análogo de las opciones financieras para la valoración de proyectos de inversión como activos subyacentes, lo cual permitiría la valoración de la flexibilidad operativa del proyecto ante cambios en las condiciones de mercado; es decir, se le otorga un carácter dinámico y continuo a la valoración a través del ciclo mismo del proyecto en todas sus fases (cierre financiero y planeación, pre operativa y operación). Ante la materialización de incertidumbres iniciales en el futuro del proyecto, la técnica de opciones reales permite cuantificar estas condiciones para así determinar si se otorga valor o no al proyecto.

Precisamente la aplicación de esta técnica nos muestra que el valor de un proyecto no depende únicamente de los flujos de caja generados sí mismo, sino también de las oportunidades que surgen en la medida que la incertidumbre se materializa a través del tiempo.

Para el caso de proyectos de inversión en obras públicas, sobre todo en infraestructura vial, se considera de gran utilidad la utilización de opciones reales puesto que permite cuantificar la incertidumbre respecto a la demanda de usuarios y de como esta se vería afectada ante posibles reasignaciones de vehículos desde otras vías aledañas que sean construidas de forma posterior al inicio del proyecto (Guajardo, Rosa, & Alejandro, 2008 ).

El desarrollo de un país (o la velocidad con la que pueda llegar), depende de la capacidad productiva instalada que este tenga. No obstante, no basta con que el país cuente con una industria desarrollada sino también es necesario que se tenga la infraestructura suficiente y oportuna para poder conectar la oferta y la demanda, ya sea tanto interna como externa.

La inversión necesaria para desarrollar y mantener la infraestructura nacional proviene principalmente de financiación del estado. En la medida que la economía crece, esta exigirá de una mayor cobertura y calidad en las carreteras y vías, por lo que se torna importante que la inversión vaya al ritmo de la demanda. Pero esto es difícil de hacer y más cuando se tiene en cuenta que año a año a los gobiernos se les presentan nuevas prioridades y restricciones presupuestales. De allí, surgen nuevas medidas para la obtención de recursos y financiación para llevar a cabo los nuevos proyectos de infraestructura.

En Colombia existe una urgencia por hacer un alcance a la actual infraestructura del país dada la reciente entrada en vigencia de los Tratados de Libre Comercio (TLC), los cuales llegan a representar cerca de un 70% del comercio internacional. De acuerdo al Fondo Económico Mundial (WEF por sus siglas en ingles), el país está en el puesto 84 de un total de 144 en cuanto a competitividad en materia de infraestructura de transporte vial. El ranking asigna un valor entre 1 a 7 (donde 1 = No Desarrollada, y 7 = Amplia y Eficiente), donde Colombia tiene un score de 3,66 que está por debajo al promedio latinoamericano de 3,81 y aún más lejos del promedio de 6,3 que registran los primeros cinco países del mundo en esta materia (WEF, 2014). Ver Ilustración 1.

País	Ranking	Score
Venezuela	121	2,65
Paraguay	117	2,70
Bolivia	109	3
Argentina	89	3,54
Perú	88	3,54
Colombia	84	3,66
Brasil	76	3,98
México	65	4,19
Uruguay	54	4,47
Chile	49	4,56
Ecuador	50	4,6
Panamá	40	4,77
Suiza	5	6,18
Países Bajos	4	6,25
Emiratos Árabes	3	6,3
Singapur	2	6,54
Hong Kong	1	6,69
Prom. Latam		3,81

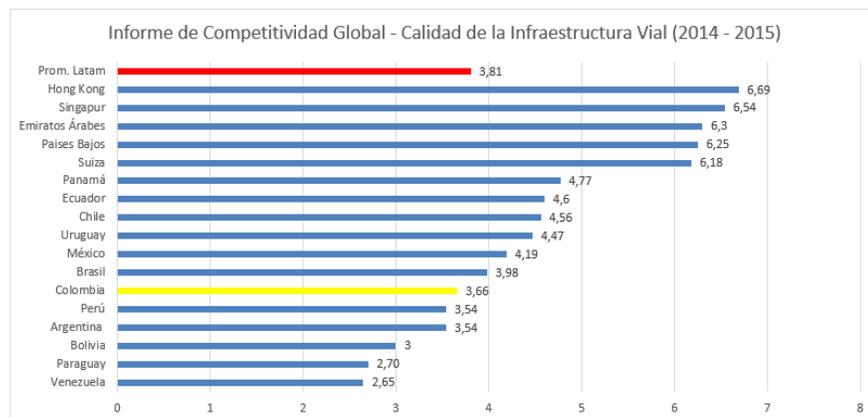


Ilustración 1: Informe de Competitividad Global del Foro Económico Global 2014–2015

De acuerdo a la Asociación Nacional de Instituciones Financieras (ANIF), los costos de transporte en el país participan entre el 10% y 35% de los gastos operativos de los principales bienes producidos en Colombia (como por ejemplo, petróleo, carbón, flores, café y textiles), frente a otros países cuyo peso promedio se ubica en el 6% (ANIF, 2014).

Actualmente, el país viene adelantando inversiones promedio al ritmo del 3.2% del PIB anual en la infraestructura con el propósito de incrementar el ritmo de crecimiento económico nacional hacia el 6% anual de forma sostenida (versus el 4.5% que se viene observando últimamente del PIB nacional). No obstante, otros estudios de investigación (Moreno, 2011) y (Banco Mundial, 2007), han advertido que para poder cumplir con los objetivos de crecimiento, es necesario aumentar el ritmo de inversión a un 6% del PIB, e inclusive concentrar cerca del 3.3% del PIB a la sola infraestructura vial hasta el año 2020. Persistir en niveles bajos de inversión en infraestructura acarrea importantes costos económicos, vistos como un costo de oportunidad. Con el actual *backlog* de proyectos se señala que las inversiones podrían descender hacia niveles del 0.9% del PIB para los periodos 2020-2022, por lo que se recomienda que se continúen añadiendo nuevos proyectos de manera continua (ANIF, 2014).

Ante esta necesidad, la administración de turno del periodo 2010 – 2014, implemento diferentes acciones para incentivar la inversión. Entre los principales avances se destacan: i) el fortalecimiento institucional mediante la creación del Viceministerio de Infraestructura (Decretos 087-088 de 2011), la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI (Decreto 4165 de

noviembre de 2011) y la Financiera de Desarrollo Nacional – FDN (enfocada a la estructuración de los proyectos según el Decreto 4174 de 2011); ii) la promulgación de la Ley 1508 de 2012 sobre las Asociaciones Público-Privadas (APP), introduciendo mejoras al régimen de contratación, prohibiendo los anticipos y evitando que las adjudicaciones se otorgaran a ofertas agresivas que pretendían ganar adjudicaciones con ofertas económicas bajas y que generaban las ganancias a través de renegociaciones y prorrogas de los contratos; iii) la implementación de políticas adecuadas de maduración-estructuración de los proyectos, requiriendo estudios de factibilidad (fase II) previos a la licitación; iv) la expedición de la Ley 1682 de 2013 (Ley de Infraestructura), ocupándose de los cuellos de botella del traslado de redes de servicios públicos y la compra de predios (expropiación por vía administrativa); entre otras.

De acuerdo a la ANI, el actual paquete de concesiones viales 4G (desde la primera ola hasta la cuarta), exigen inversiones por \$50 billones de pesos para los próximos 10 años. La primera ola (se han adjudicado 6 de 9 proyectos, exigiendo inversiones por \$11 billones) ha reportado problemas en su cierre financiero debido principalmente a: i) descalces en el plazo de financiamiento bancario, donde los desembolsos rondan entre los 8 a 10 años de plazo, en comparación a los 20 a 30 años requeridos por la concesión, ii) los persistentes riesgos que aún introduce los problemas de predios-licencias-comunidades a los proyectos de infraestructura; y iii) los sobrecostos generados por la subestimación del proyecto derivados de la calidad de estudios que se llevan a cabo, donde el concesionario ha tenido que reforzar los estudios técnicos (ANIF, 2014).

Estos proyectos de concesiones, son adjudicados bajo un esquema contractual conocido como APP, los cuales sirven para lograr los cierres financieros a partir de la estructuración pública, construcción privada y un financiamiento compartido entre ambos sectores; y de esta manera buscar compartir los riesgos inherentes en este tipo de proyectos. Estas asociaciones fueron introducidas por primera vez en el país en el año 2012 a través de la Ley 1508. Debido a las complicaciones económicas que se han venido presentando en anteriores esquemas, en donde la financiación era netamente pública (ya sea a partir de recursos corrientes de partidas presupuestales o de vigencias futuras). No obstante, estos esquemas ya habían sido utilizados en otros países tiempo atrás, como por ejemplo Estados Unidos, quien por medio de su Ley

para la Infraestructura de Transporte, Financiación e Innovación del 2000, promueve la participación del sector privado en el desarrollo de proyectos de infraestructura. Esta ley busca el apalancamiento de los recursos públicos que son de por sí limitados y la estimulación de la inversión privada, con asistencia crediticia ya sea vía préstamos bancarios, garantías bancarias, o líneas *stand by* para todos aquellos proyectos que tuviesen una importancia regional o nacional (Kazem, 2012).

La implementación de las APP (ya sea de iniciativa privada o pública) conlleva a que se haga uso de la metodología de Construcción – Operación – Transferencia (COT, o también conocido como BOT en sus siglas en inglés). Este método consiste en el uso de la financiación privada y el *expertise* que este tenga en la construcción de la obra y su operación. Bajo este modelo, el privado, denominado como “concesionario”, llega a un acuerdo con el público (representado por el Gobierno Central), llamado “contratante”, donde es el primero quien resulta como responsable de la financiación, diseño, construcción y operación del proyecto en representación del sector público durante una ventana de tiempo determinada y llamada como “periodo de concesión”. Al final de dicho periodo, el concesionario debe devolver todos los derechos adquiridos de la concesión al público. El concesionario debe haber cubierto sus costos como también haber generado un retorno a su inversión, proveniente de los ingresos derivados del proyecto (por ejemplo, el recaudo de peajes) o de compensaciones por parte del gobierno.

Típicamente para este tipo de proyectos el financiamiento se estructura a manera de *Project Finance*, en donde el proyecto mismo es quien asume y repaga la deuda; y bajo esta estructura, los prestamistas se constituyen como un agente importante en la concesión. Y así lo señala la (ANIF, 2014), donde la Deuda es el 80% del financiamiento requerido. Ver Tabla 1: Financiamiento Concesiones 4G

		\$ Billones	% Total	
<i>Equity</i>	Interno	2,5	5	
	Externo	7,5	15	
<i>Deuda</i>	<i>Subordinada</i> FDN - Multilaterales	5	10	
	<i>Senior</i>	Bancos internos	15	30
		Bancos externos	13	26
		Fondos de Capital	7	14
<b>Total</b>		<b>50</b>	<b>100</b>	

Fuente: Cálculos ANIF con base en ANI.

*Tabla 1: Financiamiento Concesiones 4G*

Esto hace que haya 3 grandes agentes en la concesión: (i) El Gobierno (como contratante) quien buscaría velar que el proyecto tenga una viabilidad política y socio-económica, (ii) El Privado (como concesionario) quien se preocupa principalmente porque el proyecto tenga una viabilidad financiera; y (iii) Los Acreedores de la Deuda, quienes se preocupan en que el privado pueda atender el servicio de la deuda. A partir de esto, nace una serie de interrelaciones complejas entre estos 3 dentro del proyecto, que pueden agravarse si el contrato APP no logra alocar entre los tres de manera eficiente y efectiva los riesgos del proyecto y sus retornos.

Sin embargo, implementar esta distribución no ha sido fácil. En la experiencia colombiana, los últimos 10 años han registrado dificultades en las concesiones para administrar los riesgos de construcción –geológicos (por no contar con estudios técnicos detallados previos a las licitaciones) y regulatorios-jurídicos (licencias ANLA, consultas con las comunidades y adquisición de predios). Las concesiones 4G cuentan con un marco regulatorio más sólido gracias a los avances antes discutidos (Ley de APPs y de Infraestructura), sin embargo aún prevalecen los riesgos en materia de: (i) Construcción, donde la mayoría de los trazados presentan desafíos importantes en términos geológicos y de ingeniería (agravado por los precarios estudios en la etapa de pre-licitación, donde se está invirtiendo solo el 0.2% del valor de los proyectos versus la norma internacional del 2% a 3%); y los (ii) bajos niveles de tráfico actual e incertidumbre sobre la demanda futura, una vez terminada la nueva obra.

De acuerdo a los autores Cheah & Garvin (2009) y Mun (2002), las metodologías de Flujos de Caja Descontados (FCD) y Análisis de Valor Presente Neto (VPN), son principalmente usadas para valorar la inversión de aquellos activos que no son transados en mercados, un ejemplo de esto son los proyectos de infraestructura. No obstante, estas metodologías son útiles en la medida en que los riesgos y la incertidumbre de información a lo largo de la vida del proyecto son conocidas y estables; por lo que su aplicación en proyectos de infraestructura se ve fuertemente limitada. Es por esto, que el desarrollo de metodologías no determinísticas son necesarias para la evaluación de este tipo proyectos, como también para su valoración.

En los proyectos de infraestructura, uno de los principales riesgos financieros, es la insuficiencia de los ingresos. Esta insuficiencia deriva de la materialización del riesgo de ingreso, en donde por la incertidumbre acerca de la demanda de tráfico sobre la vía a construir, se materialice el escenario adverso en donde la demanda es lo suficientemente baja como para no poder cubrir los costos de la obra, servicio de la deuda y generar el retorno esperado por el inversionista. De allí surge la necesidad de desarrollar metodologías que dentro de la valoración de proyectos incorporen los factores de incertidumbre que las caracterizan.

La presente investigación, busca suministrar una metodología de alternativa de valoración (mediante opciones reales) en donde se demuestre que es posible agregar valor a un proyecto de inversión cuando se toman decisiones administrativas que resultan eficientes y óptimas bajo ciertas condiciones de incertidumbre; aun cuando estas no se tomaban en cuenta bajo la perspectiva de metodologías tradicionales.

## **Estado del Arte**

El estado actual de las Finanzas Corporativas, como disciplina hoy en día sofisticada y modernizada, ha sido gracias a aquella contribución realizada por parte de los autores Franco Modigliani y Merton Miller (1958). Su aporte, fue sin duda aquel empujón que necesitaba la disciplina para llegar a un nivel de formalización equiparable al de otras ciencias ya maduras. Al artículo al cual hacemos referencia es *The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment*; en donde comprueban que siempre y cuando se den ciertas condiciones

es posible afirmar que existe una irrelevancia en la estructura de capital de una empresa en cuanto a que instrumento de financiamiento haga uso; y por ende no se verá afectado el valor de la misma. Las condiciones que permiten que dicha hipótesis se cumpla son: (i) inexistencia de impuesto, tanto a nivel de la empresa como también a nivel de las personas naturales (siendo estas las propietarias y administradoras de las empresas, y por ende fuente de financiamiento de estas), (ii) no existen costos asociados a las quiebras, (iii) no existe la asimetría de información; (iv) como tampoco existe el riesgo de problemas de agencia.

No obstante, en la realidad el cumplimiento de dichas condiciones no se da, y por ende observamos que el valor de las empresas si se ve afectado por la estructura de capital. A pesar, que en la práctica el trabajo de Modigliani y Miller no se cumpla, el ejercicio de relajar los supuestos detrás de su trabajo, es lo que ha hecho que la investigación formal en finanzas corporativas se haya extendido desde entonces.

Algunos años antes y otros después al artículo, Markowitz (1952) y Merton (1969) hablan acerca de la escogencia de un portafolio óptimo bajo condiciones de riesgo e incertidumbre. El trabajo de Markowitz, es el resultado de una insatisfacción respecto la teoría y técnicas de la época en donde se ignoraba el impacto del riesgo sobre el valor de las acciones, y de su trabajo nació el *Portafolio Eficiente* de Markowitz. Dicho portafolio lo que estipula, es que existe un portafolio tal que, ninguna diversificación adicional podrá reducir el riesgo del portafolio para un nivel dado de retorno esperado; como tampoco se podrá incrementar el retorno del portafolio sin tener que asumir un incremento en el riesgo del mismo. En resumidas, la frontera eficiente es aquel conjunto de portfolios que dan el más alto retorno para cada nivel de riesgo. Estos conceptos han sido necesarios para el posterior desarrollo del *CAPM (Capital Asset Pricing Model)* (Black, Jensen, & Scholes, 1972). Por el lado de Merton, el problema consistió en como un inversionista debía escoger como asignar su riqueza entre un conjunto de acciones y activos libres de riesgo para maximizar la utilidad esperada, bajo un contexto de tiempo continuo.

En el año 1973, Merton hace referencia al modelo matemático propuesto por los autores Fischer Black & Myron Scholes (1973). Dicho modelo ha sido denominado Black-Scholes, y su utilidad deriva a la capacidad que se obtiene de él para valorar una opción europea, ya sea para la compra (Opción Call) o venta (Opción Put), de acciones (que no pagan dividendos) en

una fecha futura. La matemática subyacente consistió en la formulación de una ecuación diferencial parcial con la cual se podría hacer coberturas de la opción, por medio de la compra y venta del activo financiero de tal forma que pudiese eliminar el riesgo.

Para complementar la teoría de opciones financieras, Cox, Ross & Rubinstein (1979) en el año 1979 en su trabajo *Option Pricing: A Simplified Approach*; plantean otro modelo matemático para la determinación del precio de acciones. En vez de tener un enfoque diferencia y tiempo continuo como lo fue en Black & Scholes, el modelo binomial de los autores trabajan bajo el marco de tiempo discreto y formulas algebraicas sencillas; esto le otorgo flexibilidad al modelo para valorar bajo diferentes condiciones que otros modelos (Black & Scholes, 1973) no pueden manejar con la misma facilidad. Parte de sus virtudes está en que permite la descripción del activo subyacente sobre un periodo de tiempo a cambio de una única fecha; de esta manera se logró por medio de este modelo hacer valoraciones a Opciones Americanas (las cuales se pueden ejercer antes de su vencimiento) y otras como las Opciones Bermuda (que se pueden ejercer solo en ciertas fechas previas al vencimiento).

Retomando el legado de Modigliani & Miller, Steward Mayers (1976) es quien en su análisis identifica que las empresas son compuestas por dos tipos de activos: capital instalado<sup>1</sup> y oportunidades de crecimiento, a estas últimas luego se les identifico como opciones de crecimiento. Al acuñar el termino de Opciones Reales, como aquellas oportunidades de inversión para impulsar el crecimiento de las empresas<sup>2</sup>, permitió que se iniciara la homologación de las opciones financieras a las reales; las opciones de crecimiento, espera y abandono, se les asemejarían a derechos de compra para las dos primeras, y a un derecho de venta para la última opción mencionada.

Carl Kester (1984), incrementó la utilidad del concepto de opciones reales al relacionar la toma de decisiones respecto al capital de una empresa con las oportunidades estratégicas de la misma, puesto que las opciones de crecimiento representan el valor de una empresa que las tiene (las opciones), y como tal, todos los planes de inversión futuras deberán ser revisadas en esos términos. Kester afirma que el valor de un proyecto no viene únicamente de los flujos

---

<sup>1</sup> Esto comprende las inversiones ejecutadas y en operación (recoge el valor de los activos tangibles e intangibles que actualmente posee y utiliza la empresa).

<sup>2</sup> Esta definición fue perfeccionada posteriormente por Dixit y Pindyck (1994).

incrementales que ofrecen la inversión, sino aún más de las oportunidades que se abren a partir de la decisión de inversión.

Poco tiempo después, Majd y Pindyck (1987), advierten que las metodologías de flujo de caja descontado son inadecuadas para la valoración de proyectos, puesto que no toman en cuenta la flexibilidad que pueda surgir en la gerencia ante la llegada de nueva información. Ante lo anterior, los autores desarrollan un modelo para evaluar las inversiones en proyectos teniendo en cuenta la flexibilidad tanto en la forma como se ejecutan los presupuestos de inversión como de la nueva información que afecte el proyecto; haciendo uso de modelos de valoración de opciones financieras para llegar finalmente a un conjunto de reglas óptimas para la toma de decisión en inversión. Lo que les importaba era demostrar cómo el periodo de construcción, el costo de oportunidad y la incertidumbre afectan la decisión de inversión<sup>3</sup>. Esto les permitió valorar opciones de retrasar la construcción por etapas.

En el mismo periodo, Mc Donald y Siegel (1985), valoran una empresa cuando esta cuenta con la opción de abandonar (*Shut Down*) y/o esperar. Este *paper* busca desarrollar y estudiar una metodología para valorar proyectos riesgosos de inversión, donde existe la opción (posibilidad) de cerrar temporalmente la producción y abandonar sin costo; cuando el costo variable excede los ingresos operativos. La incertidumbre es introducida por medio del supuesto que los precios y costos siguen un proceso estocástico continuo en el tiempo. La empresa usada en su modelo es neutral al riesgo (principio de risk - neutrality), es maximizadora de valor y tomadora de precios, que a su vez la empresa en sí misma es propiedad de inversionistas que son adversos al riesgo<sup>4</sup>. Los principales hallazgos de los autores fueron: (i) incrementos en la varianza del “output Price” (se refiere al precio del producto final), puede incrementar o disminuir el valor de un proyecto<sup>5</sup>, (ii) los precios observables de futuros (hace referencia a los contratos de derivados en mercados organizados)

---

<sup>3</sup> En 2000, A. Milne & A.E. Whalley, hacen una revisión al modelo propuesto por Majd y Pindyck, y sustentan que dicho modelo ignora una condición importante en la optimización, y consiste en que periodos largos de inversión en el proyecto reducen los efectos incrementales en el valor del proyecto por su volatilidad; en comparación a otros modelos de inversión bajo incertidumbre, donde las inversiones de construcción son “instantáneas”.

<sup>4</sup> La aversión al riesgo influye en la toma de decisiones de la empresa y por ende afecta el costo de capital de la misma.

<sup>5</sup> Este incremento aumenta las rentabilidades futuras esperadas dado un stock de capital, pero pueden también disminuir el valor presente de captaciones o capturas sobre futuras utilidades.

permiten a la empresa valorar un proyecto sin tener que predecir los precios del commodity de intereses<sup>6</sup>, inclusive si el precio del futuro es un predictor sesgado. Y (iii) Para un proyecto dado, con un stock de capital fijo, es posible que capturas sobre utilidades no certeras en varios años en el futuro, puedan tener un valor presente corriente superior mayor a aquellas utilidades correspondientes a un futuro más inmediato. Sin embargo, si estas utilidades son demasiado lejos en el futuro, su valor presente tenderá a ser menor a las de las utilidades más próximas.

M. J. Brennan y E. S. Schwartz (1985), en su *paper* hacen la evaluación de un proyecto que ocurre típicamente en sectores que trabajan con recursos naturales, y que en dicho proyecto se encuentran incluidas las oportunidades de crecimiento, atraso (o diferir la inversión) y abandono; con lo cual contrastan el cálculo por medio de VPN (Valor Presente Neto) y el obtenido incluyendo las opciones reales. A pesar que la propuesta del trabajo de Brennan & Schwartz, consiste en la construcción de portafolios contruidos a partir de contratos de futuros para el análisis de commodity que afecta el proyecto, el enfoque general una vez desarrollado en un contexto de equilibrio general, también puede ser replicado en otros escenarios donde no existan los mercados de derivados.

De los años 90's, se destaca los aportes de Trigeorgis (1991) (1996), quien realizó transformaciones a las metodologías de árboles binomiales propuestos por Cox, Ross y Rubinstein (1979) para aplicarlos a las realidades corporativas. Particularmente, se identificó que proyectos de inversión en la realidad suelen ser complejas y por ende, llevan incorporadas una multiplicidad de opciones que llegan a interactuar entre sí. La literatura de opciones reales hasta la fecha se había dedicado a valorar cada tipo de opción real a la vez; sin embargo, la valoración individual de las opciones y luego proceder a sumarlas es una práctica inapropiada para este autor. El modelo de Trigeorgis (1991), lo que hace es una transformación logarítmica al método binomial y con ello logra la valoración de opciones integradas entre sí.

A partir del año 2002 surgieron múltiples trabajos acerca de las interacciones de las opciones reales, desde las interacciones de las opciones y el diseño mismo de los proyectos de inversión. En este último enfoque, se destaca el trabajo de Wang y Neufville (2005) quienes

---

<sup>6</sup> El uso de precios sobre futuros elimina la necesidad de ajustarse al riesgo sistémico.

acuñaron el tema de opciones reales en el diseño de proyectos; esto hace referencia a opciones que se encuentran incluidas en las especificaciones técnicas y características técnicas de los proyectos. Y por ende, estas opciones reales pueden ser diseñadas dentro de los proyectos. Rose (1998) ya ha habido advertido que dentro de la especificación contractual de los proyectos se puede crear opciones reales.

A nivel internacional, la aplicación de estas metodologías se ha enfocado a industrias típicamente extractoras, como la Minería, Petróleo y Gas, Energía (tanto de fuentes térmicas, hidrológicas como eólicas), pero también se ha extendido a Bienes Raíces y Telecomunicaciones. En Colombia, a estos mismos sectores les han aplicado las metodologías de opciones reales. Entre los principales, encontramos: (i) Arango y M. Vásquez B. (2012), realizaron la valoración por medio de opciones reales (usando la metodología de árboles binomiales) de la concesión Ruta del Sol tramo I encontrando que el proyecto en sus primeros años al poder ejecutar en una forma más acelerada sus inversiones, el concesionario se apropiará más rápidamente de los recursos estatales y consigo incrementar el valor de la opción. Esto demuestra la importancia que tienen las decisiones tomadas en las etapas tempranas del proyecto. Y (ii) M.I. Corpus Grey (2011), en su tesis de magister, hace uso de las opciones reales aplicando la simulación Montecarlo para estimar las volatilidades, y árboles binomiales para la valoración de empresas hidroeléctricas.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

El principal objetivo del presente trabajo de investigación es, la aplicación de la metodología de Opciones Reales a la valoración de Proyectos de Infraestructura (bajo el marco de 4G) en donde se encuentra la posibilidad de acelerar la construcción de la obra frente al plan original de licitación; teniendo en cuenta la incertidumbre que se deriva desde la demanda futura de tráfico.

Como objetivos específicos, se plantean:

- (i) Determinar el valor de un proyecto de infraestructura por medio de la metodología tradicional de Flujo de Caja Descontado (FCD).
- (ii) Plantear una metodología adecuada para la valoración de opciones reales, particularmente cuando se trata de la opción de acelerar la construcción, bajo el contexto de proyectos de infraestructura 4G.
- (iii) Evaluar el valor agregado que propone la opción real de aceleración, frente a la valuación tradicional de proyectos de infraestructura.

## DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### Valoración Tradicional

Los proyectos de inversión generalmente envuelven compra de activos, tangibles o intangibles, los cuales traerán retornos a los inversionistas. Dichos inversionistas apoyan sus decisiones de inversión en diversas herramientas y metodologías de valoración, para las cuales existen diversas herramientas que buscan pronosticar el comportamiento del valor de cada una de las inversiones.

De acuerdo con Fernández (2008) la valoración de empresas es: "...un ejercicio de sentido común que requiere de unos pocos conocimientos técnicos y mejora con la experiencia", sin embargo, la literatura alrededor de este tema muestra diversas metodologías técnicas (como las llama Fernández) que tienen como objeto modelar situaciones bajo diferentes supuestos y desde varios puntos de vista. La valoración de empresas es usada comúnmente para:

- Operaciones de compraventa y fusiones: donde se ponen los precios máximos y mínimos sobre los que se inician los procesos de negociación entre vendedores y compradores.
- Valoraciones de empresas listadas en bolsa: para determinar la posición frente al mercado o para nuevas emisiones de acciones.
- Herencias y testamentos: Para comparar con el valor de otros bienes.
- Identificación de valor: Para identificar las fuentes de creación y destrucción de valor con el fin de hacer una planificación correcta en las estrategias de las empresas
- Procesos de arbitraje y pleitos: Requisitos para decisiones judiciales o de cortes de arbitramento.

Los proyectos de valoración financiera se enmarcan en dos grandes grupos desde el punto de vista de su aplicación: *Corporate Finance*, donde se valoran proyectos de inversión

en los cuales se usan los flujos de la empresa como garantía para los inversionistas (recurso) y *Project Finance*, que es la evaluación de proyectos donde la garantía para los inversores son los flujos del proyecto mismo. Sin embargo, las metodologías de valoración que se usan en ambos grupos son las mismas.

Autores como Mascareñas (1999) y Pablo Fernández (2008) exponen diversas metodologías de valoración responden las de uso tradicional, entre las que se encuentran: valoración de libros; valoraciones por múltiplos o de resultados, Goodwill, descuento de flujos proyectados como una de la más usadas (Finerty, 2007), creación de valor y por ultimo están las no tradicionales, objeto central del presente trabajo, conformadas por las metodologías de evaluación de opciones reales.

Cada una de las metodologías mencionadas utiliza diferentes herramientas y formas para su aplicación que dependen del objetivo que se quiera lograr con la valoración. En la Tabla 2 tabla se muestra algunos métodos de las metodologías anteriormente mencionados

PRINCIPALES METODOS DE VALORACION					
BALANCE	CUENTA DE RESULTADOS	MIXTOS (GOODWILL)	DESCUENTO DE FLUJOS	CREACION DE VALOR	OPCIONES
Valor contable	Múltiplos de:	Clásico	<i>Free cash flow</i>	EVA	Black y Scholes
Valor contable ajustado	Beneficio: PER	Unión de expertos	Cash flow acciones	Beneficio económico	Opción de invertir
Valor de liquidación	Ventas	Contables europeos	<i>Dividendos</i>	<i>Cash value added</i>	Ampliar el proyecto
Valor sustancial	Ebitda	Renta abreviada	<i>Capital cash flow</i>	CFROI	Aplazar la inversión
Activo neto real	Otros múltiplos	Otros	APV		Usos alternativos

*Tabla 2: Principales métodos de valoración*

En las subsecciones siguientes se presentan las características principales que diferencian cada una de las metodologías y algunas de las herramientas utilizadas en cada una.

### **Valoración en Libros**

Esta metodología usa las cuentas de balance para generar el resultado de la valoración. Dentro de este grupo están: el valor contable, que es el valor del patrimonio total menos el pasivo exigible de la empresa; Valor contable ajustado, tiene en cuenta los valores de mercado de los activos y pasivos registrados en la contabilidad; valor de liquidación y valor sustancial.

Aunque en Colombia existen normas que exigen la actualización anual <sup>7</sup>de la información financiera de las compañías y a pesar de la reciente entrada de las NIIF, los estados financieros (como el Balance General y Estado de Resultados) presentan importantes sesgos tributarios que llevan al cambio de algunos valores que pueden no reflejar la realidad financiera de la empresa. Adicionalmente no tienen en cuenta la capacidad futura de generar caja por parte de la empresa, lo que sugiere que esta es información es insuficiente para la toma de decisiones.

### **Valoración por Múltiplos**

La valoración a través de múltiplos es una simplificación para dar un rango de valores aproximados de una empresa o proyecto de inversión; estas comparaciones se hacen entre compañías que tengan características de mercado, estructura y modelos de negocio similares.

Con esta metodología se pueden calcular valores para comparaciones frente a la capitalización bursátil, deuda o los valores corporativos y patrimoniales del proyecto frente a los resultados de ingresos o ganancias.

Para llegar a las comparaciones de valor se calcula el resultado final de la valoración en función de alguna de las variables mencionadas, comúnmente se usa el EBITDA. De esta manera se pueden usar los múltiplos que han arrojado valoraciones anteriores en sectores específicos para hallar un rango de valores posibles frente a un proyecto o empresa del cual se conozca el EBITDA (McKinsey & Company, 2010).

Para ejemplificar el uso de esta metodología, la Tabla 3 muestra los múltiplos obtenidos para diversas empresas comparables con una empresa llamada *Superdiplo*. Con estos valores y los propios de la empresa objeto de valoración se llega a valores del rango de valor de empresa. De esta manera si se tuviera en cuenta el EBITDA de 1997 y el esperado para 1998, el valor de la empresa estaría entre 679 y 802 millones de euros.

---

<sup>7</sup> De acuerdo al marco conceptual de la revisoría fiscal en Colombia, dentro del código de comercio.

	Múltiplos de cada empresa				Valoración de las acciones (millones de euros) de Superdiplo utilizando ratios de:				
	Modelo	Jerónimo	Pryca	Continente	Modelo	Jerónimo	Pryca	Continente	Media
P/Ventas 1997	1,90	2,70	1,00	0,70	1.049	1.491	552	387	870
P/Ventas 1998E	1,60	1,90	1,00	0,60	1.441	1.711	900	540	1.148
P/BAAIT 1997	24,80	28,20	12,00	13,90	854	971	413	479	679
P/BAAIT 198E	20,10	21,50	11,40	12,90	978	1.046	555	628	802
P/BAIT 1997	29,80	42,00	20,50	27,90	810	1.141	557	758	816
P/BAIT 1998E	24,90	30,80	19,30	27,90	924	1.143	716	1.035	955
PER 1997	44,90	54,50	27,80	36,70	906	1.100	561	741	827
PER 1998E	37,60	38,40	27,70	35,50	1.289	1.317	950	1.217	1.193
P/CF 1997	33,90	36,90	14,40	17,70	932	1.014	396	487	707
P/CF19 98E	26,90	27,00	14,20	15,80	1.234	1.238	651	725	962
P/Valor contable 1998E	7,00	7,83	3,55	3,98	1.459	1.632	740	830	1.165
				Media	1.080	1.255	636	711	920

*Tabla 3: Valoración por múltiplos de una empresa. (Fernandez, 2008)*

Este método de valoración es ampliamente usado como referencia para validar los resultados obtenidos en otras metodologías, puesto que presenta una alta variabilidad en los resultados debido a que depende de: los métodos usados para valorar las demás empresas y a la homogeneidad entre las empresas comparadas. Por otro lado no tienen en cuenta los factores de crecimiento o de opciones de inversión particulares de la empresa o proyecto donde se exploten las ventajas competitivas de la misma.

### **Valoración por Goodwill**

Aunque los métodos de valoración de intangibles son de cierta manera arbitrarios, algunas metodologías se han desarrollado para tratar de encontrar estos valores y ajustarlos a la realidad. Estos métodos, en general, tienen dos partes la primera busca el valor de la empresa en un momento particular y la segunda es el cálculo del valor futuro. La Tabla 4 muestra algunas de las herramientas que se usan en este tipo de metodologías.

	Valor de la empresa
Método de valoración "clásico"	$V = A + (n \times B)$ para empresas industriales, o $V = A + (z \times F)$ para el comercio minorista A = valor del activo neto; n = coeficiente comprendido entre 1,5 y 3; F = facturación B = beneficio neto; z = porcentaje de la cifra de ventas.
Método simplificado de la "renta abreviada del goodwill" o método de la UEC simplificado	$V = A + a_n (B - iA)$ A = activo neto corregido; an = valor actual, a un tipo t, de n anualidades unitarias, con n entre 5 y 8 años; B = beneficio neto del último año o el previsto para el año próximo; i = rentabilidad de una inversión alternativa. $a_n (B - iA)$ = fondo de comercio o goodwill. (B - iA) se suele denominar <i>superbeneficio!</i>
Método de la Unión de Expertos Contables Europeos (UEC) <sup>16</sup>	Si se despeja $V = A + a_n (B - iV)$ , se obtiene: $V = [A + (a_n \times B)] / (1 + i a_n)$
Método indirecto o método "de los prácticos"	$V = (A+B/i)/2$ que también puede expresarse como $V = A + (B - iA)/2i$ i suele ser el tipo de interés de los títulos de renta fija del Estado a largo plazo. B es muchas veces el beneficio medio de los últimos tres años. Tiene muchas variantes, que resultan de ponderar de manera distinta el valor sustancial y el valor de capitalización de los beneficios.
Método anglosajón o método directo	$V = A + (B - iA) / t_m$ La tasa $t_m$ es la tasa de interés de los títulos de renta fija multiplicada por un coeficiente comprendido entre 1,25 y 1,5 para tener en cuenta el riesgo.
Método de compra de resultados anuales	$V = A + m (B - iA)$ El número de años (m) que se suele utilizar es entre 3 y 5. El tipo de interés (i) es el tipo de interés a largo plazo.
Método de la tasa con riesgo y de la tasa sin riesgo	$V = A + (B - iV)/t$ despejando $V = (A + B/t) / (1 + i/t)$ i es la tasa de una colocación alternativa sin riesgo; t es la tasa con riesgo que sirve para actualizar el superbeneficio y es igual a la tasa i aumentada con un coeficiente de riesgo. La fórmula es una derivación del método de la UEC cuando el número de años tiende a infinito.

Tabla 4: Herramientas para el cálculo de valores de intangibles. (Fernandez, 2008)

### Descuento de Flujos de Caja

Las metodologías de valoración a través de flujos descontados están diseñadas para facilitar la valoración y buscan que el valor del proyecto sea mayor al de la inversión. Esta metodología se desarrolla en cuatro etapas (Finerty, 2007):

#### 1. Estimar los flujos resultantes del proyecto

En las proyecciones que se realizan en el proceso de valoración por este método se obtienen varios flujos: flujo disponible para el servicio de la deuda, que es el flujo que estaría disponible en cada periodo para pago del pasivo financiero de la empresa; flujo de caja libre, es el valor disponible después del pago de las obligaciones financieras; flujo disponible al accionista, que es el valor que estaría sujeto a la decisión de los accionistas para su reinversión o distribución como dividendos; y flujo de dividendos, usado por inversionistas minoritarios que dependen de las políticas de dividendos de las empresas.

2. Evaluar el riesgo de y determinar bajo este supuesto la tasa de con la que se descontarán los flujos esperados.

Dependiendo del objetivo del a valoración y del flujo que se requiera descontar se debe escoger una tasa de descuento diferente. De manera general la Tabla 5 muestra una regla rápida de uso de diferentes tasas de acuerdo al flujo que se requiera descontar basadas en la información que entrega cada uno de los flujos.

FLUJO DE FONDOS	TASA DE DESCUENTO APROPIADA
<b>CFac.</b> Flujo de fondos para los accionistas	<b>Ke.</b> Rentabilidad exigida a las acciones
<b>CFd.</b> Flujo de fondos para la deuda	<b>Kd.</b> Rentabilidad exigida a la deuda
<b>FCF.</b> Flujo de fondos libre ( <i>free cash flow</i> )	<b>WACC.</b> Coste ponderado de los recursos (deuda y acciones)
<b>CCF.</b> <i>Capital cash flow</i>	<b>WACC</b> antes de impuestos

Tabla 5: Tasas apropiadas para diferentes flujos. (Fernandez, 2008)

3. Calcular el valor presente neto usando la tasa de descuento encontrada anteriormente.

Los flujos proyectados de cada uno de los periodos se descuentan con la tasa más adecuada, como se mencionó anteriormente. La Ecuación 1 ilustra la forma en que se desarrolla el cálculo con el fin de obtener el valor neto de los flujos.

$$VNA = \frac{VF_1}{(1 + K)^1} + \frac{VF_2}{(1 + K)^2} + \dots + \frac{VF_n}{(1 + K)^n}$$

Ecuación 1: Cálculo del VNA.

Dónde:

$VF_n$ : valor del flujo en el periodo  $n$

$K$ : Tasa de descuento

$n$ : Periodo

Cuando las tasas de descuento son constantes a través del tiempo, la Ecuación 1 se puede simplificar para llegar a la Ecuación 2.

$$VNA = \sum_{n=1}^p \frac{VF_n}{(1+K)^n}$$

*Ecuación 2: Simplificación del VNA*

Donde  $p$  es el último periodo proyectado en la valoración.

4. Determinar el costo del proyecto y compararlos con su valoración.

El valor actual del proyecto es la inversión que se requiere hacer, si la valoración es mayor (valor neto mayor a cero) entonces es un proyecto viable para la inversión. Esta viabilidad está acompañada de herramientas adicionales para evaluar otros aspectos de la conveniencia de la inversión como la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación (Mascareñas Pérez, 1999).

A pesar de ser la metodología más usada y aceptada en la banca de inversión, puesto que recoge de manera simple el riesgo del proyecto y el tiempo de la proyección, este tipo de técnicas asumen que la decisión de inversión se realizará únicamente en el momento inicial y se mantendrá invariante durante la proyección de inversión. Esta posición de rigidez (que obedece a la naturaleza determinística del método), imposibilita la entrada de información nueva al proyecto a través del tiempo (Mun, 2002).

Por este motivo nuevas investigaciones han llevado al desarrollo de metodologías que permiten tener en cuenta información diferente a la inicial, flexibilizando las decisiones del proyecto de tal manera que se pueda modelar situaciones de: abandono, aplazamiento, ampliación o reducción del proyecto. Estas herramientas son conocidas como opciones reales y son el objeto principal de este trabajo.

## **Valoración de Opciones**

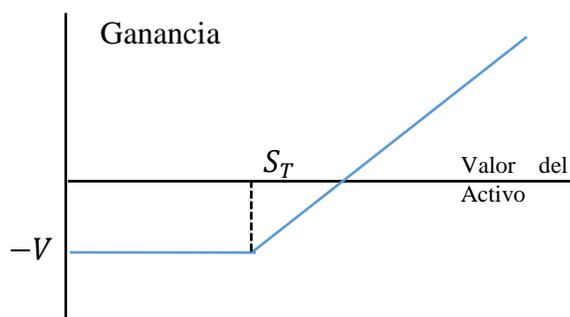
Una Opción es un instrumento financiero el cual se deriva de un contrato, en donde el comprador de la opción cuenta con el derecho, mas no la obligación, de comprar o vender el activo subyacente del contrato (en el mercado financiero suelen ser acciones, bonos, índices bursátiles, etc.) a un precio determinado (llamado *strike*, o precio de ejercicio) hasta una fecha

discreta (conocida como el vencimiento de la opción). Actualmente, existen dos grandes tipos de opciones: *Call* (opciones de compra) y *Put* (opciones de venta); y de estas se han extendido a otras de carácter “exótico” donde comparten elementos entre sí.

### Tipo de Opciones

De acuerdo con la necesidad una opción puede otorgar el derecho a comprar o a vender un activo, lo que se conoce como opciones CALL y PUT respectivamente. Como se mencionó antes para obtener el derecho o “opción” es necesario pagar el valor de esta (Posición larga). De este modo, en el caso de una opción CALL que tiene un valor  $V$  y que pacta un valor de ejercicio  $S_T$  en el tiempo  $T$ , solo será atractivo para el inversionista ejercer la opción cuando el valor del activo subyacente<sup>8</sup> supera  $S_T$ , pero solo generará ganancia cuando el valor supera  $S_T + V$ . De manera opuesta, en las opciones es PUT el inversionista se verá atraído a ejercerla solo hasta cuando el valor del activo es menor a  $S_T$ . Es de notar que para la opción PUT existe un límite máximo de ganancia de  $S_T - V$  puesto que no se pueden tener valores negativos de los activos<sup>9</sup>.

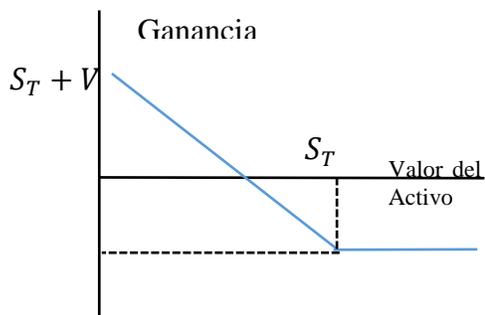
Por otro lado, la posición corta (Short) en las opciones daría como resultado valores opuestos a los de la posición corta. En la Ilustración 2 a la Ilustración 5 se muestra el comportamiento de la ganancia para las cuatro combinaciones resultantes del tipo y la posición.



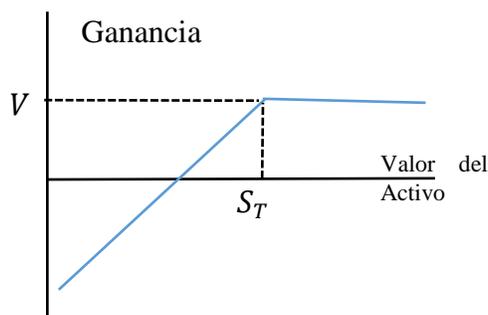
*Ilustración 2: Tipo Call con posición Long*

<sup>8</sup> El activo subyacente es el activo sobre el cual se pacta la operación de venta o compra de una acción en particular. En las opciones financieras este activo puede ser una acción, un índice o un portafolio. En las opciones reales el activo es el mismo proyecto objeto de la valoración

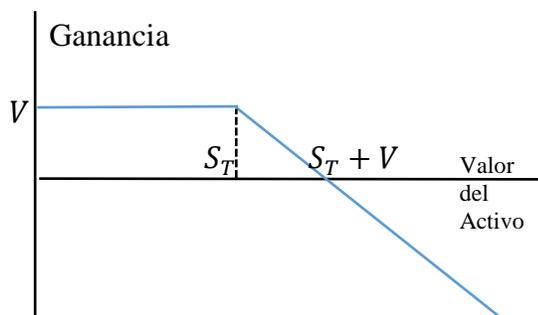
<sup>9</sup> Este es un supuesto aplica para las opciones financieras.



*Ilustración 3: Tipo PUT con posición Long*



*Ilustración 4: Tipo PUT con posición Short*



*Ilustración 5: Tipo CALL con posición Short*

Estas ilustraciones son para opciones cuyo plazo de vencimiento es único, de manera tal que el tenedor solo podrá ejercer la opción en la fecha pactada inicialmente. Este tipo de acciones son conocidas como Europeas. Sin embargo existe otro tipo de opciones que le dan la posibilidad al tenedor de ejercer el derecho de compra o venta, de acuerdo al tipo de opción, en cualquier momento desde que se adquiere, hasta el momento en que se pacta como fecha de vencimiento. Estas se conocen como opciones americanas. Con esto tenemos cuatro tipos de

opciones resultantes de la combinación de las tipos CALL y PUT con las tipos americanas y Europeas.

### **Opciones Reales Vs. Financieras**

Basándose en la premisa de que el valor de un proyecto aumenta de acuerdo a las decisiones de inversión que pueden tomarse en el futuro (Mayers, 1976), las opciones han tomado un papel importante en el ámbito de la valoración de empresas y proyectos, puesto que los proyectos valorados por los métodos tradicionales tienen dos fallas principales: de tipo operativo, porque no pueden determinar las condiciones del futuro de manera precisa y de tipo conceptual, porque no permiten el uso de un marco de valoración de la toma de decisiones adecuado (Zhang, 2010).

Las opciones reales, como se le conoce a este tipo de valoraciones, son útiles para la evaluación de proyectos que se conforman de múltiples etapas o para proyectos de largo plazo donde prorrogar ciertas inversiones es vital para maximizar el valor del proyecto (Finerty, 2007). Las opciones reales aparecen como la aplicación de los derivados financieros de opciones en activos reales tales como proyectos y empresas. De esta manera los tipos de opciones existentes, parámetros y los métodos usados para la valoración son los mismos que para sus parientes cercanas, las opciones financieras, con una equivalencia entre el mercado financiero y el de activos reales.

En general, el valor de las opciones es calculado con base a seis parámetros: Valor del activo en el presente, el valor del ejercicio de la opción, tiempo para el ejercicio, tasa libre de riesgo, volatilidad y el dividendo del activo. Estos parámetros afectan de manera positiva o negativa de acuerdo con el tipo de opción que se valore (CALL o PUT).

La Tabla 6 muestra la relación entre los parámetros y los tipos de acciones. El símbolo “+” implica un aumento en el valor cuando el parámetro aumenta y los demás quedan estáticos. Por el contrario, El símbolo “-” significa que el valor disminuye cuando el parámetro aumenta.

	Europeas		Americanas	
	CALL	PUT	CALL	PUT
$S_0$ - Valor del activo en el presente (SPOT)	+	-	+	-
$K$ - Valor de ejercicio de la opción (STRIKE)	-	+	-	+
$T$ - Tiempo para el ejercicio	?	?	+	+
$r$ - Tasa Libre de Riesgo	+	-	+	-
$\sigma$ - Volatilidad	+	+	+	+
Dividendo	-	+	-	+

*Tabla 6: Cambio en el valor VS. Cambio en los parámetros de calculo (Hull, 2012)*

Es de notar que debido a la naturaleza de las opciones Americanas, el parámetro de Tiempo ( $T$ ) aumentaría el valor de la opción puesto que da al tenedor un espectro de oportunidades más amplio para su ejercicio. Aunque en las opciones europeas el aumento de en el tiempo tiende a aumentar el valor de la opción, este comportamiento no siempre es así puesto que si la fecha de ejercicio es mayor incluso a la entrega de dividendos, entonces el valor de la opción se reduce (Hull, 2012).

Estos parámetros usados en el cálculo del valor de las opciones financieras tienen un equivalente para las opciones reales que permiten el uso de las metodologías ya desarrolladas para las opciones financieras en las opciones reales (Luehrman, 1994). La Tabla 7 resume la equivalencia entre los parámetros trabajados anteriormente con los de las opciones reales.

Opciones Financieras		Opciones Reales
Valor del activo en el presente (SPOT)	$S_0$	Valor del activo real
Valor de ejercicio de la opción (STRIKE)	$K$	Costo de la inversión o valor del abandono
Tiempo para el ejercicio	$T$	Fecha de ejercicio
Tasa Libre de Riesgo	$r$	Tasa libre de riesgo
Volatilidad	$\sigma$	Volatilidad del activo real
Dividendo	$\delta$	Valor de perder o preservar la opción

*Tabla 7: Equivalencia entre Opciones Financieras y Reales*

Siguiendo la lógica de las opciones financieras, una Opción Real es un derecho más no la obligación, que dispone un agente económico (el tenedor de la opción) para tomar una acción determinada respecto a un proyecto de inversión a un determinado costo y tiempo. La identificación de opciones reales en un proyecto se segmentaría de acuerdo con las decisiones que se deban tomar. De este modo algunas de las opciones reales se enmarcan en las siguientes categorías (McKinsey & Company, 2010):

**Opción de Diferir:** Se estipula que existe valor en esperar a que la incertidumbre se revele, o disminuya, antes de emprender inversiones irreversibles. Por lo tanto esta opción proporciona el derecho a posponer su ejecución durante una ventana de tiempo determinada.

**Opción de Discontinuar:** Durante el periodo de construcción de una obra puede revelarse nueva información que genere óptimamente un estancamiento de la misma y por lo tanto proporciona el derecho a discontinuar la construcción. En extremo puede resultar óptimo abandonar el proyecto.

**Opción de Expandir o Contraer la Capacidad:** Un proyecto puede, durante su ejecución, mostrar potencial para ser expandido más allá de la inversión original o para ser reducido.

**Opción de Suspender, Cerrar y Reabrir Operaciones:** Corresponde al caso en que un proyecto siempre puede, en cierto nivel de costo y demanda, operar discontinuamente dependiendo de las condiciones de mercado.

Opción de Cambiar Factores o Insumos Productivos: Este corresponde a la posibilidad de una empresa de reaccionar frente a particulares condiciones de mercado cambiando la composición de sus insumos o productos finales.

### Valoración de Opciones Reales

En la literatura se encuentran varias metodologías de valoración para opciones reales. Algunas de las más usadas son: La aplicación de la fórmula de Black & Scholes (que corresponde a la solución de ecuaciones diferenciales parciales en tiempo continuo), Simulaciones de Monte Carlo (usado principalmente para hacer estimaciones sobre la volatilidad del activo real subyacente) y Arboles Binomiales de Decisión (Martinez Ceseña, Mulate, & Rivas-Davalos, 2013):

Ecuaciones Diferenciales Parciales: Esta consiste en la valoración por medio de la solución de una Ecuación Diferencial Parcial: Este es quizás uno de los métodos más *elegantes* y tiene la ventaja que genera una solución analítica al problema de valoración de opciones. La fórmula más conocida y usada es la de Black & Scholes (1973). No obstante, debido a las particularidades de cada proyecto de inversión, no siempre es posible encontrar soluciones por lo que se debe recurrir a otros procedimientos.

La ecuación de Black & Scholes se ve definida así:

$$F = N(d_1) * S - N(d_2) * X * e^{-r*T}$$

Donde  $N(d_1)$  y  $N(d_2)$  corresponden a los valores en la distribución normal estándar en  $d_1$  y  $d_2$ . Luego,

$$d_1 = \left[ \ln \left( \frac{S}{X} \right) + (r + 0.5\sigma^2) * T \right] / (\sigma * \sqrt{T})$$

$$d_2 = d_1 - (\sigma * \sqrt{T})$$

Donde,

F = Valor actual de la opción<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Para efectos de esta ecuación, esta corresponde a una opción call (de compra)

$S$  = Valor de mercado (Spot) del activo subyacente

$X$  = Precio de Ejercicio de la opción<sup>11</sup>

$r$  = La tasa de retorno libre de riesgo

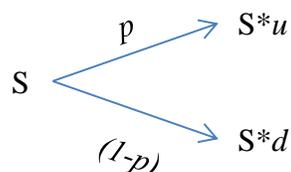
$T$  = La fecha (o tiempo) en la que se toma la decisión

$\sigma$  = Volatilidad en la tasa de retorno del activo subyacente<sup>12</sup>

**Arboles de Decisión Binomiales:** Los arboles binomiales son una herramienta sencilla y muy robusta para la evaluación de opciones. Se basa en la premisa que el valor del activo subyacente tiene, en cada momento, la probabilidad de subir o de bajar (Hull, 2012).

Formalmente su tipificación es discreta en donde se considera que el precio del activo subyacente no sigue un proceso aleatorio estocástico, sino que toma dos valores posibles, uno al alza con probabilidad  $p$ , y otro de un valor a la baja con probabilidad  $(1-p)$ . Para cada intervalo de tiempo, los valores de los activos aumentan en un factor  $U$  y disminuye en un factor de  $D$ , estos factores dependen de la variabilidad en el precio del activo subyacente y el tiempo de expiración de la opción (Cox J. C., 1979).

En general se cuenta con dos etapas para esta herramienta: a) Construcción de los flujos que serían resultantes de cada uno de los escenarios posibles, donde las opciones han sido identificadas y b) la evaluación de cada uno de los nodos con base a las probabilidades que cada uno de los flujos se dé.




---

<sup>11</sup> En la aplicación a Opciones Reales esta corresponde a la inversión en precios corrientes al periodo de ejercicio, que es necesaria para apropiarse de los retornos esperados de la misma.

<sup>12</sup> En Opciones Reales, esta volatilidad hace referencia a la variabilidad que se puede presentar en los flujos de caja generados por el activo real ante los factores de riesgo del mismo.

*Ilustración 6: Árbol de un solo periodo*

El uso de la construcción del árbol mediante escenarios riesgo neutral involucra las siguientes variables de entrada: el valor presente del activo  $S_0$ , el costo de ejercicio de la opción  $K$ , la volatilidad<sup>13</sup>  $\sigma$ , tiempo en que expirará la opción  $T$ , la tasa libre de riesgo  $r$  y los dividendos generados  $\delta$ . De acá el primer cálculo que se requiere es la construcción de los escenarios mediante los factores de subida (u) y bajada (d) que dependen de la volatilidad del activo y del activo.

$$u = e^{\sigma\sqrt{t}}$$

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

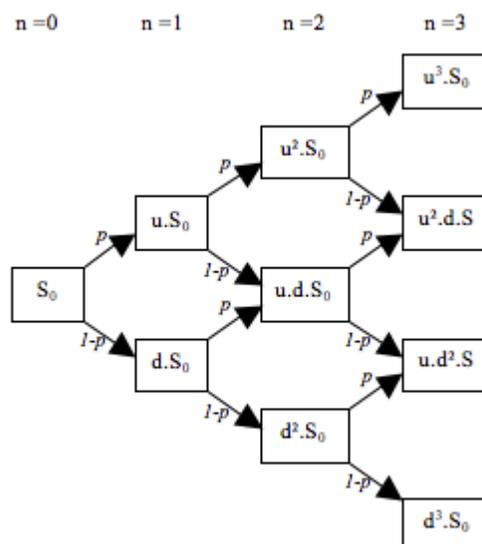
Luego, es posible calcular la probabilidad de ocurrencia de cada rama del paso siguiente, así:

$$p = \frac{e^{rt/n} - d}{u - d}$$

No obstante, en la aplicación de Opciones Reales, estos árboles suelen extenderse n periodos vea Ilustración 7.

---

<sup>13</sup> La volatilidad de un activo real estará dada a su naturaleza de mercado y variables exógenas. Por ejemplo, en el caso de concesiones, donde los flujos del proyecto dependen del flujo vehicular, la volatilidad dependerá de este flujo.



*Ilustración 7: Árbol de opciones reales*

Una vez construido el árbol de valores en cada uno de los nodos de tiempo del proyecto, se requiere traer a valor presente el valor final de todos estos valores (inducción hacia atrás). Mientras más periodos de tiempo se evalúen, más se aproximara la valoración de esta metodología a la realizada por medio de BS<sup>14</sup> (Hull, 2012).

Para la construcción de los escenarios posibles que representan las opciones se pueden usar portafolios contruidos a medida, de manera tal que reflejen el comportamiento del valor del activo o bien la creación de escenarios riesgo-neutrales, técnica comúnmente usada en la valoración de opciones reales, puesto que la creación de portafolios replicantes es en muchas ocasiones imposible de hallar bajo el contexto de activos reales.

Simulación: Esta valoración consiste en la generación de múltiples valores para las variables aleatorias y se estiman los valores esperados de un modelo que cambia en función a estas. De esta manera se acercan los valores de las variables aleatorias al comportamiento de la vida real (Mun, 2002).

La simulación de Montecarlo es el tipo de simulación más usado en esta categoría, pues permiten simular diferentes fuentes de incertidumbre que afectan el valor de la opción real. Para este tipo de simulación aparecen varias aproximaciones de valoración, entre las que se

<sup>14</sup> BS siglas de los autores de la formula Black & Scholes que se explicó en secciones anteriores.

encuentran la de mínimos cuadrados y la de parametrización de límites de ejercicio (Hull, 2012).

Las aproximaciones de mínimos cuadrados se basan en la generación de extensos caminos y posibilidades de ejercicio de las opciones regidas con una distribución de probabilidad que se acerque lo más posible al comportamiento real de la variable. Luego se toman los valores de rendimiento del periodo de vencimiento y se traen al VP del momento T-1 donde se evalúan para probar la viabilidad de su ejercicio (*in the money*) en un punto antes del vencimiento. Los caminos que efectivamente den un valor positivo se colocan en una nueva tabla, donde se evalúan T-1 como fecha de vencimiento y T-2 como nuevo punto de prueba. Este procedimiento se repite hasta completar todas las ventanas de tiempo discretas hasta llegar a  $t=0$ . Luego se toma el valor presente neto de todos los caminos ponderados (Longstaff & Schwartz, 2001).

La simulación mediante el uso de límites utiliza los caminos generados de manera aleatoria entre los diferentes puntos en que se puede ejercer la opción. En este caso se evalúan los puntos posibles de ejercicio desde la fecha de vencimiento y se busca el mejor de cada uno, de este modo en las opciones PUT se busca el que tenga el menor valor. De esta manera se crea un valor límite para cada uno de los momentos donde se ejercitarían las opciones y se promedian sucesivamente (Andersen, 1999).

## METODOLOGÍA

La naturaleza del presente trabajo es una investigación exploratoria y descriptiva, puesto que arranca a partir de la búsqueda y recolección de información acerca de las Opciones Reales, y una aplicación de estas para así entender como estas aportan valor a los inversionistas quienes las toman. Se hizo una recolección de información inicial de la cual son concebidas hoy en día los distintos proyectos de infraestructura vial bajo el esquema de 4G; y con ello se identificó de forma clara aquellos aspectos que les son más relevantes.

Adicionalmente, fue necesario la revisión de los contratos estándar de concesión y constitución de pólizas de garantías a favor de la ANI, continuando con la revisión del marco regulatorio Ley 1508 de 1993 y demás decretos reglamentarios en materia de concesiones y los derechos y obligaciones adquiridas para el operador privado.

Haciendo uso de la ANI y sus bases públicas, se consultó información que pudiera dar luz acerca de la estructura general de las concesiones, tales como inversiones en CAPEX, estructura de ingresos, costos y gastos (tales como OPEX), y otros factores que contribuya al objeto de la presente investigación. Entonces, tomamos como escenario base el caso propuesto por la ANI para propósitos académicos, *Proyecto “Tipo” Programa 4G*, que se encuentran en la página web de la entidad. (ANI, 2015)

Como datos básicos, se identifican: (i) Inversión en CAPEX = COP \$1,4 Billones de 2013, (ii) Plazo de Concesión = 26 años a máximo de 29 años, (iii) Plazo Estimado de Etapa Pre operativa (de Construcción) = 6 años, (iv) Construcción Segmentada en 10 Unidades Funcionales<sup>15</sup> (UF).

Así las cosas, se procedió con la valoración del VPN del proyecto base haciendo uso del FCD tradicional, y se contrasta con la valoración de opciones reales propuesta a continuación.

---

<sup>15</sup> De acuerdo al Contrato Marco utilizado para el proceso licitatorio de las APP, la UF, se refiere a cada una de las divisiones del proyecto que se especifiquen en el contrato, y que corresponden a un conjunto de estructuras de ingeniería e instalaciones indispensables para la prestación de servicios con independencia funcional, lo cual le permitirá funcionar y operar de forma individual cumpliendo con lo establecido en el contrato.

## **Valoración del Proyecto por VPN haciendo uso de Flujo de Caja Descontado.**

El modelo requiere de la entrada de datos como insumos. El primer conjunto de datos corresponden al ciclo de vida de los costos dentro del proyecto. Los costos de construcción (CAPEX) se constituyen como el primer ítem en el ciclo de vida del proyecto. Estos incluyen los costos de construcción del activo físico, el costo de encuesta, diseño compra de predios, comisión por administración, impuestos, intereses, y cualquier otro ítem asociados a costos.

Cabe recordar, que en los proyectos de concesión vial, es responsabilidad del operador durante el periodo de concesión, mantener cierto nivel de desempeño y calidad en el servicio vial. Las calidades del servicio las suelen definir el estado (en calidad de contratante) considerando los costos de los usuarios de la vía. Entre estos costos del usuario, se consideran la operación vehicular, costos de accidentes (por ejemplo, servicios de grúa), y otros costos incurridos por los usuarios de la infraestructura. Los gastos de Operación y Mantenimiento, en adelante OPEX, logran capturar las actividades antes mencionadas; sin embargo también incorporan impuestos, gastos de ejecución, y otros asociados gastos generales asociados a la operación de la infraestructura.

El segundo conjunto de datos, hace referencia a la estructura de capital del concesionario. Este flujo es el resultante de la obtención de los flujos del capital requerido para el proyecto, por medio de *equity* y deuda. Dentro de este conjunto, se tiene en cuenta el plan de repago de la deuda y el costo de capital del concesionario. El plan de repago de la deuda, incluye los vectores de pago a principal como también de intereses a los respectivos acreedores en función al periodo pactado, a esto se le conoce como servicio de la deuda. Esto último, toma un segundo orden de prioridad en los pagos, justo después del OPEX y CAPEX, a partir de los ingresos del proyecto. Otro componente de este conjunto de datos, son los aportantes del *equity*, del cual se deriva el costo de capital, que a su vez es la tasa mínima de retorno que el concesionario necesita para compensar los riesgos asumidos estando en el proyecto y esperar sus utilidades. Esta tasa debe ser calculada para el concesionario que participa en el proyecto y será usada dentro del cálculo de la tasa de descuento en la valuación del proyecto.

Finalmente, el tercer conjunto de datos corresponde a los flujos de ingresos obtenidos de la operación del proyecto dentro del periodo de concesión. Típicamente, en las concesiones viales, gran parte de los ingresos provienen de los recaudos de peajes; aunque en el proyecto actual de evaluación y bajo el marco de APP de iniciativa pública existe una segunda fuente de ingresos correspondientes a los aportes del estado. Proyecciones sobre estos ingresos (de tráfico) son generalmente provistos a partir de estudios acerca del tráfico, en donde se señala los volúmenes de tráfico a partir de los datos de tráfico expresados ya sea en promedios diarios anuales o totales anuales, a lo largo del periodo de concesión.

Los proyectos de concesión vial, y en puntual las relacionadas con las 4G, tienen dos principales características respecto a los estudios de tráfico: (i) casi inexistencia de datos históricos acerca de la demanda futura del tráfico; y (ii) los periodos de concesión se pueden extender desde 25 años hasta 29 años. Así que la proyección de tráfico se torna vital al momento de valorar el proyecto de concesión vial, pero es necesario no limitarse a un único escenario de proyección y a “pocos”, como por ejemplo: bajo o alto crecimiento; dado que podrían no estar reflejando adecuadamente la incertidumbre implícita de la demanda futura del tráfico.

Para la construcción del flujo de caja del proyecto de infraestructura, se tuvo en cuenta los siguientes componentes, teniendo en cuenta las recomendaciones de Fernández (2008):

### **Egresos**

Siguiendo el lineamiento de los ingresos, acá se toman aquellos componentes que representen una salida real de caja, de los cuales se identifican:

**CAPEX:** Corresponde a la inversión que se debe incurrir para la construcción del proyecto, y para nuestro proyecto, esta inversión se encuentra repartida de manera no-equitativa y a destiempo entre cada una de las Unidades Funcionales del proyecto, de la siguiente manera:

<b>COP \$MM</b>	<b>CapEx</b>	<b>Part.% UF</b>
UF0	\$ -	0,0%
UF1	\$ -	0,0%
UF2	\$ 141.835	10,1%
UF3	\$ 465.155	33,1%
UF4	\$ 96.937	6,9%
UF5	\$ 138.582	9,9%
UF6	\$ 181.191	12,9%
UF7	\$ 126.668	9,0%
UF8	\$ 126.668	9,0%
UF9	\$ 126.668	9,0%
<b>Total Capex</b>	<b>\$ 1.403.704</b>	<b>100%</b>

*Tabla 8: Asignación de CAPEX por unidad Funcional*

**OPEX:** Corresponden a los gastos incurridos por la operación y servicios complementarios incurridos para el desarrollo y operación de cada una de las UF. Estos valores ya incorporan los gastos de pre construcción, como también otros varios para llevar a cabo el contrato como lo son las comisiones fiduciarias (dado que estos proyectos se suelen desarrollar bajo esquemas de patrimonios autónomos o fiducias), otros de amparos para el cumplimiento del contrato; y los asociados a los mantenimientos rutinarios y periódicos que se tengan.

### **Estructura de Capital**

La metodología para la valoración del proyecto por medio de FCD, es tomar los flujos proyectados para cada uno de los periodos y descontarlos al WACC. Dado que la estructura de capital de este proyecto cambia a lo largo de la vida de la concesión, es necesario determinar el WACC móvil, y de allí obtener el factor de descuento para cada uno de los periodos. Para el cálculo del WACC es necesario considerar:

**Aportes de Equity:** El concesionario deberá aportar la suma mínima igual a COP \$280.800 MM, equivalente al 20%, correspondiente a recursos de patrimonio o deuda subordinada de los socios. Estos recursos serán aportados de la siguiente manera: (i) como mínimo el sesenta coma tres por ciento (60,3%) durante el primer año desde el inicio de la concesión; y (ii) completar hasta el 100% en el segundo año a partir de la fecha de inicio.

**Aportes de Deuda:** Corresponde a la entrada de recursos para financiar el proyecto, a partir de deuda contratada con acreedores terceros distintos a los socios conformantes de la

concesión. Estos recursos suman cerca de COP \$1.122.904 MM, equivalente al 80% de las fuentes del proyecto. Para dar inicio a su desembolso se asumió que debía cumplirse de manera precedente el aporte total del *equity* comprometido. Las demás condiciones del crédito se asumieron de la siguiente manera: (i) Plazo Total del Crédito = 20 años, (ii) Periodo de Gracia = a los 6 primeros años del crédito, y (iii) una tasa del 8% E.A.

Así, vemos que el WACC para cada año de la concesión se encuentra definido así:

$$WACC_i = kd * \left( \frac{Deuda\ Fin.}{Deuda\ Fin. + Equity} \right) + ke * \left( \frac{Equity}{Deuda\ Fin. + Equity} \right)$$

Donde:

*kd*: Costo Deuda

*ke*: Costo de capital o patrimonio de lo inversionistas

En el presente caso costo de la deuda *kd* se calculó en 8% y para el cálculo del *ke* se utilizó la metodología CAPM (*Capital Asset Pricing Model*), donde la fórmula que lo determina es:

$$ke = k_{rf} + (k_{rm} - k_{rf}) * \beta$$

Donde:

*k<sub>rf</sub>*: Tasa libre de riesgo

*k<sub>rm</sub> - k<sub>rf</sub>*: Prima de riesgo de mercado

*β*: sensibilidad al riesgo de mercado del activo subyacente

En general encontrar la constante *β* de la ecuación anterior es lo más complicado del uso del modelo CAPM puesto que lleva consigo un análisis estadístico riguroso de mercado y del sector en el que se calcule, sin embargo hay bases de datos públicas que han hecho estos cálculos con el fin de facilitar el uso e implementación de este modelo. Para este trabajo se usó la información de Aswath Damodaran (2014) en la que se indica un coeficiente de 1,2422 para el sector de ingeniería y construcción, con lo que llegamos a un *ke* de 8,24%.

## **Ingresos**

Desde el punto de vista de caja, los ítems que componen el flujo del proyecto, incluyen todos aquellos que hacen parte del financiamiento del concesionario, pero no son tenidos en cuenta como ingresos del proyecto ya que estos obedecen a requisitos de cumplimiento en aportes para dar inicio al contrato con el fin de poseer el capital necesario. Los aportes de equity y deuda, serán recuperados por el inversionista en la medida que se vaya apropiando de los aportes del estado y lo que le corresponda en el recaudo de peajes, detallados a continuación. Es por eso que los ingresos “reales” serán únicamente los asociados a los Aportes de la ANI (en representación del estado) y el Recaudo de Peajes. Esta dualidad en los ingresos se da por el esquema de APP, las concesiones de iniciativa pública, suelen disponer de dos principales fuentes de ingresos<sup>16</sup>: (i) Aportes de la ANI y (ii) Recaudo de Peajes.

### ***Aportes ANI:***

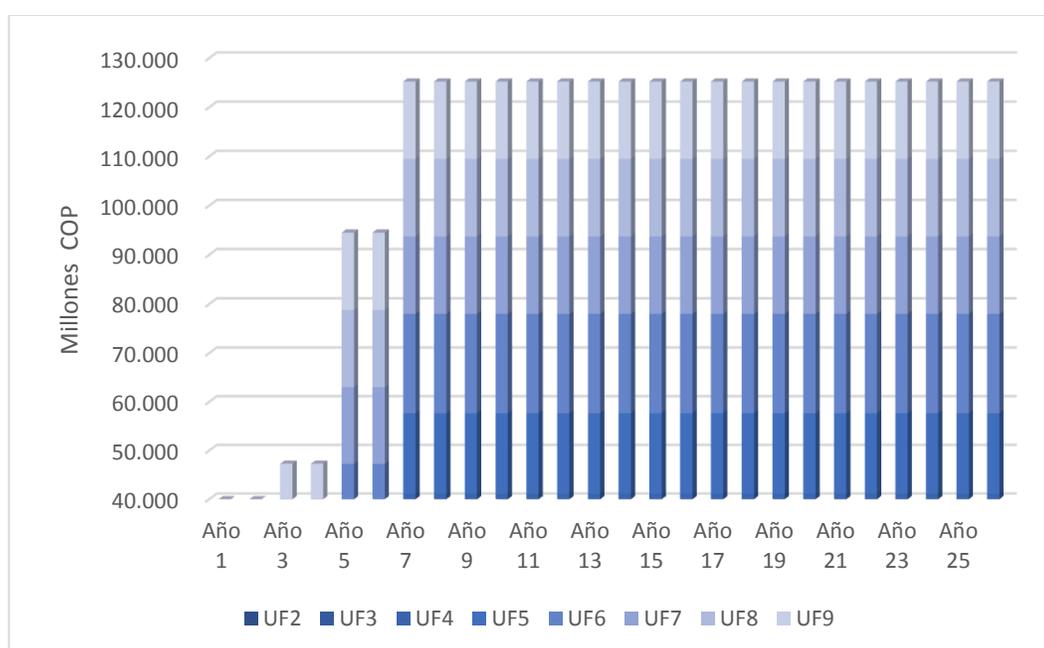
Estos son dispuestos por el estado, y se identifican y comprometen en los distintos documentos del CONPES que corresponda el proyecto. Durante el proceso de licitación, los respectivos consorcios realizan las propuestas de construcción, y están son evaluadas al menor valor presente neto. Estos recursos son respaldados por autorización de vigencias futuras específicas para el proyecto (aunque también no son sujetos a discrecionalidad en el proceso presupuestal anual, (ANI, 2015)). Para efectos del proyecto base, suponemos estos aportes como dados y resultantes de la licitación, llegando a una suma que asciende a los COP \$2.787.731 MM; y son entregados al concesionario en la medida que finalice la construcción de cada una de las UF que le corresponda con la siguiente programación de pagos:

---

<sup>16</sup> Existe una tercera fuente, aquella proveniente de explotación comercial que se contemple en los pliegos de licitación, y no computan dentro de las condiciones que activan el proceso de reversión. Pero para efectos de la presente investigación, estos no fueron tomados en cuenta. Cuando son proyectos de iniciativa privada, el estado no se compromete con aportes, sino que permite que el privado se apropie del recaudo de peajes por el tiempo de la concesión, siendo así una única fuente de ingresos.

UF	Aporte anual (millones \$ de 2013)	# Aportes anuales	Año inicio aportes
UF0	-	0	N.A.
UF1	-	0	N.A.
UF2	19.828	20	7
UF3	10.899	20	7
UF4	10.364	22	5
UF5	16.561	22	5
UF6	20.294	22	5
UF7	15.755	24	3
UF8	15.755	24	3
UF9	15.755	24	3

*Cuadro 1: Aportes periódicos de la ANI*



*Ilustración 8: Distribución de Aportes de la ANI*

### **Recaudo Peajes:**

Corresponde a los ingresos recaudados por concepto de peajes del proyecto, de manera anual. En casos reales, las tarifas de los peajes vienen contemplados en los documentos del CONFIS que trate de cada una de las concesiones particulares. Esta información se analizó con el fin de determinar el comportamiento del tráfico vehicular de las diferentes concesión es existentes en el país.

Construimos un compendio de información donde registramos el número de vehículos que transitaron en 57 concesiones desde el año 2006. A pesar de haber concesiones que no

tienen los datos completos, o que no estaban en operación desde el 2006, nos fue posible identificar un patrón de crecimiento en el tráfico en el 87% de la muestra.

Con el fin de acoplar un vector de tráfico que fuera congruente con egresos de CAPEX y OPEX proyectados por la ANI en el documento referenciado en la sección anterior, buscamos una concesión que generara un ingreso total similar al que está planteado en dicho documento y que tuviera una tendencia de crecimiento. Para cumplir con este objetivo escogimos la concesión de “El Corzo” que cuenta con poco más de 5 millones de vehículos en el 2012.

Esta concesión tiene un crecimiento promedio de 11,92% y una desviación estándar de los crecimientos anuales de 27,15%. Está a pesar que estos dos son los valores iniciales del estudio se realizó una sensibilización sobre estos dos valores con el fin de evidenciar los resultados que tienen sobre el valor del proyecto y sobre el comportamiento de la Opción Real. Los resultados los veremos en el capítulo de RESULTADOS.

Finalmente para obtener el vector de recaudo de peaje se usó la siguiente formula:

$$Recaudo\ Peaje_i = \sum_{l=1}^7 Tráfico\ Anual_i * \% \text{ Categoría}_l * Tarifa_l$$

Donde:

*i: Periodo tomado como años*

*l: Categorías de vehiculos*

La información de participación de cada categoría es un cálculo propio de a partir de las publicaciones de estudios de tráfico de la ANI para las licitaciones de cuarta generación. Por su parte, las tarifas de peajes que se usaron en este trabajo para cada una de las categorías fueron tomadas de algunas concesiones existentes.<sup>17</sup>. Ver Tabla 9: Participación Porcentual del tráfico y tarifas por categoría.

---

<sup>17</sup> A pesar que estos los datos pueden variar de una concesión a otra estos no son el centro del trabajo y no se toman como una variable de sensibilización.

<b>Categoría</b>	<b>Part. %</b>	<b>Tarifa Peaje / Categoría</b>
I	63,1%	\$ 9.100
II	22,2%	\$ 26.900
III	3,8%	\$ 13.600
IV	4,0%	\$ 35.900
V	6,8%	\$ 40.300
VI	0,0%	\$ 44.800
VII	0,1%	\$ 53.700

*Tabla 9: Participación Porcentual del tráfico y tarifas por categoría*

A pesar que el concesionario recauda los peajes generados por el tráfico, estos son entregados a la agencia contratante en un 100% y solo se entregan al concesionario de acuerdo con las unidades funcionales que hayan sido terminadas. Los peajes que el concesionario recauda, pero que no recibe, no se pierden, por el contrario son retenidos por la agencia de infraestructura y los entrega al concesionario cuando cada una de las unidades funcionales del contrato son terminadas, esta figura es conocida como peajes atrapados.

Con el fin de determinar los valores de tráfico que corresponden a cada unidad funcional, cada contrato tiene estipulado un porcentaje de participación de los peajes atribuible a cada unidad como se muestra en la Tabla 10. De este modo los peajes atrapados generan picos de ingresos en los periodos en que las obras de construcción, por cada unidad funcional, son terminadas. Para el caso particular de estudio, en el año 7, se evidencia un pico de ingresos. Este fenómeno de los peajes atrapados es lo que motivará al concesionario a que adelante la obra con el fin de agregar valor al proyecto. Esto se observa en la Ilustración 9.

Recaudo Peajes	Part. % / UF
UF0	12,00%
UF1	15,00%
UF2	8,10%
UF3	21,70%
UF4	4,00%
UF5	8,50%
UF6	10,00%
UF7	6,90%
UF8	6,90%
UF9	6,90%

Tabla 10: Participación por recaudo de cada unidad funcional

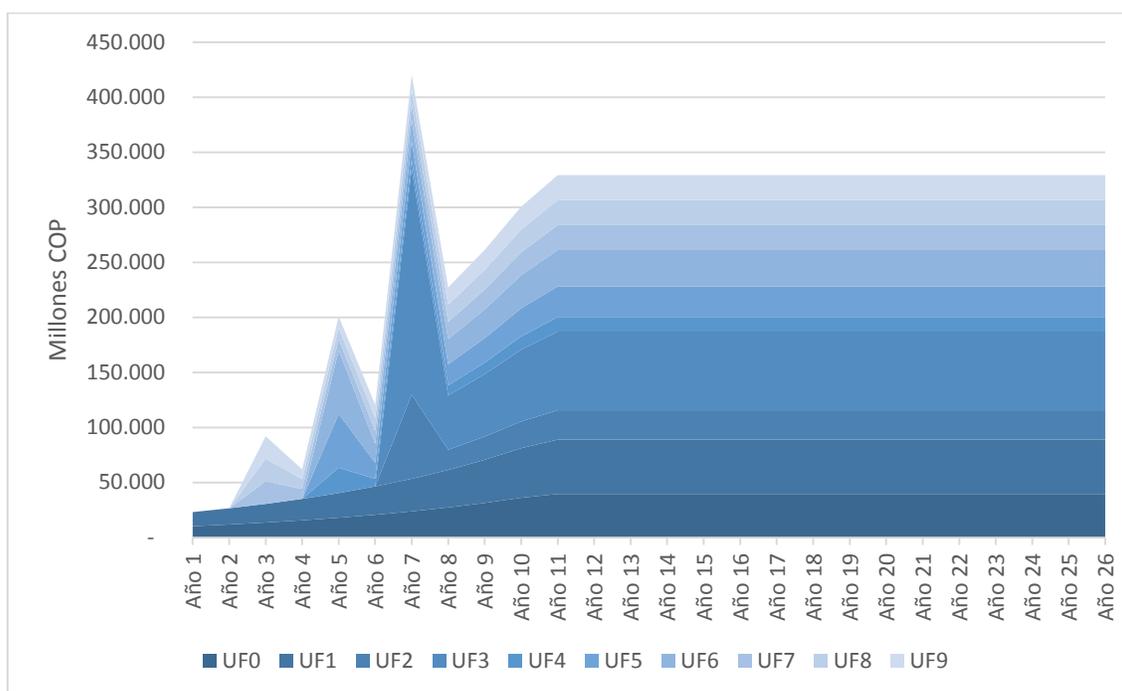


Ilustración 9: Ingresos por recaudos de peajes.

## Valoración del Proyecto usando Opciones Reales

Usar Opciones Reales como metodología alternativa de valoración al proyecto de infraestructura, ofrece al concesionario una flexibilidad de tener en cuenta el momento adecuado (o idóneo) para realizar un de terminado proyecto. Para el caso particular del

presente trabajo, evaluar si genera valor adicional poder ejecutar la construcción de manera temprana respecto al plan inicial de obra que se ha determinado en el proceso de licitación o abandonar la concesión.

El proyecto en su caso base, plantea que el plazo de construcción será de 6 años, con otros 20 años para la operación y mantenimiento de la obra. No obstante, como se mencionaba anteriormente, la valoración por VPN asume que la decisión de ejecutar la obra en ese plazo se tomó así y en un único momento (en momento cero), por lo que se ignora el valor que otorga la flexibilidad que tiene el concesionario de ejecutar la obra en un plazo más acelerado.

Así las cosas, el inversionista deberá decidir teniendo en cuenta los siguientes escenarios:

Seguir con la inversión de CAPEX de acuerdo al cronograma estipulado en el contrato licitatorio, es decir, construir durante un plazo de 6 años. En caso de demorar la construcción a un plazo mayor, se verá expuesto a sanciones y/o multas que afectarían la viabilidad financiera del proyecto o inclusive le significaría una inviabilidad para futuras licitaciones con el estado.

Decidir en realizar una construcción acelerada respecto a la programación inicial, buscando apropiarse de los aportes de la ANI, y recuperar anticipadamente de los peajes atrapados que se lleven en el momento.

Decidir abandonar el proyecto, en donde el valor derivado de hacerlo se asume como 0 (cero).

Lo anterior, permite proponer una opción real de aceleración, la cual se deriva de una función de beneficio definida así:

$$\begin{aligned} \textit{Beneficio de Acelerar}_i & \\ &= VPN_i \pm [\textit{Peajes Atrapados}_i + \textit{Aportes Adelantados ANI}_i \\ &\quad - \textit{Costos Adicionales CAPEX}_i] \end{aligned}$$

Donde,

$i$  = Corresponde al año de evaluación

$VPN_i$  = Corresponde al VPN obtenido en el año de evaluación.

*Peajes Atrapados*<sub>i</sub> = Son aquellos peajes que se han venido acumulando (y retenidos por la ANI) hasta el año evaluación pero que aún no se han entregado al concesionario debido a que este no ha finalizado la construcción de la obra. Esto explica el porqué del pico de ingresos que se observa en año 7 en el proyecto base, tal como se observa en la Ilustración 9

*Aportes Adelantados ANI*<sub>i</sub> = Corresponden al valor presente de los aportes comprometidos por la ANI una vez adelantados, toda vez que las UF sean terminadas en su construcción.

*Costos Adicionales CAPEX*<sub>i</sub> = Corresponde al valor presente en cada periodo de evaluación sobre los costos en los que se incurrían en caso de proceder con la aceleración de la inversión de CAPEX que a la fecha aún estén pendientes.

En caso de decidir no acelerar la construcción, el inversionista valorara el proyecto como el VPN en ese momento del proyecto en las condiciones iniciales de licitación, lo cual llamaremos como el *Valor de Continuar*. Sin embargo, en caso de decidir acelerar, es necesario sumarle al VPN de ese periodo el Beneficio estimado para ese mismo periodo, a este resultado le llamaremos el *Valor de Acelerar*.

Ya definido el *Beneficio de Acelerar*<sub>i</sub> que define la opción, la función de pagos para cada uno de los periodos de evaluación viene dada así:

$$\text{Max}(\text{Valor de Continuar}; \text{Valor de Acelerar}; 0)$$

$$\text{Max}(VPN_{ij}; VPN_{ij} \pm \text{Beneficio de Acelerar}_{ij}; 0) = PO_{ij}$$

*Ecuación 3: Cálculo de PayOff*

Donde j, corresponde al camino que se toma por cada una de la corridas de simulación.

### **Valoración de la opción**

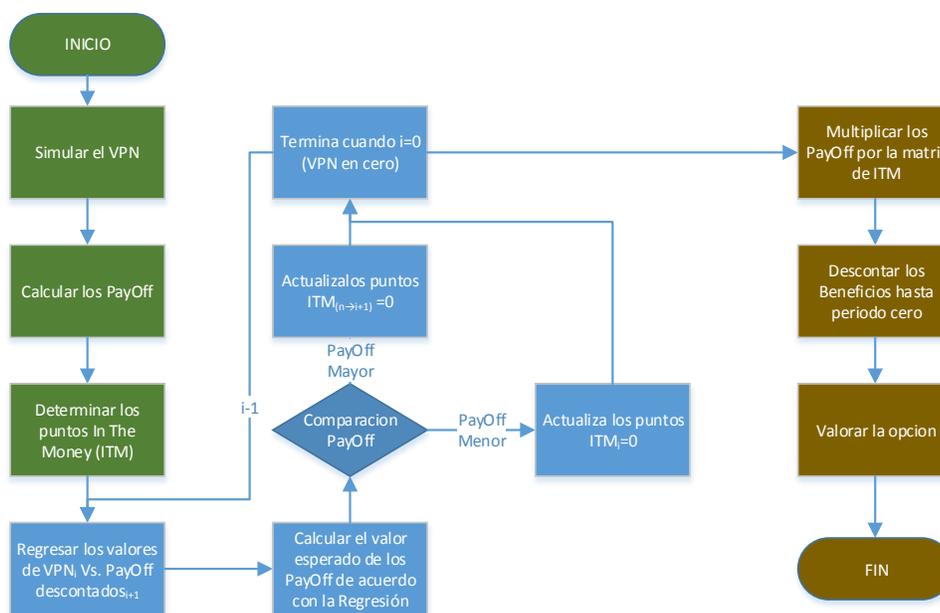
Como se mencionó en el capítulo más atrás las opciones reales tienen tres formas de ser solucionadas: en primer lugar están las ecuaciones diferenciales parciales o formas cerradas, en este grupo encontramos la fórmula planteada por Black & Scholes (1973) ; luego encontramos las soluciones de árboles binomiales y por último las de simulación de

Montecarlo. Sin embargo la gran mayoría de soluciones están enfocadas a la valoración de opciones europeas.

En nuestro caso de estudio, las decisiones de abandonar o adelantar las obras son tomadas en comités específicos que se realizan de manera periódica. De este modo las decisiones que se permite tomar en este trabajo se hacen en periodos específicos. Con esto las opciones que planteamos son de tipo bermuda, que de acuerdo con Longstaff y Schwartz (2001) son un caso especial de las americanas en las cuales las decisiones se toman en tiempos discretos en vez de poderse tomar en cualquier momento (tiempo continuo).

Para encontrar el valor de una opción bermuda utilizamos el procedimiento basado en mínimos cuadrados de que plantea Longstaff y Schwartz. A pesar que el procedimiento está desarrollado para opciones financieras, este trabajo aplica el procedimiento a las opciones reales teniendo en cuenta los principios que sigue la valoración presentados en por Mun (2002)

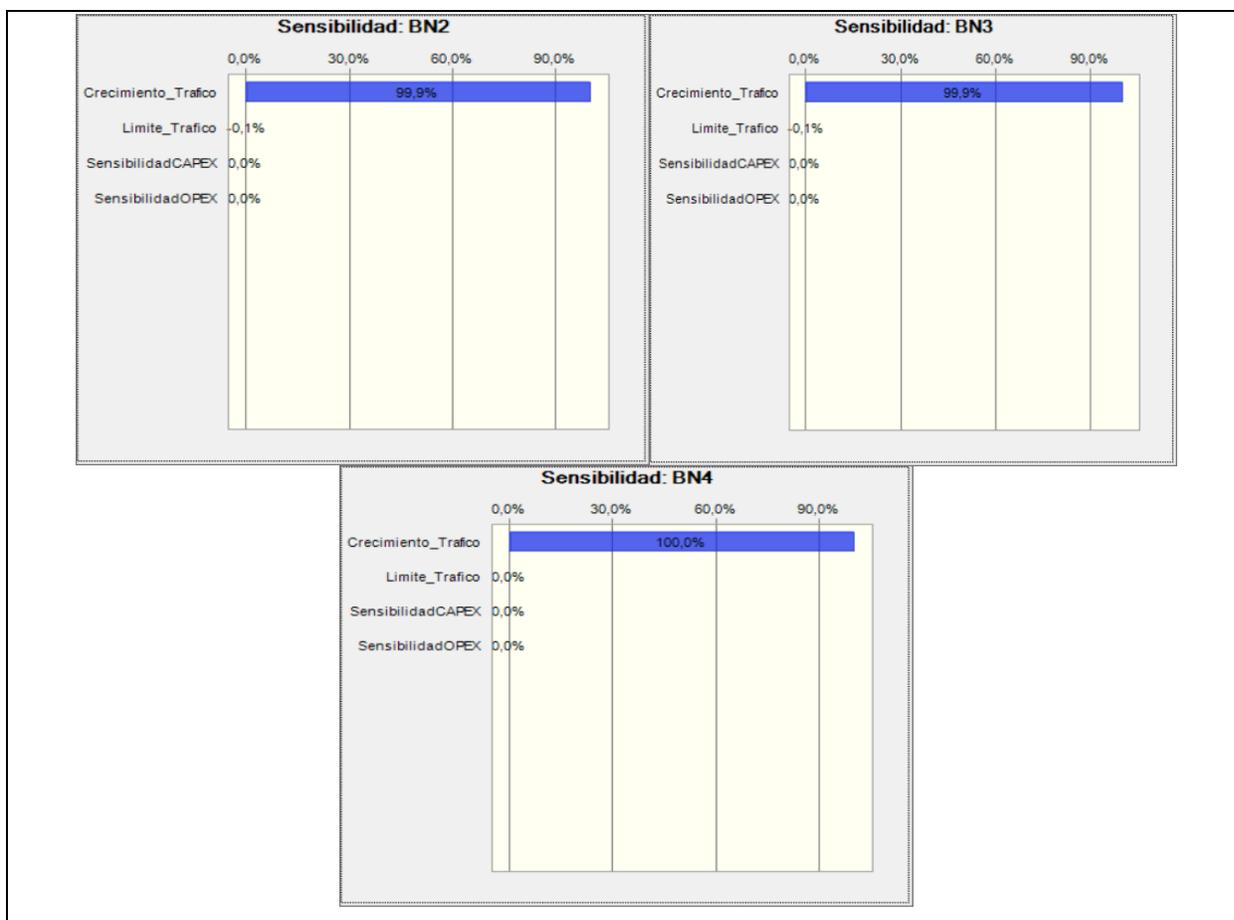
Para poder ejecutar el procedimiento se desarrolló en VBA de Excel un algoritmo que sigue el pseudo-código de la Ilustración 10. El algoritmo está dividido en varios procesos independientes que calculan partes diferentes del procedimiento planteado por Longstaff y Schwartz. Es de notar que los procesos que aparecen en color azul corresponden a la parte iterativa del procedimiento donde se ejecutan varias regresiones para encontrar el valor esperado condicional.



*Ilustración 10: Seudo-código algoritmo*

Simular el VPN: Este proceso busca encontrar los valores de VPN en cada uno de los periodos en los que la opción está disponible para ser ejecutada. Este proceso se realizó con ayuda del paquete de simulación de *Crystal Ball* de ORACLE. Este paquete entregó los valores de VPN y de beneficios netos descritos más atrás.

Calcular los *PayOff*: este cálculo se hizo para cada uno de los caminos de simulación generados por *Crystal Ball* con los cuales poblamos la matriz de dos dimensiones  $PO_{ij}$  de acuerdo con la Ecuación 3. A diferencia del procedimiento de Longstaff y Schwartz en este trabajo el Strike no es fijo puesto que depende del tráfico que genera los peajes atrapados y por ese motivo el beneficio neto de cada uno de los periodos es diferente y depende del camino de simulación puesto que tiene un alto componente de sensibilidad a las variaciones que se presenten en el tráfico. Ver Ilustración 11.



*Ilustración 11: Sensibilidad de los Beneficios*

Determinar los puntos *In The Money* (ITM)<sup>18</sup>: Esta es una matriz binaria (uno o cero) que muestra los puntos óptimos de ejecución de la opción como se muestra en la Ecuación 4: Valores de la matriz ITM.

$$ITM_{ij} = \begin{cases} 1 \Leftrightarrow \text{la opción se ejecuta en el periodo } i \\ 0 \Leftrightarrow \text{la opción no se ejecuta en el periodo } i \end{cases} \forall i < n, j < m$$

*Ecuación 4: Valores de la matriz ITM*

<sup>18</sup> Se entiende por se llama “*In The Money*” al estado de una opción cuando el flujo de su ejecución es positivo.

Inicialmente la matriz ITM tiene, en un mismo camino de simulación  $j$ , varios posibles periodos donde podría ejecutarse la opción, sin embargo al final del algoritmo esta matriz cumple la Ecuación 5: Validación de la matriz ITM, donde  $n$  es el número de periodos analizados y  $m$  el número de simulaciones realizadas.

$$\sum_{i=0}^n ITM_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} 0 \Leftrightarrow_j \text{ La opción expira sin ser ejecutada} \\ 1 \Leftrightarrow_j \text{ La opción se ejecuta en cualquier periodo} \end{array} \right\} \forall i < n, j < m$$

*Ecuación 5: Validación de la matriz ITM*

*Regresión de los PayOff*: El análisis de la opción inicia de atrás para delante en cada uno de los caminos. Con el fin de saber si la opción que se está evaluando es mejor ejecutarla en el periodo en que se evalúa o esperar<sup>19</sup> para que sea ejecutada en un tiempo posterior, Longstaff y Schwartz (2001) usa el valor esperado condicional de manera tal que el  $PO_{ij}$  dependerá del resultado de  $VPN_{i-1j}$ . Para generar esta dependencia el autor usa una regresión lineal, donde se usa como variable independiente los *PayOff* del periodo siguiente al analizado y descontados con la tasa correspondiente al periodo analizado y como variable independiente usa los valores de VPN del periodo analizado. Es de notar que este procedimiento inicia desde el penúltimo periodo hacia el primero y únicamente incluye los valores de los caminos que estén *In the Money* para la regresión de cada periodo analizado.

Para nuestro caso de estudio y teniendo en cuenta que los valores de VPN simulados corresponden a descuentos hechos con la tasa de WACC móvil calculada en el modelo de valoración DCF del que se habló en el capítulo anterior, los *PayOff* que usamos en la regresión de este procedimiento son descontados usando el WACC que le corresponde a cada periodo.

---

<sup>19</sup> Cada periodo de las opciones americanas, o su homologas en tiempo discreto llamadas, bermuda tienen la posibilidad de ser ejecutadas en el momento en que se evalúan o esperar a ser ejecutadas después (pero antes del vencimiento).

Valor Esperado de los *PayOff*: Una vez se tienen los coeficientes de la regresión, estos son usados para calcular el valor esperado para cada camino de la simulación  $j$ . Estos valores serán entonces el valor esperado de los *PayOff* para el periodo siguiente al que se está evaluando y son cargados en una matriz de dos dimensiones:  $Regres_{ij}$ <sup>20</sup>.

Los valores de cada columna  $i$  de la matriz  $Regres_{ij}$  se comparan con los de cada columna  $i$  de la matriz  $PO$  para conocer si es mejor esperar un periodo, caso en el que el valor de  $Regres_{ij}$  sea mayor o ejecutarla de inmediato, caso en el que el valor del PO que se está evaluando es mayor.

En caso que el  $Regres_{ij}$  resultado de la regresión sea mayor al registrado en la matriz PO, entonces el valor de ITM se actualiza con 0, lo que indica que no se ejecutaría en ese periodo. Por el contrario cuando el  $Regres_{ij}$  resultado de la regresión es menor al registrado en la matriz  $PO$ , entonces se actualizan los valores de ITM desde  $i + 1$  hasta  $n$  con el valor cero para cada camino de la simulación. Esta última actualización se hace para identificar que una vez se ejecuta la opción (valor uno en cada camino de la matriz ITM) no se puede ejecutar en un periodo posterior y hacer que se cumpla la condición de la matriz ITM expuesta antes en este mismo capítulo.

Multiplicar los ITM por los *PayOff*: Luego de hacer la actualización de la matriz de ITM se verifica que se haya corrido el procedimiento para todos los periodos analizados, una vez hayan finalizado la matriz ITM contendrá valores de 1 para los periodos en los que es óptimo ejecutar la opción y 0 en los que no se ejecutará.

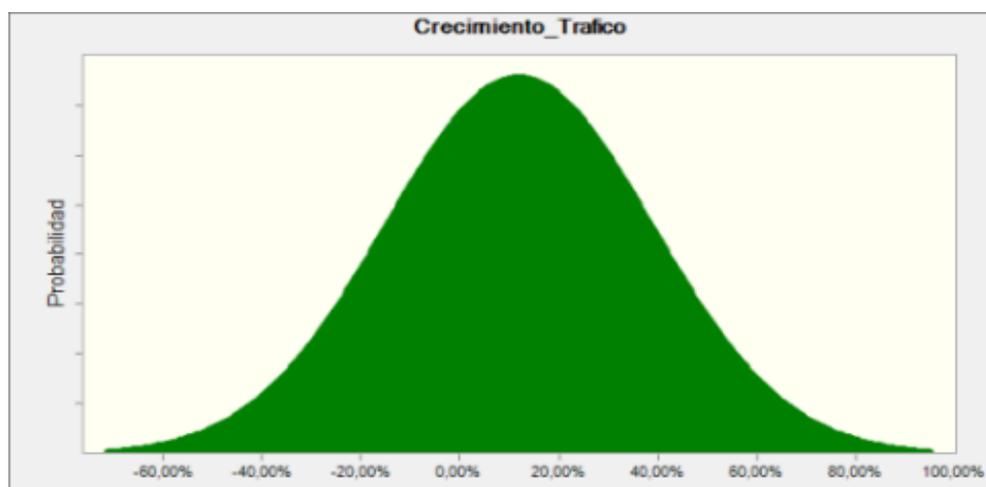
Valorar la Opción: Con la información de la matriz ITM y la de los PO calculada inicialmente se genera una matriz únicamente con los PO que comprenden el óptimo de ejecución de la opción. Estos valores son descontados hasta el valor en cero usando nuevamente el WACC móvil calculado en la sección anterior y estos resultados se promedian para obtener el valor del proyecto más la opción.

---

<sup>20</sup> A diferencia de las demás matrices creadas de tamaño  $n \times m$  en el algoritmo esta matriz es de tamaño  $n - 1 \times m$  puesto que el último periodo no requiere de regresión.

## RESULTADOS

Con ayuda del paquete de simulación de *Crystal Ball* se desarrolló una simulación Monte Carlo, con 5000 iteraciones para para el proyecto inicial con el vector de tráfico de la concesión “El Corzo” con un crecimiento promedio de 11,92% y una desviación estándar del crecimiento de 27,15% este crecimiento y con una distribución normal como se evidencia en la Ilustración 12. Sin embargo los porcentajes de tráfico promedio en un plazo de proyección tan largo como el de la concesión generan datos de tráfico que es necesario acotarlos para tener valores más reales congruentes con una capacidad instalada de las vías (Kazem, 2012). Para esto usamos un tope de la capacidad de la vía estimando que llegue a su tope en los próximos 15 años, de esta manera pronosticamos un tope de 20 millones al año.



*Ilustración 12: Distribución del crecimiento de tráfico vehicular*

Los parámetros anteriores mostraron una probabilidad de generar  $VPN_0$  negativos del 33,09% y una distribución y que el 58,74% de la veces la concesión alcanzaba el máximo de tráfico especificado.

Para valora la opción real se programaron en Excel los beneficios netos que se explicaron en el capítulo anterior y se generaron las gráficas de su comportamiento de acuerdo con los parámetros de entrada citados antes. La Ilustración 13 exhibe los resultados para los

Beneficios Netos de cada uno de los periodos que se analizan en la valoración de la opción real.

En la Ilustración 14 se observa que los beneficios de los últimos periodos (BN4, BN3 y BN2) existe la probabilidad de otorgar valores netos positivos mayor a cero, mientras que los de los periodos 0 y 1 con una certeza del 100% dan negativos. Este resultado es congruente con la valoración de la opción real para este caso, puesto que en la tabla ITM de la valoración ni en uno ni en dos aparece que se ejecute la opción de adelanta la construcción. Este fenómeno se da principalmente porque en los primeros periodos la inversión en CAPEX restante es muy alta y los peajes que se han recaudado hasta ese punto no cubrirían este costo.

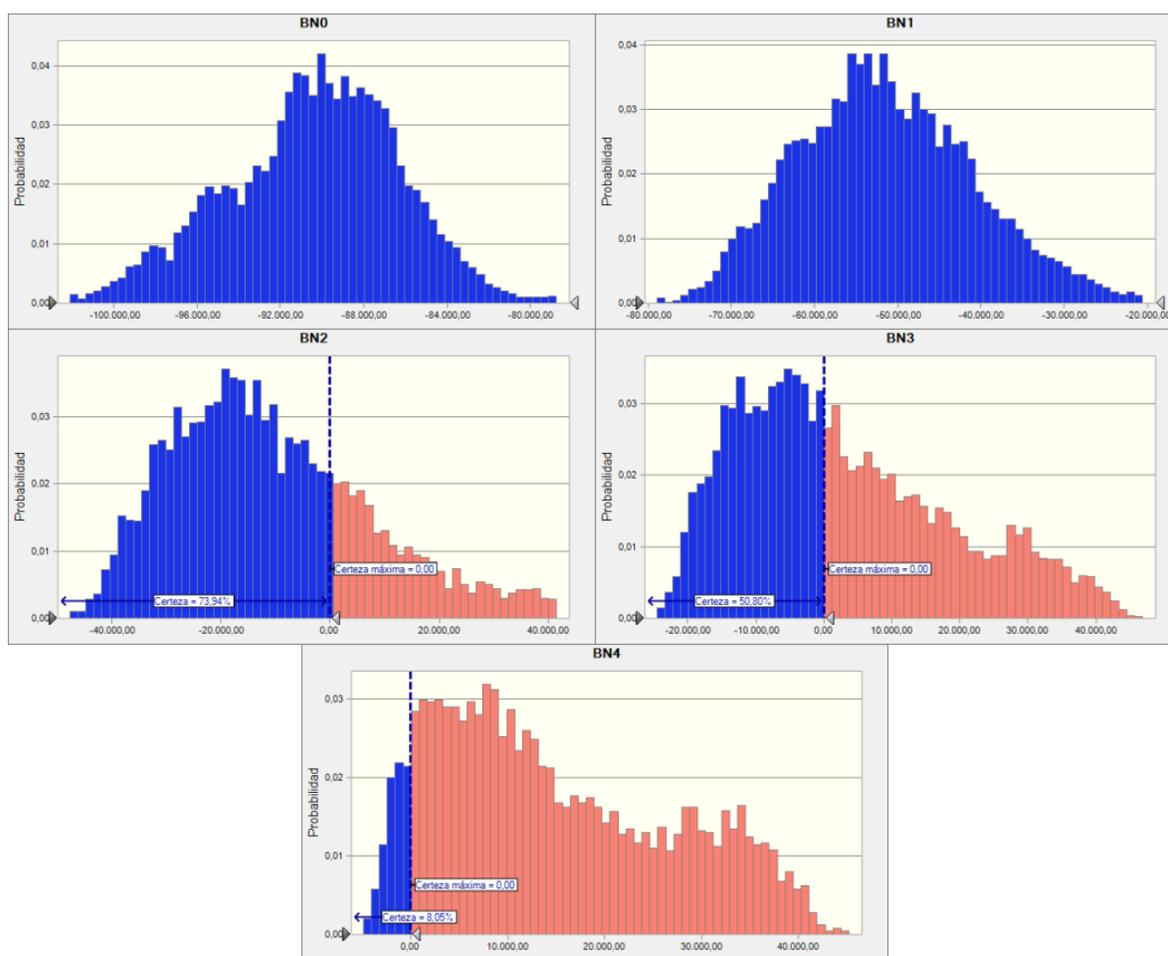
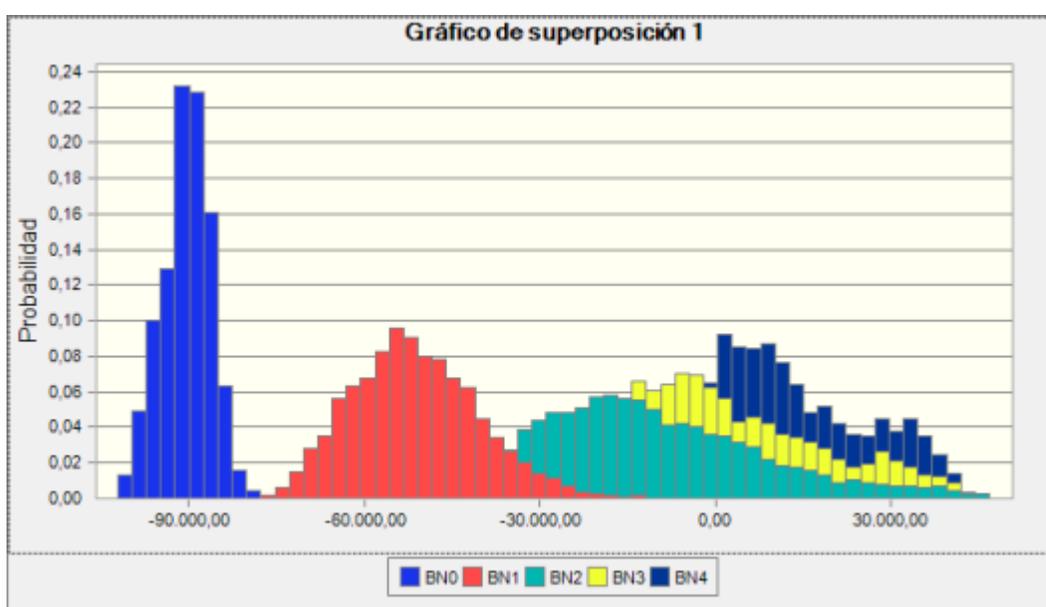


Ilustración 13: Función de densidad y probabilidad de los Beneficios.

Sin embargo, a pesar que el periodo dos la Ilustración 14 tiene probabilidades mayores a cero que se ejecute la opción, en para donde la matriz de los óptimos de ejecución de la opción (ITM) demuestra que en el periodo 2 la construcción de obra no es ejecutada puesto que los costos adicionales en CAPEX son mayores a los beneficios de ingresos que se podrían recibir. Únicamente a partir del periodo 3, la opción sería ejecutada (en 2510 casos, de los 5000), mientras que para el periodo 4 (último periodo donde la opción estaría disponible) también se ejecutaría la opción (836 casos de los 5000) pero en una número menor de ocasiones. Esto ocurre porque los valores esperados de los PayOff son mayores en el periodo 3 que en el 2.



*Ilustración 14: Histograma de los Beneficios.*

Esto último demuestra que en el caso particular de las concesiones viales bajo el marco de las 4G, no es óptimo adelantar la construcción en los primeros años de la fase de construcción puesto que no existen los beneficios suficientes que compensen los costos adicionales incurridos por la aceleración. Sin embargo, en periodos intermedios si hay valor en la aceleración propuesta. Por otro lado existe también la opción de abandonar la concesión en el momento que está generando pérdidas, a pesar que estas no generan un valor positivo por sí mismo, si tienen un valor cuando se trata de Minimizarlas.

Para el caso de la opción compuesta que se está evaluando en este trabajo encontramos que el valor adicional que tiene el inversionista es de COP 254.677 millones frente a un promedio de VPN de COP 621.440 millones para el total de los 5000 caminos de simulación analizados. Esto demuestra, que efectivamente, la opción genera un valor adicional por el componente estratégico que ofrece la flexibilidad de tomar la decisión de acelerar la construcción cuando las condiciones de tráfico le son favorables. Para cada una de las celdas de la tabla anterior, se observa que la opción aporta un nuevo valor al VPN del proyecto.

### Sensibilización

Con el fin de extender los resultados a escenarios diferentes hicimos la sensibilización del valor de la opción compuesta que se está analizando. En la Tabla 11 se resumen los resultados obtenidos de la valoración de la opción, por medio de la simulación antes descrita, como también el valor del VPN del proyecto; cambiando los supuestos de la variable de tráfico (media del crecimiento y la desviación estándar).

VPN					
$\sigma/\mu$	2%	7%	11,92%	15%	20%
5%	189.153	537.379	858.664	1.012.568	1.177.793
10%	271.135	512.840	777.045	901.134	1.082.442
20%	321.787	503.995	660.629	760.764	928.844
27,15%	371.045	524.719	621.440	727.431	834.056
30%	359.747	505.883	887.142	683.707	806.591

VPN + Opción Real					
$\sigma/\mu$	2%	7%	11,92%	15%	20%
5%	247.592	596.898	991.614	1.199.578	1.415.777
10%	408.869	646.841	930.000	1.075.614	1.289.569
20%	561.463	727.508	875.095	975.910	1.149.155
27,15%	649.064	784.668	876.117	974.472	1.078.088
30%	652.575	783.373	887.142	945.393	1.062.796

*Tabla 11: sensibilización de la Opción Real*

Se observa que el valor de la opción en el escenario base es de COP \$876.117 MM, el cual es notablemente superior a los COP \$621.440 MM obtenidos del VPN promedio como se mencionó anteriormente. Y esto se explica a partir de factores tales como el plazo en el cual se decidió llevar a cabo la construcción de la obra, el riesgo del proyecto derivado de la incertidumbre del tráfico, los tipos de interés y en parte por el grado de exclusividad que dispone el concesionario en aceptar el desarrollo del proyecto.

Ahora bien, revisando las sensibilizaciones por medio de cambios en el crecimiento anuales promedio del tráfico ( $\mu$ ) y su desviación estándar ( $\sigma$ ), se observa que en los crecimientos bajos (entre 2% a 7%), el valor del proyecto con la opción crece en la medida que incrementa la desviación estándar, lo cual va en línea con lo sugerido en la literatura revisada; puesto que el inversionista querrá hacerse a un mayor retorno en la medida que la incertidumbre de tráfico se resuelva. No obstante, cuando se llega a crecimientos anuales superiores al 10%~11%, el valor del proyecto junto con la opción tiende a decrecer en la medida que aumenta la desviación estándar, y esto se explica por el techo impuesto por la capacidad instalada de las vías, en donde no podrá atender volúmenes de tráfico que superen los niveles de 20 millones de vehículos en el año.

## CONCLUSIONES

Como se mencionaba en capítulos anteriores, las APP se han constituido como aquellos esquemas de contratación que han permitido una interacción más dinámica entre los sectores de construcción civil y los mercados financieros. Y su uso se ha ido incrementado para atender la fuerte necesidad que tiene el país en realizar inversiones de infraestructura teniendo en cuenta la escasez que existe en el financiamiento a partir de recursos públicos.

Una de las formas más aplicadas de las APP han sido los contratos COT (Construcción, Operación y Transferencia). Su aplicación ha cambiado los roles tradicionales del sector público y privado en el desarrollo, operación, mantenimiento y administración de la infraestructura vial. Bajo este esquema, el concesionario (el agente privado), tiene la responsabilidad de financiar, diseñar, construir y operar la obra durante un periodo temporal específico, bajo las condiciones de la concesión otorgada. Así que la manera en como el concesionario entonces recupera su inversión es a partir de los recaudos de peajes y aportes que le haga el estado. Una adecuada implementación de estos esquemas, permite mejorar las entregas de obra tanto en su eficiencia como en su administración de riesgos. Inclusive, se puede llegar a percibir reducciones en costos y tiempos de implementación, como también mayores oportunidades para el desarrollo de innovación (Hamilton, 2000).

Sin embargo, los proyectos de infraestructura (sobre todo aquellos que se rigen bajos esquemas de APP) son distintos a otros proyectos de inversión industrial, en muchos aspectos; de los cuales se destaca el horizonte de tiempo que puede superar las décadas. Esto último implica que existe una exposición a riesgos mucho más duradera, teniendo en cuenta que las proyecciones de tráfico en el largo plazo son complicadas; cambios en el marco regulatorio y riesgos en la tasa de interés.

Para efectos de simplificación, asumimos que un riesgo que se puede considerar relevante y que explique en gran medida el perfil de riesgo de un proyecto de infraestructura vial bajo el marco de contratación antes señalado, es el riesgo de ingresos generado por el tráfico. Este riesgo deriva de la incertidumbre que se encuentra subyacente sobre el futuro de la demanda de tráfico y se refiere a la posibilidad de que el proyecto no alcance a generar los

suficientes ingresos para cubrir los gastos de funcionamiento, servicio de la deuda y dejar un retorno para el concesionario (Kazem, 2012).

Ante lo anterior, las Opciones Reales emergen como una alternativa de valoración capaz de complementar la evaluación financiera de proyectos de enfoque tradicional. Su aporte a la valoración, es incorporar la flexibilidad que cuentan los inversionistas cuando la incertidumbre se va resolviendo con el pasar del tiempo, esto otorga una visión estratégica a la toma de decisiones que no se prevén en las valuaciones tradicionales.

De hecho, lo encontrado demuestra que los riesgos que existen en proyectos de infraestructura afectan de manera positiva el valor de la opción real debido a la expectativa que tiene el inversionista de obtener una mayor ganancia una vez tome las decisiones adecuadas en el tiempo una vez se resuelva la incertidumbre del proyecto.

Tras plantear y desarrollar un modelo de valoración para una concesión de 4G con un periodo de 26 años, se identificaron las opciones de adelantar o abandonar la concesión teniendo en cuenta la estructura de incertidumbre derivada del tráfico vehicular que se proyectó. Para valorar las Opciones Reales encontradas se adaptó el procedimiento planteado por Longstaff y Schwartz (2001) en el cual se aplicaron algunos cambios con el fin de usarlo efectivamente en la valoración de las Opciones Reales de aceleración y abandono que muestra el proyecto.

Al encontrar un valor de 254.677 millones para la Opción Real compuesta de adelantar o abandonar el proyecto que es equivalente al 41% del valor del VPN de la simulación, que responde a la apropiación temprana de los peajes retenidos (resolución de la incertidumbre de demanda), la apropiación anticipada de los aportes de la ANI teniendo como contraprestación el adelanto de CAPEX, se evidenció que la mayor incertidumbre genera mayores beneficios siempre y cuando no haya límite superior para la ganancia. Por el contrario cuando se limita la ganancia con un tope el valor de la opción se reduce conforme la incertidumbre aumenta, puesto que puede crecer en sentido negativo sin límite.

Esto, indiscutiblemente influye en la decisión de inversión, ya que podría generar un mayor interés en proyectos riesgosos pero que le permitan tener opciones para maximizar el valor sin estar atado a restricciones de ganancia impuestas con anterioridad.

Así las cosas, la implementación de metodologías no tradicionales de valoración, como lo son las Opciones Reales, en proyectos de concesión vial (o en aquellos proyectos que tengan construcción por fases), es de gran utilidad como complemento a la valoración por flujo de caja descontado, a pesar de las deficiencias y complejidades computacionales del modelo.

Es preciso persistir en el desarrollo de nuevas e innovadoras metodologías que cada vez faciliten el cálculo de valores que se acerquen a la realidad de los activos sujetos de valuación, y sobre todo cuando se trata de toma decisiones de inversión; dado que en el mundo real, los inversionistas exigen flexibilidad bajo fuertes condiciones de incertidumbre.

## BIBLIOGRAFÍA

Andersen, L. B. (Marzo de 1999). A Simple Approach to the Pricing of Bermudan Swaptions in the Multi-Factor Libor Market Model. *Social Science Research Network*.

ANI. (17 de Mayo de 2015). *Cuarta Generación de Concesiones*. Obtenido de <http://www.ani.gov.co/proyecto/general/cuarta-generacion-de-concesiones-1068>

ANIF. (Noviembre de 2014). Concesiones de Infraestructura de Cuarta Generación (4G) - Requerimientos de Inversión y Financiamiento Público-Privado. Bogotá D.C., Colombia.

ANIF. (Diciembre de 2014). Costos de Transporte, Multimodalismo y la competitividad de Colombia. *Costos de Transporte, Multimodalismo y la competitividad de Colombia*. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de ANIF - Estudios Especiales 2014: <http://anif.co/node/10697>

Banco Mundial. (2007). *Infraestructura en América Latina y el Caribe: Acontecimientos recientes y desafíos principales*. Bogotá: Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones S.A. Recuperado el 2013, de Banco Mundial: <http://siteresources.worldbank.org/INTMEXICOINSPANISH/Resources/infraestructura-espanol.pdf>

Black , F., & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654.

Black, F., Jensen, M. C., & Scholes, M. (1972). The Capital Asset Pricing Model: Some Empirical Tests. *Studies in the Theory of Capital Markets*.

Brennan, M. J., & Schwartz, E. S. (1985). Evaluating Natural Resource Investments . *The Journal of Business*, 135-157.

Cox, J. C. (Septiembre de 1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229–263.

Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics* , 229-263.

Damodaran, A. (Enero de 2014). *Damodaran OnLine*. Recuperado el Febrero de 2015, de Damodaran OnLine Data Page: [http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New\\_Home\\_Page/dataarchived.html](http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/dataarchived.html)

Fernandez, P. (2008). *Metodos de valoración de empresas*. IESE Business School. Barcelona: Alfa.

Finerty, J. D. (2007). Project Financing. En J. d. Finerty, *Project Financing: Asset-Based Financial Engineering* (pág. 498). John Wiley & sons, Inc.

Guajardo, M., Rosa, V., & Alejandro, A. (2008 ). Evaluación Socioeconómica de Proyectos con el Método de Opciones Reales. *Revista Ingenieria Industrial*, 47-63.

Hamilton, G. (2000). *Public-Private Partnerships for Sustainable Development*. Obtenido de Naciones Unidas: <http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd16/PF/presentations/hamilton.pdf>

Hull, J. (2012). *Options, Futures, and Other Derivates* (8ª edición ed.). Boston, Estados Unidos: Prentice Hall.

Kazem, H. (Mayo de 2012). A Real Options Model for the Financial Valuation of Infrastructure Systems Under Uncertainty. Georgia, Estados Unidos: Georgia Institute of Technology.

Kester, C. (1984). Today's Options for Tomorrow's Growth. *Harvard Business Review*, 153-160.

Longstaff, F. A., & Schwartz, E. S. (2001). Valuing American options by simulation: a simple least-squares approach. *The Review of Financial Studies*.

Luehrman, T. A. (1994). Capital Projects as Real Options: An Introduction. *Harvard Business School Cases*, 1-12.

Majd, S., & Pindyck, R. (1987). Time to Build, Option Value, and Investment Decisions. *Journal of Financial Economics*, 7-27.

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 77-91.

Martinez Ceseña, E., Mulate, J., & Rivas-Davalos, F. (2013). Real options theory applied to electricity generation projects: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 573–581.

Mascareñas Pérez, J. (1999). *Innovación Financiera. Aplicaciones para la Gestión Empresarial*. Madrid: McGraw Hill.

Mayers, S. (1976). Determinants of Corporate Borrowing. *Journal of Financial Economics*.

Mc Donald, R. L., & Siegel, D. R. (1985). Investment and the Valuation of Firms when there is an Option to Shut Down. *International Economic Review*, 331-349.

McKinsey & Company. (2010). *Valuation* (5ª edición ed.). New Jersey: John Wiley & Sons INC.

Merton, R. C. (1969). Lifetime Portfolio Selection under Uncertainty: the Continuous-Time Case. *The Review of Economics and Statistics*, 247-257.

Modigliani, F., & Miller, M. H. (1958). The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment. *The American Economic Review*, 261-298.

Moreno, L. (Noviembre de 2011). Exposición realizada en el 8vo Congreso de Infraestructura . Cartagena de Indias, Colombia.

Mun. (2002). *Real Option Analysis*. New Jersey, Estados Unidos: Wiley finance series.

Rose, S. (1998). Valuation of Interacting Real Options in a Tollroad Infrastructure Project. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 711-723.

Trigeorgis, L. (1991). A Log-Transformed Binomial Numerical Analysis Method for Valuing Complex Multi-Option Investments . *Journal of Financial and Quantitative Analysis* , 309-326.

Trigeorgis, L. (1996). *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. MIT Press.

Wang, T., & de Neufville, R. (2005). Real Options in Projects. *9th Annual Real Options (Francia)*.

WEF. (2 de Septiembre de 2014). *World Economic Forum* . Obtenido de The Global Competitiveness Report 2014 - 2105: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalCompetitivenessReport\\_2014-15.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2014-15.pdf)

Zhang, Y. (Agosto de 2010). An Analysis and Comparison of Real Option Approaches for Project Valuation under Uncertainty. *An Analysis and Comparison of Real Option Approaches for Project Valuation under Uncertainty*. Otago, Dunedin, New Zeland: University of Otago.