

*Valoración de Empresas Hidroeléctricas mediante Opciones
Reales*

*Valuation of Hydroelectric Companies by Means of
Real Options*



Mileidi Isabel Corpus Grey

*Trabajo Final para optar el título de:
Magíster en Ingeniería administrativa*

*Director: Santiago Medina Hurtado, PhD
Profesor Asociado
Escuela Ingeniería de la Organización
Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia-Sede
Medellín*

*Universidad Nacional de Colombia
Medellín – Colombia, 2011*

Valoración de Empresas Hidroeléctricas mediante Opciones Reales

Valuation of Hydroelectric Companies by Means of Real Options

Mileidi Isabel Corpus Grey

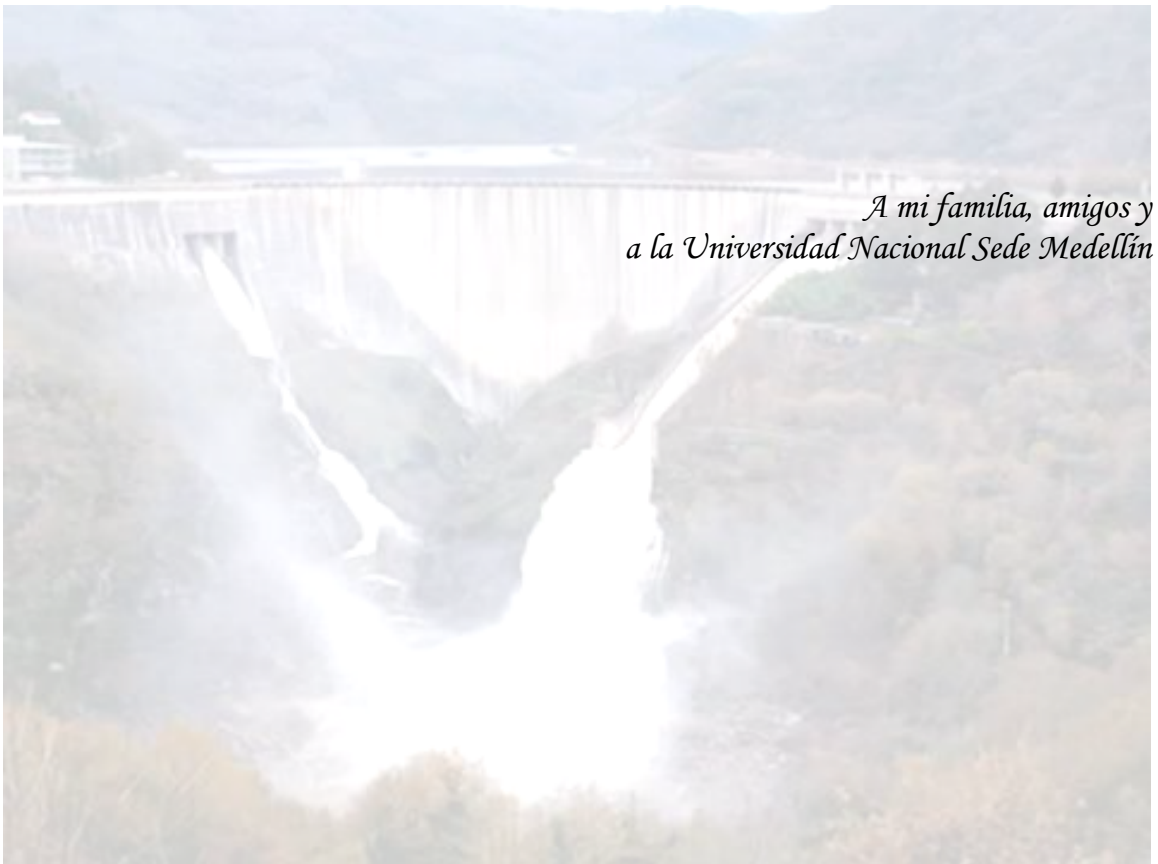
Trabajo Final presentado al Comité integrado por:

Ángela Sofía Lalinde Cardona

*Para complementar las exigencias de Grado de:
Magíster en Ingeniería administrativa.*

Universidad Nacional de Colombia

Medellín – Colombia, 2011



AGRADECIMIENTOS

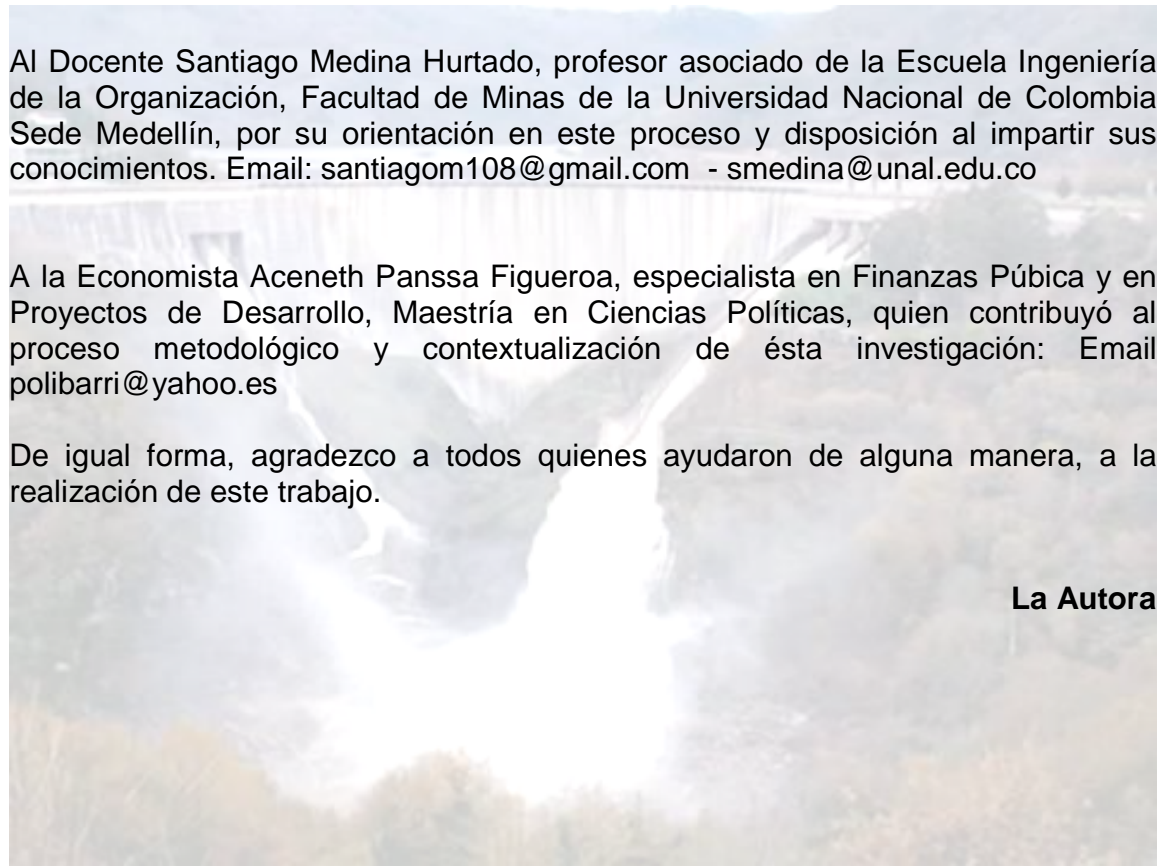
En primer lugar a Dios, por permitirme finalizar satisfactoriamente esta nueva meta; a mi madre, porque siempre ha orientado su vida a dar lo mejor a sus hijos y a mis hermanos, por su incondicional apoyo.

Al Docente Santiago Medina Hurtado, profesor asociado de la Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, por su orientación en este proceso y disposición al impartir sus conocimientos. Email: santiagom108@gmail.com - smedina@unal.edu.co

A la Economista Aceneth Panssa Figueroa, especialista en Finanzas Pública y en Proyectos de Desarrollo, Maestría en Ciencias Políticas, quien contribuyó al proceso metodológico y contextualización de ésta investigación: Email polibbarri@yahoo.es

De igual forma, agradezco a todos quienes ayudaron de alguna manera, a la realización de este trabajo.

La Autora



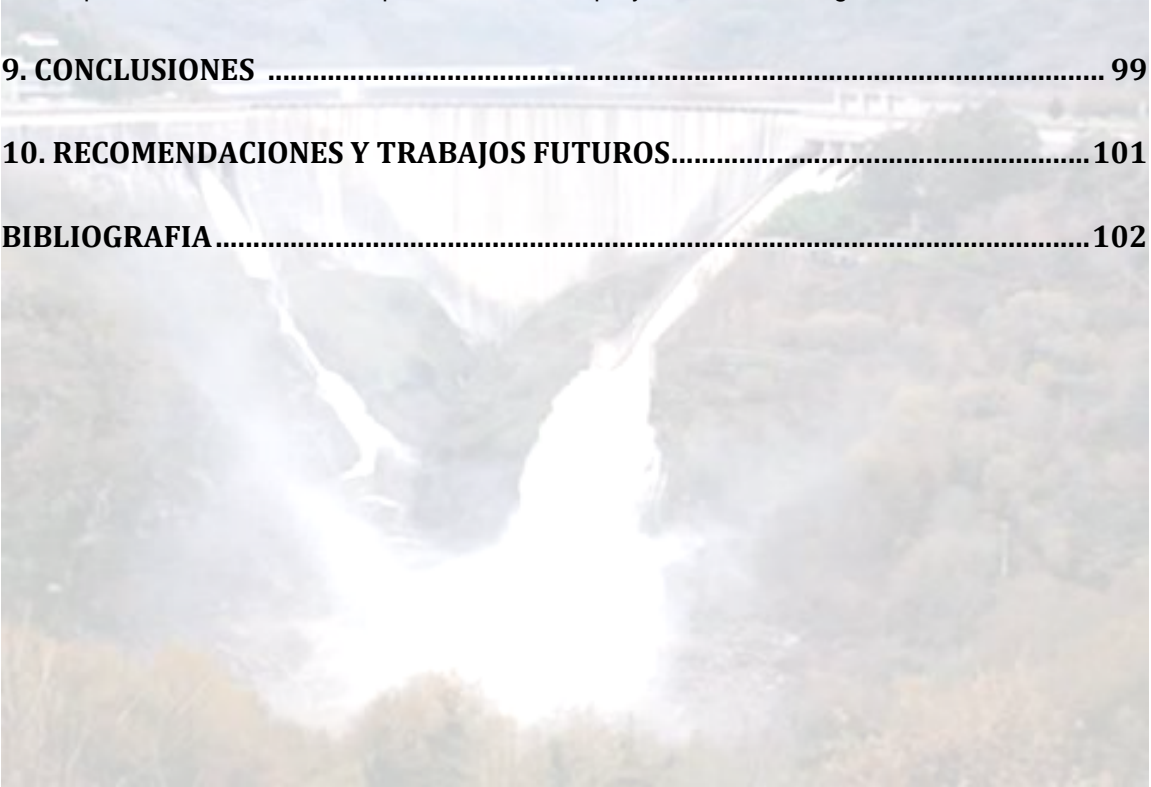
CONTENIDO

pág.

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCION	12
1. TEORÍA BÁSICA DE OPCIONES REALES Y FLUJOS DE CAJA COMO METODOS DE VALORACION.....	15
1.1. ANTECEDENTES.....	16
1.2 FLUJO DE CAJA LIBRE.....	19
1.3. INCONVENIENTES EN LOS MODELOS CLASICOS DE VALORACIÓN	21
1.4 OPCIONES REALES - OR.....	23
1.5 OPCIONES FINANCIERAS - OF Y OPCIONES REALES -OR	26
1.5.1 Equivalencias entre las Opciones Reales y Financieras.....	28
1.6 UTILIZACION DE LAS OPCIONES REALES	30
1.6.1 Simplificación de proyectos complejos.....	30
1.6.2 Estimación de la volatilidad.....	30
1.6.3 Comprobar los modelos y las distribuciones.....	31
1.6.4 Interpretaciones de los resultados	31
2. TIPOS DE OPCIONES REALES.....	32
2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS OPCIONES REALES.....	36
2.1.1 Opción de Diferir, prorrogar o posponer	37
2.1.2 Opción de Discontinuar	38
2.1.3 Opción de Expansión, Ampliación o Crecimiento.....	38
2.1.4 Opción de Suspender, Cerrar y Reabrir Operaciones.....	41
2.1.5 Opción de Cambiar Los Factores o Insumos Productivos	41
2.1.6 Opción de Reducir o Contraer.....	41
2.1.7 Opción de Abandonar o Cerrar definitivamente.....	42
2.1.8 Opción de Esperar o Cerrar Temporalmente	45
2.1.9 Opción de Aprendizaje	46

2.1.10 Opción Compuesta	47
2.1.11 Opciones de Intercambio	47
2.1.12 Opciones Estratégicas.....	48
3. GESTION DE LAS OPCIONES REALES	50
4. PRINCIPALES MÉTODOS NUMÉRICOS PARA OPCIONES REALES.	53
4.1 MODELO BLACK – SCHOLES.	53
4.2 MÉTODOS NUMÉRICOS	55
4.2.1 Método de Monte Carlo o Simulación Monte Carlo.....	55
4.2.2 Árboles: Binomiales, Trinomiales y Multinomiales	57
4.2.3 Ecuaciones en derivadas parciales: Método de las diferencias finitas	60
5. INVERSIONES EN EL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO.....	61
5.1 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR.....	62
5.2 MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO.....	65
5.3 DECISIONES DE INVERSIÓN EN EL SECTOR	66
5.4 CONTRATOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE COMBINACIÓN DE OPCIONES.....	67
6. FUNDAMENTOS TEORICOS DE GESTION DEL RIESGO EN LAS EMPRESAS GENERADORAS DE ENERGÍA.....	70
6.1 RIESGO E INCERTIDUMBRE	70
6.2 DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMO MEDIDA DE RIESGO	71
6.3 GRADOS DE AVERSIÓN AL RIESGO Y CURVAS DE UTILIDAD	71
6.4 RIESGO DE MERCADO Y PORTAFOLIO DE CONTRATOS DE UNA EMPRESA ELÉCTRICA.....	72
6.4.1 Riesgo en el negocio de la generación eléctrica	72
7. OPCIONES REALES EN PROYECTOS DE ENERGIA ELECTRICA	75
7.1 APLICACIONES DE OPCIONES REALES EN ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES	76
7.2 OPCIONES REALES EN EL CASO COLOMBIANO	77

7.3 OPCIONES REALES QUE PUEDEN SER IDENTIFICADAS Y VALORADAS EN PROYECTOS O EMPRESAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA	78
8. APLICACIÓN DE OPCIONES REALES A LA VALORACION DEL PROYECTO HIDROELECTRICO A PARTIR DE LA SIMULACION MONTE CARLO	80
8.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO HIDROELECTRICO HIDROITUANGO	80
8.2 PLANTEAMIENTO DEL MODELO	81
8.2.1 Supuestos para la evaluación económica y financiera del Proyecto Pescadero- Ituango	82
8.2.2 Parámetros Utilizados en la Valoración	82
8.2.3 Aplicación del modelo de Opciones Reales al proyecto Hidroituango	92
9. CONCLUSIONES	99
10. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	101
BIBLIOGRAFIA.....	102



LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valor de la flexibilidad operativa	25
Tabla 2. Opciones financieras vs opciones reales	27
Tabla 3. Equivalencia entre opciones reales y financieras	28
Tabla 4. Diferentes opción reales y especialistas que las han analizado.....	49
Tabla 5. Tipos de contratos entre generadores y clientes	67
Tabla 6. Factores que inciden en una alta volatilidad en los precios de la energía.....	73
Tabla 7. Alternativas de conexión de la hidroeléctrica pescadero ituango.....	81
Tabla 8. Flujo de desembolsos en una etapa – cifras en millones de usd 2007	84
Tabla 9. Imprevistos como porcentaje de los costos	84
Tabla 10. Variables	92
Tabla 11. Ingresos y costos asociados al proyecto hidroeléctrico ituango.....	93
Tabla 12. Variables para la valoración de la opción de venta	96
Tabla 13. Variables para la valoración de la opción de expansión.....	97

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Incremento de valor debido a la incertidumbre.....	29
Gráfico 2. Función de ganancia de una opción call	33
Gráfico 3. Función de ganancia de una opción put.....	33
Gráfico 4. Tipos de posiciones de opciones.	36
Gráfico 5. Opción de diferir, prorrogar o pospones.....	38
Gráfico 6. Opción de expansión, ampliación o crecimiento.....	40
Gráfico 7. Opción de reducir o contraer.....	41
Gráfico 8. Opción de abandonar o cerrar definitivamente	44
Gráfico 9. Opción de intercambio	48
Gráfico 10. Árbol binomial de un período	57
Gráfico 11. Árbol binomial de dos períodos	58
Gráfico 12. Arbol de tres períodos - tree time steps (recombining lattice)	59
Gráfico 13. Composición del mercado eléctrico colombiano.....	63
Gráfico 14. Comportamiento de las inversiones.....	90
Gráfico 15. Estructura financiera y apalancamiento	91
Gráfico 16. Variables de salida - precio marginal energía en bolsa.....	94
Gráfico 17. Distribución variables de pronóstico	95
Gráfico 18. Análisis de sensibilidad precio marginal energía en bolsa vs coeficiente de correlación	95
Gráfico 19. Arbol binomial de la opción de venta.....	96
Gráfico 20. Arbol binomial de la opción de expansión	98

RESUMEN

La valoración de opciones reales para derivados financieros fue realizada con base en el modelo Black y Scholes (1973), con modificaciones de Merton (1973), y contribuciones de Cox, Ross y Rubinstein (1979). Posteriormente, Myers (1977, 1987) y Kester (1984) quienes son considerados los pioneros en la teoría de opciones para la valoración de cierto tipo de proyectos.

A partir del modelo de Black y Scholes (1973) para derivados financieros, mirado como una aproximación para la toma de decisiones desde la realidad, por lo que es utilizado como herramienta para el cálculo del valor del proyecto o empresa, en su análisis se involucraron conceptos de teoría de finanzas, análisis económico, técnicas de dirección, herramientas de ayuda a la toma de decisiones, estadística y simulación, puesto que las opciones reales cobran mayor importancia en entornos dinámicos e incertidumbres, debido a que existen flexibilidades y por su naturaleza asimétrica, las opciones reales tienden a aportar un valor adicional respecto a la valoración mediante el método tradicional de los flujos de caja libre.

A pesar de que las opciones reales han ido adquiriendo importancia en el mundo globalizado en el transcurrir del tiempo, en Colombia su aplicabilidad ha sido lenta, por lo que no registras mayores avances; sin embargo, la aplicación de este método, ha cobrado importancia en el mercado del sistema eléctrico colombiano y en especial en los proyectos hidroeléctricos.

Entre los factores que influyen para la utilización de las opciones reales está el escaso conocimiento que se tiene sobre la metodología misma por parte de los responsables financieros de las compañías que abordan proyectos y valoración de éstos y la complejidad matemática de los modelos tradicionales para el cálculo de opciones reales.

Existen diferentes técnicas para la valoración mediante opciones reales, no obstante, para la valoración del proyecto, se aplicó el método de simulación Monte Carlo, por ser el más apropiado para el estudio de este caso.

Palabras claves: Opciones reales, flujos de caja libre, proyectos hidroeléctricos y sistema eléctrico colombiano.

ABSTRACT

The real options for financial derivatives was carried out based on the Black and Scholes (1973), with modifications of Merton (1973), and contributions of Cox, Ross and Rubinstein (1979),. Later, Myers (1977, 1987) and Kester (1984) who are considered pioneers in the theory of options valuation of certain types of projects.

Since Black and Scholes model (1973) for financial derivatives, regarded as an approach to decision making from reality, which is used as a tool for calculating the value of the project or company, engaged in his analysis concepts in finance theory, economic analysis, management techniques, tools to aid decision making, statistics and simulation, real options since become more important in dynamic environments and uncertainty, because there are flexibilities and their asymmetric nature , real options tend to provide additional value regarding the assessment by the traditional method of free cash flows.

Although real options have been gaining importance in the globalized world in the course of time, its applicability in Colombia has been slow, so do not made greater progress, however, the application of this method has gained importance in the Colombian electricity market system and especially in hydropower projects.

Among the factors that influence the use of real options is the limited knowledge we have about the methodology itself by CFOs of companies and projects that address these and assessment of the mathematical complexity of the traditional models for calculating real options.

The techniques for using real options valuation, however, for the valuation of the project was carried out Monte Carlo simulation method for sr most appropriate for the case study.

Key words: Real Options, flows of free box, hydroelectric projects and electrical Colombian system.

INTRODUCCION

La valoración de empresas o proyectos, es un proceso fundamental en todas las operaciones de adquisición, fusión, planificación estratégica, análisis de inversiones, salidas a bolsa y procesos de arbitraje, utilizada para evaluar y remunerar a los directivos (sistema de stock options). En términos de Fernández, La valoración, permite vislumbrar el impacto de las diferentes políticas de la organización en la creación, transferencia y destrucción del valor [Fernández 1999].

Bajo estas expectativas, existen métodos tradicionales de valoración de empresas, los más utilizados "*valor presente neto*" y "*tasa interna de rentabilidad*", en ambos casos la valoración se realiza mediante la elaboración de flujos de caja libre (FCL) con lo cual se espera generar proyecto de inversión, en cuyo proceso una vez planeados se le deduce la inversión inicial; aplicando el proyecto una tasa de descuento. Este método proporciona la rentabilidad o ganancia total, neta y actualizada, conseguida con una inversión y medida en unidades monetarias del momento inicial. Si el valor presente neto (VPN) es negativo, generalmente se rechaza el proyecto puesto que destruye valor y viceversa.

Es de anotar, que en la práctica, generalmente la realización de los flujos futuros puede resultar diferente de lo que inicialmente se haya considerado; en la medida que se obtiene nueva información y la incertidumbre sobre los flujos futuros se va resolviendo, es posible revisar la estrategia que se había propuesto llevar a cabo, es por ello que los métodos tradicionales de valoración, como el valor presente neto (VPN) no siempre expresa apropiadamente la flexibilidad de gestión de un determinado proyecto de inversión.

Dada las circunstancias, es pertinente considerar criterios como la flexibilidad y adaptabilidad en la toma de decisiones empresariales, puesto que le permitirán a la empresa mantener niveles de competitividad en el mercado y responder con eficiencia y efectividad a los cambios que la pueden impactar.

A partir del modelo de Black y Scholes (1973) y las modificaciones realizada por los diferentes autores, surgen las bases para la valoración mediante opciones reales y surge como una alternativa más dinámica frente a las limitaciones que tiene la valoración basada en flujo de caja libre, puesto que permite incrementar el valor a la empresa y le da a los directivos la flexibilidad necesaria para involucrar

la incertidumbre y alternativas de oportunidades de decisión. Las opciones reales, está relacionado con las opciones financieras, en las cuales un agente tiene la alternativa de hacer efectivo un derecho de comprar o vender un activo y la razonabilidad de ejercer la opción se establece frente al precio del activo subyacente. Lo que se procura con el análisis de las opciones reales es generar o crear valor; de acuerdo a la incertidumbre o el grado de volatilidad de los flujos de caja esperados.

La valoración mediante *Opciones Reales* ha ido adquiriendo importancia en el transcurso de los años; sin embargo, en Colombia son pocos los avances logrados en la aplicación de este método de valoración para la toma de decisiones y su utilización ha sido más desde lo académico. A pesar de las transformaciones en diferentes sectores de Colombia, el sector eléctrico ha sido ajeno en la aplicación de este método de valoración, para ser tenido en cuenta en la toma de decisiones; no obstante, de que en la nueva estructura del sistema eléctrico que gradualmente se ido imponiendo se basa en que la energía eléctrica es un producto que puede ser comercializado de forma independiente de la manera en que se realice el suministro físico de energía, lo cual posibilita la existencia de un mercado mayorista de energía en el que puedan participar empresas de generación, consumidores autorizados y comercializadores de energía, bien sea actuado en nombre de *consumidores* sin o con capacidad de elección, intermediarios entre otros agentes.

En el presente trabajo, se valorará el “Proyecto Hidroeléctrico Ituango”, mediante opciones reales, cuya capacidad de generación representa aproximadamente el 40% de la capacidad total instalable en las centrales del río Cauca (Colombia); teniendo en cuenta que la energía eléctrica es un producto que puede ser comercializado de forma independiente a la manera en que se realice el suministro físico de energía, de acuerdo a la nueva estructura que se ha ido imponiendo sobre el sistema eléctrico, lo cual posibilita la existencia de un mercado mayorista de energía en el que puede participar empresas de generación, consumidores autorizados y diferentes categorías de empresas comercializadoras, bien sea actuado en nombre de intermediarios, consumidores sin o con capacidad de elección, entre otros agentes.

Este trabajo se expone en ocho capítulos así: Capítulo 1. Las teorías básicas de opciones reales y flujos de caja como métodos de valoración, capítulo 2. Los tipos de opciones reales, capítulo 3. Gestión de las opciones, capítulo 4. Principales métodos numéricos para opciones reales, capítulo 5. Inversión en el sector eléctrico Colombiano, capítulo 6. Fundamentos teóricos de gestión de riesgos en las empresas generadoras de energía, capítulo 7. Opciones reales en proyectos

de energía eléctrica y en el capítulo 8. Aplicación de opciones reales en la valoración de proyecto hidroeléctrico a partir de la simulación Monte Carlo.



1. TEORÍA BÁSICA DE OPCIONES REALES Y FLUJOS DE CAJA COMO METODOS DE VALORACION

Una valoración es el resultado de la aplicación de metodologías que se enmarcan dentro de las opiniones y percepciones de expertos acerca de lo que será el comportamiento futuro de la compañía. Cada día se requiere valorar las empresas, puesto que es necesario por las exigencias de las transacciones comerciales. Por ello, la valoración de empresas busca cuantificar el patrimonio, su actividad económica, potencialidad o cualquier otra característica de la empresa que pueda ser valorada, teniendo en cuenta la diferencia entre precio y valor.

La valoración de empresas y proyectos, se puede considerar mejor definida si se realiza teniendo en cuenta la teoría básica de las opciones reales, al ser una de las mediciones más dinámica, que sirve de guía para la toma de decisiones a nivel empresarial y personal, por lo que es necesario realizar el análisis, de manera objetiva y hábil con el fin de minimizar incertidumbre.

De acuerdo a las actividades frecuentes de transacciones de compraventa de empresas privadas y públicas, negociación en la bolsa y el desarrollo de proyectos de inversión, es necesario y oportuno establecer la valoración de las empresas con opciones reales, teniendo en cuenta las limitaciones del flujo de caja. Usualmente los proyectos se evalúan calculando el valor presente neto (VPN) de éste, como el valor esperado de los flujos futuros descontados a la tasa de retorno del proyecto. Es de anotar que el cálculo del VPN sólo considera la información disponible en el instante de realizar el cálculo y generalmente se rechazan los proyectos con VPN negativo, lo que puede llevar a decisiones erróneas debido a que no se está considerando la posibilidad de comenzar a invertir y esperar para contar con mayor información. Esta posibilidad de espera añade valor al proyecto el cual no está considerado en el cálculo del VPN pero sí se refleja al evaluar un proyecto utilizando la metodología de opciones reales.

Es de anotar que ambos métodos de valoración (VPN y OR), utilizan la información de forma distinta y en ocasiones, la diferencia de valor entre los dos enfoques es reducida. El VPN induce una decisión usada en las expectativas actuales sobre una información futura; mientras que la valoración de la opción permite la flexibilidad de tomar decisiones en el futuro, en función de una mayor información. El valor de un proyecto que incorpore decisiones optativas basadas en opciones siempre será mayor que el de aquel que se apoye en decisiones

basadas en el VPN. Éste suele ser el caso cuando el proyecto tiene un VPN tan elevado que sea útil el juego que, eventualmente, ofrezca la flexibilidad; lo mismo ocurre cuando el VPN es muy negativo. Las diferencias mayores se dan cuando el VPN se aproxima cero, es decir, cuando la decisión sobre la realización del proyecto es más incierta. (Copeland, p.477).

A medida que aumenta la variabilidad del activo subyacente, éste se ve reflejado en el aumento del valor de una opción. Como sucede con las opciones financieras, el valor de una opción real depende de cinco parámetros: el valor de mercado del activo subyacente al que está condicionada el valor de la opción, el precio de ejercicio de la opción, el tiempo que resta hasta el vencimiento de la opción; la volatilidad del activo subyacente y el tipo de interés libre de riesgo. (Copeland, p.478).

Los métodos de valoración de opciones son superiores a los enfoques del Flujo de Caja Libre (FCL), al incorporar explícitamente el valor de la flexibilidad. Por lo tanto, creemos que en su momento, estas técnicas de asignación de precios a las opciones acabarían por sustituir a los métodos del FCL tradicionales para las decisiones de inversión, en los casos en que el horizonte futuro se enmarque dentro de un entorno sustancialmente flexible y abierto [Copeland, p.473].

1.1. ANTECEDENTES

A partir del modelo de Black y Scholes (1973) para derivados financieros, con modificaciones de Merton (1973), y contribuciones de Cox, Ross y Rubinstein (1979), fue la base para la valoración de opciones reales [real options]. Posteriormente, Myers (1977, 1987) y Posteriormente Kester (1984) fueron los pioneros en proponer la teoría de opciones para la valoración de cierto tipo de proyectos.

Posteriormente le siguen Brennan y Schwartz (1985), Majd y Pyndick (1985), McDonald y Siegel (1986). Trigeorgis y Mason (1987), Pindyck (1988) y Dixit (1989) son los que plantean que el método del valor presente neto [VPN] es incompleto y en consecuencia falla para la valoración de inversiones en presencia de incertidumbre y flexibilidad empresarial.

En las operaciones de adquisición, fusión, planificación estratégica, análisis de inversiones, salidas a bolsas y procesos de arbitraje, la valoración de empresas es un proceso fundamental y se realiza con base en diferentes metodologías:

Contables, de mercado, flujo de caja libre, y el análisis de riesgo, para tomar decisiones de adquisición o venta; siendo el resultado utilizado como referencia remunerar a los directivos (sistema stock options). Adicionalmente, la valoración permite el impacto de las diferentes políticas de la organización en la creación, transferencia y destrucción del valor.

La valoración de empresas o proyectos de inversión se realiza mediante la aplicación de métodos tradicionales, puesto que se han considerado variables estables para la determinación de éstos; sin embargo, con la evolución en los avances tecnológicos, las diferentes innovaciones y la necesidad de una continua política de investigación y desarrollo, entre otros, han contribuido a que el entorno se torne inestable de manera que los modelos tradicionales no se adaptan fácilmente a esta nueva realidad, lo cual éstos no son considerados en la valoración de empresas mediante flujo de caja.

Es de anotar, que desde la literatura se argumenta que parte del valor de mercado de las empresas no se incluye en el valor contable y de los activos tangibles e intangibles, y las empresas poseen opciones reales que generan valor para la empresa al flexibilizar sus decisiones estratégicas y adicionalmente, algunos autores hablan de mercados no eficientes y burbujas especulativas.

De igual manera, se resalta por parte de los autores las bondades que tiene la metodología de valoración de empresas mediante opciones reales [real options] como complemento de la evaluación financiera [capital budgeting]; igualmente, la valoración de las empresas con opciones reales pretende una modificación importante en la cuantificación de los flujos de caja esperados por las empresas; sin embargo, en el sector real colombiano para valorar las empresas se sigue usando el Flujo de Caja Libre.

Ahora bien, las opciones reales son derechos que las empresas poseen sobre determinados activos y permiten adaptarse al entorno con mayor flexibilidad y soportando menores riesgos. Una opción financiera es un derecho, pero no una obligación de comprar o vender una acción (activo subyacente) a un precio determinado dentro de un tiempo específico. Por su similitud, una opción real concede un derecho, pero no una obligación de llevar a cabo una acción determinada o un costo prefijado, durante un período determinado y la tecnología de valoración de opciones determina el valor teórico de una opción.

En cuanto al proceso de valoración de las empresas, ésta va a depender directamente de las razones que las motivan, las cuales son [BELAUSTEGUI 2002]:

- Tomar decisión sobre liquidación o reorganización de la compañía.
- Si alguno de los socios decide vender su participación.
- Analizar una posible fusión.
- Tener un referente de valor en caso de existir potenciales interesados por la empresa.
- Realizar enajenación parcial de activos.

Según Gómez (2004), el análisis de las opciones reales es fundamental cuando:

- Hay decisiones de inversión contingentes.
- La incertidumbre es extensa y se torna sensible para esperar más información, evitando arrepentirse de inversiones irreversibles o cuando es extensa para tomar la flexibilidad en consideración.
- El valor parece estar capturado en posibilidades para futuras opciones de crecimiento, en vez de actuales flujos de efectivo.
- Haya actualización de proyectos y correcciones de estrategias a medio curso.

Al realizar una inversión se espera asumir el menor riesgo y maximizar las ganancias; sin embargo, la aplicación de las técnicas convencionales de valoración y selección de proyectos, se argumenta que éstas dificultan la innovación, productividad y competitividad de algunas empresas, generando descontento sobre los resultados en la aplicación de éstos (Mascareñas, 1999).

Usualmente se asume que la única fuente de valor son los flujos de caja que se generan directamente de las inversiones, visión que puede despreciar aspectos que pudieran ser estratégicos para la supervivencia de la empresa (Ross, Westerfield y Jordan, 2000).

Para la valoración de proyectos, el método más utilizado es el Valor Presente Neto (VPN), el cual afirma que el proyecto se lleva a cabo si su valor es positivo. Este método presenta algunas dificultades por ser estático y en muchas ocasiones se ignora la posibilidad de flexibilidad, considera sólo valores tangibles, no involucra incertidumbre, no incorpora cambios futuros y no incluye estrategias; lo que influye en que la toma de decisiones no sean las más acertadas.

Según Mascareña (1999), los métodos clásicos de valoración de proyectos son idóneos cuando se trata de evaluar decisiones de inversión que no admiten demora, en estos casos el proyecto puede ser subestimado y rechazarse sin tener presente que éste puede generar valor a mediano o largo plazo.

1.2 FLUJO DE CAJA LIBRE

Es importante tener claro el concepto de flujo de caja de tesorería y flujo de caja libre, debido a que éstos son dos conceptos completamente distintos, por ello es importante definir cada uno de éstos conceptos, como se describe a continuación:

Flujo de Caja Libre: Es una medida financiera que muestra el valor de un proyecto o de una organización y *Flujo de Caja:* Es el saldo disponible para pagar a los accionistas y para cubrir el servicio de la deuda (intereses de la deuda + principal de la deuda) de la empresa, después de descontar las inversiones realizadas en activos fijos y en necesidades operativas de fondos.

Ahora bien, al realizar la valoración de un proyecto de inversión, realizamos una previsión de los flujos de caja que promete generar en el futuro y procedemos a calcular su valor actual, con el objeto de poder comparar, en un momento determinado del tiempo (el actual), el valor global de dichos flujos de caja con respecto al desembolso inicial que implica la realización de dicho proyecto. Uno de los criterios de comparación más comúnmente empleados en las empresas es el valor actual neto (VAN) que además, es el criterio más acorde al objeto general de todo directivo: La maximización del valor de la empresa para el accionista; puede que indique exactamente cuánto aumentará de valor una empresa si realiza el proyecto que se está valorando. Su ecuación general es la siguiente:

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j}$$

[Ec.1]

Donde: El desembolso inicial del proyecto viene representado por A, los diversos flujos de caja esperados por FC_j, el horizonte temporal del proyecto por n, y la tasa de descuento (el costo de oportunidad del capital) apropiada al riesgo del proyecto por k. Este criterio considera efectuable un proyecto de inversión cuando el VAN es positivo, es decir, cuando la totalidad de los flujos de caja esperados descontados a una tasa apropiada al riesgo del proyecto supera al coste de realizarlo. Por el contrario, si el VAN fuese negativo, sería desaconsejable realizar el proyecto.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que cuando se analiza un proyecto de inversión bajo la óptica del criterio de valoración VAN por lo general el analista realiza una serie de supuestos que afectan al resultado obtenido. Los principales son:

- a. Los flujos de caja que el proyecto promete generar pueden reemplazarse por sus valores medios esperados y éstos se pueden tratar como valores conocidos desde el principio del análisis. Este supuesto implica ignorar que la directiva puede alterarlos al adaptar su gestión a las condiciones imperantes en el mercado durante toda la vida del proyecto. Esta flexibilidad operativa aporta valor al proyecto de inversión, valor que el método VAN, por ejemplo, es incapaz de reflejar (véase la tabla 1).
- b. La tasa de descuento es conocida y constante, dependiendo únicamente del riesgo del proyecto. Lo que implica suponer que el riesgo es constante, suposición falsa en la mayoría de los casos, puesto que el riesgo depende de la vida que le quede al proyecto y de la rentabilidad actual del mismo a través del efecto del apalancamiento operativo. Por tanto, la tasa de descuento varía con el tiempo y, por tanto, es incierta.
- c. La necesidad de proyectar los precios esperados a lo largo de todo el horizonte temporal del proyecto es algo imposible o temerario en algunos sectores, porque la gran variabilidad de aquéllos obligaría a esbozar todos los posibles caminos seguidos por los precios al contado a lo largo del horizonte de planificación. Como esto es muy difícil de hacer, de cara a la aplicación del VAN, arbitrariamente se eligen unos pocos de los muchos caminos posibles.
- d. Se supone que los VAN de los proyectos son aditivos, lo que no es del todo cierto porque no pueden valorar la serie de activos intangibles (la flexibilidad operativa y las interacciones entre proyectos, por ejemplo) que llevan incorporados aquéllos.

Es importante señalar que las carencias anteriormente señaladas no lo son del método, que adecuadamente empleado, puede perfectamente evitarlas, sino del uso que habitualmente se hace de dicho método en el día a día.

Las principales limitaciones en el uso del VAN surgen debido a que éste es un método desarrollado inicialmente para la valoración de los bonos sin riesgo, y cuya utilización se extendió también a la valoración de los proyectos de inversión reales (se hace una analogía entre los cupones del bono y los flujos de caja del proyecto). Sin embargo, la analogía apropiada dependerá del tipo de proyecto

analizado, así en el caso de los recursos naturales, en los proyectos de I+D y en otros tipos de proyectos reales las opciones financieras resultan ser una mejor analogía que los bonos.

En todo caso, los métodos clásicos de valoración de proyectos, que son idóneos cuando se trata de evaluar decisiones de inversión que no admiten demora (realizar el proyecto ahora o nunca), infravaloran el proyecto si éste posee una flexibilidad operativa (se puede hacer ahora, o más adelante, o no hacerlo) u oportunidades de crecimiento contingentes. Lo que sucede cuando la directiva puede sacar el máximo partido del riesgo de los flujos de caja. Por tanto, “la posibilidad de retrasar un desembolso inicial irreversible puede afectar profundamente la decisión de invertir. Esto, también, erosiona la sencilla regla del valor actual neto, y desde aquí el fundamento teórico de los típicos modelos de inversión neoclásicos”.

Por tanto, se puede redefinir la regla de decisión del VAN que más se utiliza en un proyecto cuando el valor de una unidad de capital era superior o igual a su coste de adquisición e instalación. Esta regla es incorrecta porque ignora el coste de oportunidad de realizar la inversión ahora, renunciando a la opción de esperar para obtener nueva información. Por tanto, para que un proyecto de inversión sea efectuable el valor actual de los flujos de caja esperados deberá ser superior a su coste de adquisición e instalación, al menos, en una cantidad igual al valor de mantener viva la opción de inversión. [Mascareña, monografía 2007, 2008].

Al considerar las oportunidades de inversión desde el punto de vista de la valoración de opciones, será más fácil que los directivos reconozcan que:

- a) El VAN convencional puede infravalorar determinados proyectos al suprimir el valor de las opciones presentes en los mismos.
- b) Se pueden aceptar proyectos con VAN negativo si el valor de la opción asociada a la flexibilidad futura supera el VAN de los cash-flows esperados en el proyecto.
- c) La magnitud de la infravaloración y la medida en que los directivos podrían invertir justificadamente, más de lo que dictan las reglas convencionales del VAN se pueden cuantificar mediante la teoría de opciones.

1.3. INCONVENIENTES EN LOS MODELOS CLASICOS DE VALORACIÓN

Al utilizar los modelos clásicos para valorar un proyecto de inversión, nos encontramos con los siguientes inconvenientes o dificultades:

- La determinación de la tasa óptima de actualización. Esto es, la rentabilidad mínima exigida o costo de oportunidad del capital.
- No son válidos para comparar inversiones con distintas duraciones y/o distintos capitales invertidos (esto último sólo para el VAN)
- Hipótesis poco realistas en cuanto a la reinversión de los flujos de caja intermedios liberados por los proyectos de inversión.
- En determinados casos la TIR es inconsistente (en los llamados proyectos mixtos).
- La determinación de la vida del proyecto u horizonte temporal
- Estructura de los flujos de caja durante la vida del proyecto.
- Los modelos clásicos de valoración como el VAN y la TIR, tienden a subestimar el valor de una inversión, tienden a subestimar el valor de una inversión porque la rigidez y limitaciones de los flujos de caja descontados, impiden incorporar en la valoración otros aspectos estratégicos fundamentales, como la flexibilidad operativa y otros elementos intangibles.

Los modelos clásicos resultan ineficaces en aquellos proyectos que presentan factores estratégicos imposibles de incluir en la rigidez que ocasiona una estructura de flujos de caja periódicos a lo largo de un horizonte de planificación también fijo. [López Domínguez, 1993]

Los flujos de caja descontados, asumen implícitamente que las empresas mantienen los activos reales pasivamente. Esto ignora las opciones encontradas en activos reales, opciones que los directivos experimentados pueden tomar para sacar partidos de ella. [Brealey y Myers, 1998]

Los flujos de caja descontados no reflejan el valor de la gestión, pues este método de valoración fue desarrollado originalmente para bonos y acciones y, estos inversores, salvo raras excepciones, no pueden hacer nada para mejorar el tipo de interés o los dividendos que reciben. Sin embargo, los inversores con opciones no tienen porqué ser pasivos, tienen derecho a tomar decisiones que pueden ejercerse para aumentar los beneficios o mitigar las pérdidas.

Este derecho tiene un valor, pero las fórmulas necesarias no se parecen en nada a los flujos de caja descontados. Si consideramos a la empresa como un inversor en activos reales, la dirección puede añadir valor a sus activos dando respuesta a las circunstancias cambiantes; esto es, tiene la oportunidad de actuar porque muchas oportunidades de inversión tienen opciones reales o administrativas en sí mismas que pueden ejercerse por parte de la empresa, si las condiciones son favorables, o no ejercerse si dichas condiciones no son las adecuadas.

Para Weston y Copeland (1995), el análisis del VAN tiende a subestimar el valor de un proyecto porque no considera de manera adecuada los beneficios de la

flexibilidad operativa y otros factores estratégicos tales como el seguimiento de las inversiones. Los criterios clásicos, como el VAN y la TIR, que se basan en los flujos de caja descontados, pierden este valor extra porque son intangibles que no pueden valorar. Finalmente, Van Horne (1993) afirma que mientras que un enfoque basado en el descuento de los flujos de caja es apropiado en el momento del inicio, en muchos casos se necesita que las opciones administrativas lo modifiquen.

1.4 OPCIONES REALES - OR

Una opción ofrece a su propietario el derecho, pero no la obligación a realizar una operación determinada durante un período de tiempo prefijado. [Mascareña 2010].

Una “opción” es el derecho para realizar cierta acción a un costo determinado llamado precio de ejercicio, durante un período de tiempo que es la vida de la opción real. Una opción otorga a su tenedor el derecho de hacer algo; es decir, el derecho de comprar o vender un activo.

Se denomina “**opción**” por ser un derecho pero no una obligación de invertir, y “**real**” porque no se trata de invertir en activos financieros, sino en activos para la operación de la empresa.

La mayoría de los proyectos de inversión implican la realización de un desembolso para comprar o realizar un activo; lo que es análogo a ejercer una opción. Las opciones reales son aquella cuyo activo subyacente es un activo real como, por ejemplo, un inmueble, un proyecto de inversión, una empresa, una patente, etcétera. [Hull 2009].

El valor de las opciones se realiza en función de seis variables que son:

1. Valor del activo con riesgo subyacente
2. Precio de ejercicio
3. Tiempo para la expiración de la opción
4. Desviación estándar del activo subyacente
5. Tasa de interés libre de riesgo durante el tiempo en que está vigente la opción
6. Los flujos que se generen del activo subyacente

Las opciones reales se utilizan en situaciones donde la dirección de una compañía tiene flexibilidad en decisiones que afectan a grandes inversiones con un alto grado de incertidumbre.

Las OR utilizan teoría de finanzas, análisis económico, técnicas de dirección, herramienta de ayuda a la toma de decisiones, estadística y modelado, en un entorno dinámico y con incertidumbres, donde existen flexibilidades.

Las OR son un complemento a la valoración por flujos de caja, las cuales al incluir la volatilidad del VPN de los FCL, permiten tener en cuenta la incertidumbre y brindar posibilidades de decisión según el momento del tiempo en el que se presenten las alternativas, sin tener en cuenta que el proyecto ya haya iniciado.

Las OR son importantes en situaciones como las siguientes:

- Identificar diferentes alternativas en la forma de afrontar las inversiones corporativas, en un entorno de incertidumbres sobre el negocio.
- Evaluar cada uno de los caminos posibles en términos de viabilidad financiera.
- Asignar prioridades a esos caminos o proyectos con base a una serie de métricas cualitativas y cuantitativas.
- Elección de la secuencia óptima en las inversiones.
- Realizar las inversiones en los momentos más convenientes, habiendo identificado previamente los criterios desencadenantes de dichas inversiones.
- Determinar nuevas flexibilidades para evaluar futuras oportunidades.

En la toma de decisiones basadas en opciones, la dirección de la compañía tomará las decisiones estratégicas basándose en una mayor información cuando algunas incertidumbres se van resolviendo a medida que pasa el tiempo. El tradicional análisis mediante los flujos de caja descontados asume que las decisiones de inversión son estáticas y que las decisiones estratégicas se toman en un cierto momento inicial, sin que exista la posibilidad de elegir otros caminos u opciones en el futuro.

La valoración de proyectos de inversión a través de la metodología de las opciones reales se basa en que la decisión de invertir puede ser alterada fuertemente por: el grado de irreversibilidad, la incertidumbre asociada y el margen de maniobra del decisor.

La existencia de opciones reales aumenta el valor de un proyecto de inversión, el cual puede determinarse como el valor del proyecto de inversión, el cual puede

determinarse como el valor del proyecto sin la opción, calculado de forma acostumbrada, por ejemplo utilizando el VAN más el valor de la opción.

El valor global de un proyecto de inversión en la actualidad, llamémoslo VAN total (mientras que denominaremos VAN básico al clásico valor actual neto), será igual a:

[Ec.2]

$$\text{VAN Total} = \text{VAN básico} + \text{VA (Opciones reales implícitas)}$$

En concreto, la valoración de las opciones reales es más importante cuando, ver tabla 1 el valor de la flexibilidad operativa:

a) Existe una gran incertidumbre donde el equipo directivo puede responder flexiblemente a la nueva información. Si la incertidumbre fuese pequeña o no existiese (una inversión en bonos sin riesgo, por ejemplo) las opciones reales carecerían de valor puesto que serían inútiles.

b) El valor del proyecto está próximo a su umbral de rentabilidad (si el VAN es muy grande casi con toda seguridad el proyecto se realizará sea cuál sea su flexibilidad; por otro lado, si el VAN es muy negativo el proyecto será desechado sin hacer caso del valor de la flexibilidad). Imagine un proyecto con un VAN próximo a cero pero cuyo valor puede oscilar 300 millones de euros hacia arriba o hacia abajo, una opción de diferir el proyecto tendrá un gran valor porque permitirá esperar a ver por dónde se decanta el VAN en el futuro. [Mascareña 2010].

Tabla 1. Valor de la flexibilidad operativa

		Incertidumbre	
		Probabilidad de recibir nueva información	
		<i>Baja</i>	<i>Alta</i>
Espacio para la flexibilidad operativa	<i>Alta</i>	Valor de la flexibilidad moderado	Valor de la flexibilidad alto
	<i>Baja</i>	Valor de la flexibilidad bajo	Valor de la flexibilidad moderado
Posibilidad para responder			

Fuente: Juan Mascareñas. Opciones reales en los proyectos de inversión 2010 <<en línea>>

Como se observa en la tabla 1. En todos los escenarios, el valor de la flexibilidad es máximo cuando el valor del proyecto sin flexibilidad está próximo al punto de equilibrio.

El valor de la flexibilidad es máximo cuando:

1. Existe gran incertidumbre sobre el futuro. Es muy posible que se reciba información nueva a medida que transcurre el tiempo.
2. Hay margen amplio para la flexibilidad directiva. Permite que la dirección responda de forma adecuada a esta información nueva.
3. El VPN sin flexibilidad es próximo a cero. Si un proyecto no es claramente bueno o malo, es más probable que se recurra a la flexibilidad para cambiar la tendencia y, por tanto, tenga más valor.

En éstas condiciones, la diferencia entre el valor que ofrece el método de valoración de opciones frente a otras herramientas de decisión es sustancial.

La valoración de proyectos de inversión a través de la metodología de las opciones reales se basa en que la decisión de invertir puede ser alterada fuertemente por: el grado de irreversibilidad, la incertidumbre asociada y el margen de maniobra del decisor.

1.5 OPCIONES FINANCIERAS - OF Y OPCIONES REALES -OR

Se denominan opciones financieras a aquellas cuyo activo subyacente es un activo financiero como por ejemplo, una acción, un índice bursátil, una obligación, una divisa, etcétera.

Las opciones reales son aquellas cuyo activo subyacente es un activo real¹ como, por ejemplo, un inmueble, un proyecto de inversión, una empresa, una patente, etcétera.

El valor de ambas opciones es en función de seis variables (ver tabla 2.):

- **Precio del activo subyacente (s):** En la OF indica el precio actual del activo financiero subyacente; mientras que en la OR indica el valor actual del activo real subyacente; es decir, el valor actual de los flujos de caja que se espera genere dicho activo a lo largo de su vida futura. En el caso de la OF lo normal es conocer con certeza el precio del activo financiero subyacente; mientras que en el

¹Stewart Myers fue quien utilizó el término por primera vez (1984).

caso de las OR muchas veces el valor actual del activo real subyacente sólo se conoce de forma aproximada.

- **El precio de ejercicio (X):** En la OF indica el precio al que el propietario de la opción puede ejercerla; es decir, el precio que debe pagar para comprar el activo financiero subyacente (call), o el precio que le pagarán por venderlo (put). En la OR indica el precio a pagar por hacerse con el activo real subyacente; es decir, con sus flujos de caja (por ejemplo, en un proyecto de inversión, será el desembolso inicial); o al precio al que el propietario del activo subyacente tiene derecho a venderlo, si la opción es de venta.

- **El riesgo o volatilidad (σ):** Varianza o desviación típica de los rendimientos del activo subyacente. Indica la volatilidad del activo subyacente cuyo precio medio es S pero que oscilará en el futuro. Desde el punto de vista de las OR la volatilidad nos indica cuán equivocadas pueden estar nuestras estimaciones acerca del valor del activo subyacente. Cuanto más incertidumbre exista a cerca de su valor, mayor será el beneficio que obtendremos de la captación de información, antes de decidimos de realizar o no el proyecto de inversión.

- **El tipo de interés sin riesgo (r_f):** Refleja el valor temporal del dinero

- **Los dividendos (D):** Dinero líquido generado por el activo subyacente durante el tiempo que el propietario de la opción la posee y no la ejerce. Si la opción es de compra, este dinero lo pierde el propietario de la opción (porque si hablamos de una opción de compra de acciones, mientras ésta no se ejerza su propietario no será accionista y por tanto, no tendrá derecho a los dividendos). En el caso de las OR de compra, es el dinero que genera el activo subyacente (o al que se renuncia) mientras el propietario de aquella no la ejerza.

Tabla 2. Opciones Financieras Vs Opciones Reales

OPCIONES DE COMPRA REAL	VARIABLE	OPCIÓN DE COMPRA FINANCIERA
Valor de los activos que se van a adquirir	S	Precio del activo financiero
Desembolsos requeridos para adquirir el activo	X	Precio de ejercicio
Longitud del tiempo que se puede demorar la decisión de inversión	T	Tiempo hasta el vencimiento

OPCIONES DE COMPRA REAL	VARIABLE	OPCIÓN DE COMPRA FINANCIERA
Riesgo del activo operativo subyacente	S^2	Varianza de los rendimientos del activo financiero
Valor temporal del dinero	r_f	Tasa de interés sin riesgo
Flujos de caja a los que se renuncia por no ejercer la opción	D	Dividendos del activo subyacente

Fuente: Monografías Juan Mascareñas 2010. Opciones Reales <<en línea>>

Los métodos utilizados en el análisis de opciones reales es más reducido, y las soluciones son basadas en fórmulas cerradas, las ecuaciones en derivadas parciales y los árboles, sin embargo para la valoración de las OR el método de Simulación Montecarlo ha ido cobrando cada vez más auge. Sin embargo, en las OF, para calcular el valor de una opción, existen diferentes metodologías que van desde el uso de las ecuaciones de Black – Scholes y sus modificaciones, método de simulación basado en Monte Carlo, árboles (binomiales, trinomiales o multinomiales), técnicas numéricas y uso de ecuaciones en derivadas parciales.

1.5.1 Equivalencias entre las Opciones Reales y Financieras. En las opciones financieras, existen múltiples metodologías para calcular el valor de una opción. Van desde el uso de ecuaciones como la de Black-Scholes y sus modificaciones, métodos de simulación basados en el método Monte Carlo, árboles (binomiales, trinomiales o multinomiales), técnicas numéricas, hasta el uso de ecuaciones en derivadas parciales. Sin embargo, en el análisis mediante opciones reales, el número de métodos usados es más reducido. Son las soluciones basadas en fórmulas cerradas, las ecuaciones en derivadas parciales y los árboles. En los últimos años, el método de simulación por Monte Carlo ha ido cobrando cada vez más auge.

En la siguiente tabla vemos la equivalencia de cierto tipo de opción real asimiladas con los cálculos a opciones financieras (de compra o de venta).

Tabla 3. Equivalencia entre opciones reales y financieras

Tipos de opciones Reales	Equivalencia en Opciones Financieras
Abandono	Opción de venta
Definir	Opción de compra
Expansión	Opción de compra
Reducción	Opción de venta

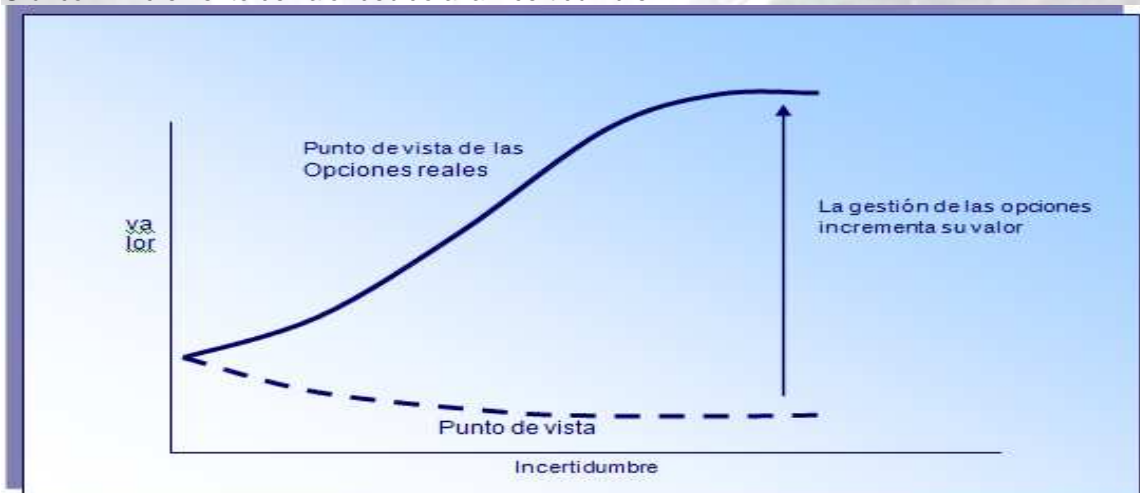
Tipos de opciones Reales	Equivalencia en Opciones Financieras
Abrir o Cerrar (Switching)	Cartera de opciones de compra y venta
Extensión	Opción de compra europea
Incertidumbre Múltiple	Opción "arco iris"
Opciones sobre opciones	Opciones compuestas

Fuente: Mascareña 1999

Obtenida la fórmula de Black Scholes en los años 70, se inicia la aplicación de la teoría de opciones a los derivados financieros y esto permitió que posteriormente se aplicara estas teorías a los activos reales y a los proyectos de inversión.

En el gráfico 1, se observa el comportamiento desde el punto de vista de las OR y el punto de vista tradicional, el cual se evidencia que la valoración con OR incrementa el valor, puesto que la incertidumbre crea oportunidades.

Gráfico 1. Incremento de valor debido a la incertidumbre



Fuente: Fernández 2002.

En este sentido, una valoración con opciones reales como complemento y no como sustituto a la valoración mediante flujo de caja, se convierte en una herramienta clave que permite dar mayores elementos de negociación o actividades de transacción de empresas o proyectos, bien sea en las que intervenga el sector público o el sector privado, puesto que los métodos basados en OR son más adecuados para la evaluación de empresas y proyectos, dada su flexibilidad e inclusión de elementos intangibles y las limitaciones que presentan los métodos tradicionales de valoración de inversiones y la dificultad para adaptarse a entornos cambiantes.

1.6 UTILIZACION DE LAS OPCIONES REALES

La utilización de ésta metodología ha aportado mayor comprensión en la formulación y articulación de las decisiones sobre la conveniencia o no de acometer un proyecto de inversión. Una de sus utilidades consiste en que a la hora de realizar un análisis ayuda a mantenerse alerta sobre si éste representa una respuesta exacta a un problema simplificado o aproximado, o una respuesta aproximada a un problema exacto. Algunas de ellas pueden ser:

1.6.1 Simplificación de proyectos complejos. La mayoría de proyectos de inversión productivos son complejos, puesto que muchos de ellos incorporan una combinación de activos y opciones en los que los directivos se enfrentan a una serie de decisiones secuenciales.

La mayoría de los problemas con opciones reales pueden ser descompuestos en una o varias opciones de compra simple. Una guía útil al simplificar consiste en buscar la incertidumbre más importante sobre la que los gerentes toman su decisión. En muchos casos, la resolución de una pequeña serie de incertidumbres determinará el resultado y podremos tomar alguna decisión sin conocer el proyecto en su totalidad.

Otro enfoque consiste en construir simplificaciones de tal forma que el proyecto resultante pueda valorarse y sea dominante o dominado en relación al proyecto real. Si el proyecto simplificado es dominado (vale menos) por el real lo podemos utilizar como un límite inferior del valor del proyecto. Si, por el contrario, fuese dominante (vale más) lo utilizamos como límite superior de aquél. En algunos casos es posible construir y calcular ambos tipos de límites.

1.6.2 Estimación de la volatilidad. Hay tres posibles formas de estimar la volatilidad del rendimiento del activo subyacente de la opción implícita en el proyecto de inversión:

1° *Adivinar:* El coeficiente de volatilidad (beta) y el riesgo total (σ) están positivamente correlacionados en una gran muestra de activos operativos, es decir, aquellos que tengan grandes *betas* tendrán un mayor riesgo total. Los proyectos individuales suelen tener mayores volatilidades que una cartera diversificada de los mismos proyectos, pero obsérvese que una volatilidad del 20-30 por 100 anual no es demasiado alta para un proyecto individual.

2° *Utilizar datos históricos:* En algunos sectores la volatilidad puede estimarse a través de los datos históricos de los rendimientos de las inversiones. En otros casos, además, las volatilidades implícitas pueden calcularse a través de los precios de mercado de las opciones sobre acciones. Aunque es necesario realizar algún tipo de ajuste porque, por ejemplo, los rendimientos de las acciones están apalancados y son más volátiles que los rendimientos de las acciones están apalancados y son más volátiles que los rendimientos de los activos empresariales subyacentes.

3° *Simular:* A través de la simulación Montecarlo y de las proyecciones sobre escenarios futuros en una hoja de cálculo se pueden extraer distribuciones de probabilidad de los rendimientos proyectados.

1.6.3 Comprobar los modelos y las distribuciones. Las distribuciones de los rendimientos de los activos subyacentes en el caso de las opciones reales no siempre siguen una distribución de tipo log normal tal y como exige el modelo de valoración de Black-Scholes. Una aproximación a este problema es estudiar el sesgo que tiene la distribución simplificada con relación a la distribución real e interpretar el resultado como un límite, superior o inferior, del valor actual del proyecto. Otro camino consiste en aplicar un modelo de valoración apropiado a dicha distribución real, aunque este tipo de modelos suele ser muy complejo y de poca utilidad en el campo de las opciones reales.

1.6.4 Interpretaciones de los resultados. La simplificación es esencial si se quiere realizar un análisis que resulte de alguna utilidad. Por otra parte, alguna sofisticación es importante a la hora de interpretar los resultados lo que implica la realización de algún análisis de sensibilidad y la calificación de las inferencias. Así, por ejemplo, cuando tenemos que valorar un proyecto complicado lo simplificamos a través de las cinco variables clásicas.

2. TIPOS DE OPCIONES REALES

Las opciones reales son un método que sirve para valorar proyectos de inversión, y permiten añadir valor, partiendo de que éstos pueden asemejarse a las opciones financieras (call y put). Hay dos tipos básicos de opciones: *Opción de compra* y *opción de ventas* y éstas pueden ser americanas o europeas, distinción que no tiene que ver con su ubicación geográfica. [Hull2009].

Las diferencia entre la opción americanas y europeas, consiste en que la opción americana puede ejercerse en cualquier momento durante la vida del contrato, mientras que la opción europea sólo puede ejercerse al vencimiento. La posibilidad de ejercer el derecho a la opción en cualquier momento, hace que las opciones americanas sean más valiosas que las europeas. Sin embargo, esto hace que las opciones americanas sean más difíciles de valorar.

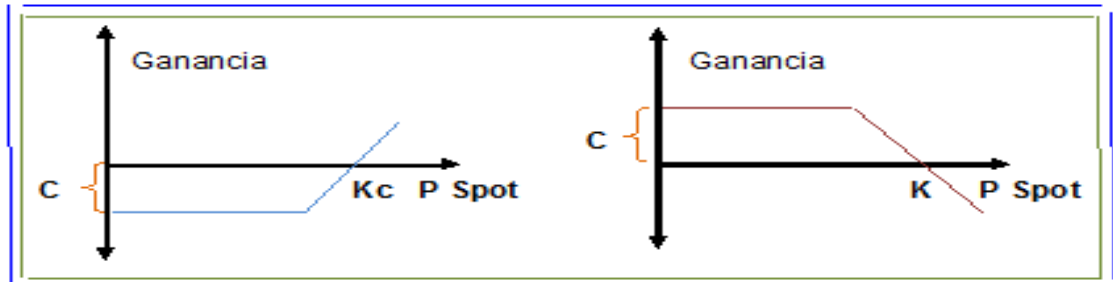
Como se describió en el capítulo 1 referente a los métodos tradicionales, a diferencia de las valoraciones mediante éstos métodos, lo normal es que dependiendo de lo que realmente ocurra en el futuro, haya que modificar el proyecto: La capacitación de la planta, el precio de venta del producto, las cantidades producidas, la maquinaria, el tipo de proceso productivo, la maquinaria e instalaciones, etc. A este tipo de oportunidades se les denomina opciones reales o administrativas.

- **Opción call:** otorga a su tenedor el derecho a comprar un activo subyacente a determinado precio en una fecha futura específica $t = T$ y a un precio de ejercicio K_c . La función de ganancia para el comprador de una opción call es:

[Ec.3] Ganancia Call: $\text{Max} [S_t - K_c - C; 0]$

El gráfico 2, muestra las funciones de ganancia para el comprador y vendedor de una Opción Call en función del precio spot.

Gráfico 2. Función de ganancia de una opción Call



Fuente: Hull, Mercados de futuros y opciones.

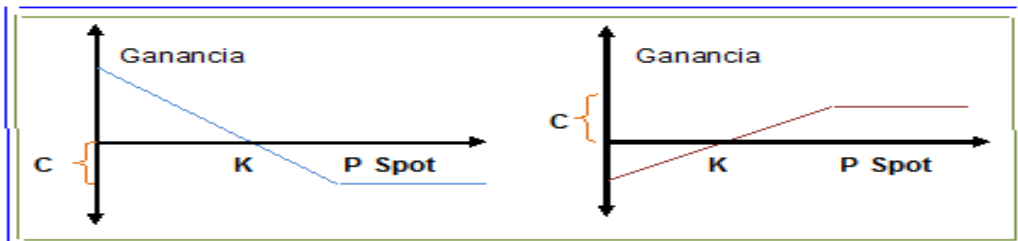
El comprador de una Call obtiene una ganancia cuando el precio del activo subyacente sube, ya que le es más conveniente ejercer la opción que compra en el mercado spot. El vendedor de una call obtiene una ganancia igual a la prima recibida, siempre y cuando la opción no sea ejercida. Es importante destacar que el comprador de una call tiene una pérdida acotada por el valor de la prima (c) mientras que las ganancias no tienen cota superior. Para el vendedor de una call la situación es a la inversa: las ganancias están acotadas por c mientras que las pérdidas no.

- **Opción put:** otorga al poseedor de ésta el derecho a vender el activo subyacente en una fecha futura $t=T$ y a un precio de ejercicio K_p . La función de ganancia para el comprador de una opción put es:

[Ec.4] Ganancia Put: $\text{Max} [K_p - S_t - P; 0]$

El gráfico 3, muestra las funciones de ganancia para el comprador y vendedor de una opción put en función del precio spot.

Gráfico 3. Función de ganancia de una opción Put



Fuente: John C. Hull, Mercados de futuros y opciones.

El comprador de una put obtiene ganancias cuando el precio del activo subyacente baja, ya que le es más conveniente ejercer la opción y vender a precio K para vender en el mercado spot. El vendedor de una put obtiene una ganancia igual a la prima recibida, siempre que la opción no sea ejercida. Es importante destacar que el comprador de una put, a diferencia del comprador de una call, tiene una ganancia acotada por el precio de ejercicio K_p mientras que las pérdidas están acotadas por el valor de la prima.

- **Opciones Europeas y Americanas**

Una opción Europea es aquella que sólo puede ser ejercida en la fecha de expiración de la opción ($t=T$). Una opción Americana puede ser ejercida en cualquier momento anterior a la fecha de expiración. La flexibilidad asociada a la capacidad de ejercer una opción en cualquier instante otorga un valor adicional a ésta en comparación a la opción Europea.

- **Opciones construidas a partir de otras opciones**

Las opciones put y call son conocidas como “opciones simples”. A partir de combinaciones de dos o más de este tipo de opciones pueden constituirse opciones con diversas funciones de ganancia. Algunas de las estrategias más utilizadas son [Hull97]:

- a) Spread

Involucra tomar una posición en dos o más opciones de un mismo tipo. Una estrategia *Bull Spread* se constituye comprando una call con precio de ejercicio K_1 y vendiendo otra call con precio de ejercicio $K_2 > K_1$. Esta estrategia otorga ganancias al subir el precio del activo subyacente y limita las ganancias y pérdidas del poseedor de la opción. Debido a que la opción comprada tiene menor precio de ejercicio que la opción vendida, esta estrategia requiere un pago inicial ($C_1 - C_2$) para implementarla. Esta estrategia es útil cuando el inversionista espera que los precios suban.

Una estrategia *bear spread* se constituye de manera idéntica a la anterior pero con la condición que $K_2 < K_1$. Esta estrategia otorga ganancias al subir el precio del activo subyacente y limita las ganancias y pérdidas del poseedor de la opción. A diferencia del caso anterior, esta estrategia no requiere de un pago inicial para ser

implementada y es de utilidad cuando se espera que los precios del commodity bajen.

Una estrategia *butterfly spread* se realiza comprando dos opciones call con precio de ejercicio K_1 y K_3 y vendiendo dos opciones a precio K_2 ($K_1 < K_2 < K_3$). Este tipo de estrategia genera ganancias cuando el precio del activo subyacente se mantiene dentro del rango de K_1 - K_3 y es utilizada por inversionistas que esperan que el precio se mantenga estable dentro del rango.

b) Combinaciones

Son estrategias que involucran tomar posición con calls y puts a la vez.

Una estrategia *Straddle* involucra comprar simultáneamente una call y una put con igual precio de ejercicio. Esta estrategia limita la pérdida por variaciones en el precio y genera ganancias cuando el precio difiere del precio de ejercicio de la opción. Es utilizada por inversionistas que prevén el precio variará pero desconocen en qué dirección.

Una estrategia *Strangle* considera la compra de una call y una put con $K_c > K_p$. Esta estrategia limita las pérdidas y genera utilidades siempre y cuando el precio presente alzas o bajas bruscas.

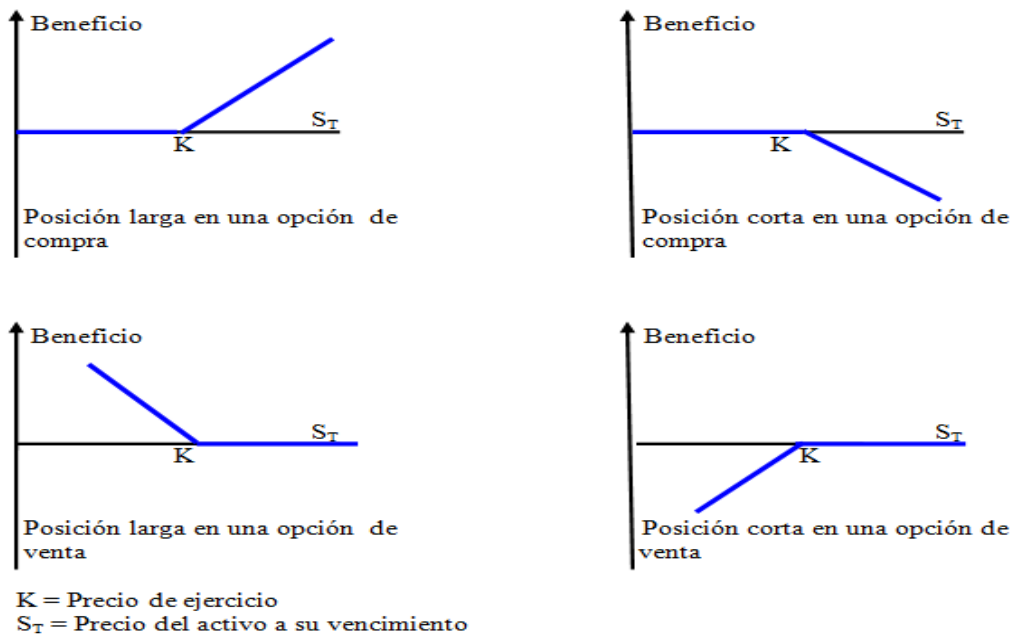
Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, una opción real es el derecho, pero no la obligación que tiene un agente económico para tomar una acción determinada respecto a un proyecto de inversión a un determinado costo, en un determinado periodo.

Las opciones reales han sido aplicadas con éxito a las inversiones en activos con riesgo, petróleo, gas natural, carbón, oro, cobre, plata y en aeronáutica. Para Weston y Copeland, su inconveniente es que no ha sido más ampliamente utilizada, porque generalmente no se conoce el precio y el comportamiento estocástico del activo subyacente con riesgo. Para estos mismos autores, las opciones sobre activos reales son una de las áreas de investigación más interesantes en el campo de las finanzas corporativas, puesto que permiten a los administradores colocar valores numéricos a la flexibilidad de sus decisiones futuras.

Es posible distinguir múltiples tipos de opciones reales que han sido descritas y estudiadas en la literatura [Trigeorgis (1999), Boer (2002), Brach (2003), Mun (2006)], como se describen a continuación:

Hay cuatro tipos de posiciones de opciones, como se observa en el gráfico 4.

Gráfico 4. Tipos de posiciones de opciones.



Fuente: John C. Hull, Mercados de futuros y opciones.

2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS OPCIONES REALES

Según Van Horne, a mayor número de opciones e incertidumbre en su uso, mayor será el segundo término de la ecuación y por tanto mayor, el valor de la inversión. A veces estas, estas opciones se consideran informalmente como factores cualitativos al juzgar el valor de un proyecto. Las opciones administrativas incluyen entre otras, las de expansión, abandono y posposición. La consideración de estas diversas opciones puede provocar que una decisión de rechazo de un proyecto de inversión se convierta en una decisión de aceptación, y que ésta a su vez, se convierta en una decisión de posponer.

Al analizar las opciones administrativas se usan a menudo, los árboles de decisión como vínculo con la naturaleza secuencial del problema.

Es importante resaltar que las opciones reales que se dan en la práctica son mucho más complejas y difíciles de modelizar. A continuación se describen diferentes opciones reales que comúnmente se pueden encontrar:

2.1.1 Opción de Diferir, prorrogar o posponer. Existe un valor de 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 realización durante un plazo determinado.

La opción de diferir, es similar a una opción de compra americana sobre el valor actualizado de los flujos de caja esperados del proyecto (VA) y cuyo precio es ejercido es A_1 .

La creación de valor un instante antes de expirar su derecho es igual a:

$$[Ec.5] \quad E_1 = \text{Máx} [VA_1 - A_1; 0]$$

Si quisiéramos conocer el valor de la opción de diferir el proyecto, se debe restar su propio VAN básico, con lo que obtendríamos un valor de la opción de diferimiento del proyecto así:

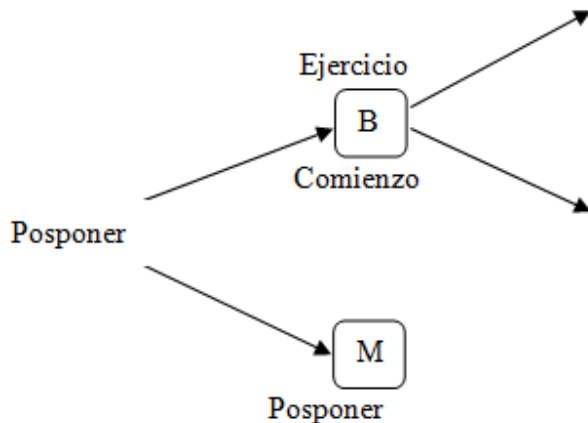
$$[Ec.6] \quad \text{Opción de diferir} = \text{VAN total} + \text{VAN básico}$$

En los modelos clásicos de valoración se consideran las inversiones como si se trataran de decisiones de aceptación o rechazo o de ahora o nunca (las dos únicas alternativas), pero hay una tercera posibilidad, pues existen proyectos para los cuales es mejor *esperar*. *Es decir*, no se debe aceptar la realización del proyecto de manera inmediata. Si espera, se tendrá nueva y más información sobre el mercado. Un ejemplo, ya utilizado de este tipo de opción real es el de la explotación minera. El precio de ejercicio es el costo de extracción. Si los precios son bajos, cabe la posibilidad de posponer la extracción hasta que suba.

La opción para diferir o posponer el desembolso de una inversión y por tanto, poder esperar para obtener nueva información es una opción real formalmente equivalente a una opción de compra americana sobre dicho proyecto de inversión. Dado a que la opción de inversión, sujeta a prórroga proporciona a la

administración de la empresa el derecho, pero no la obligación de hacer una inversión para explotarla, un proyecto que puede ser diferido vale más que el mismo proyecto sin la posibilidad de prórroga. El gráfico 5., describe esta opción administrativa.

Gráfico 5. Opción de diferir, prorrogar o pospones



Fuente: García Machado

Diferir es más atractivo cuando la incertidumbre es muy grande o los flujos de caja inmediatos, que se pierden o posponen por la espera, son pequeños.

2.1.2 Opción de Discontinuar. Durante el período de construcción de una obra puede revelarse nueva información que genere óptimamente un estancamiento de la misma y por lo tanto proporciona el derecho pero no la obligación a discontinuar la construcción. En extremo puede resultar óptimo abandonar la obra (Option to Abandon).

2.1.3 Opción de Expansión, Ampliación o Crecimiento. Un proyecto puede, durante su ejecución, mostrar potencial para ser expandido (Option to Expand) más allá de la inversión original o para ser reducido. Consiste en la opción de ampliar la producción o la escala operativa de un proyecto si las condiciones son favorables, o disminuirla si son desfavorables, es una opción real equivalente a una opción de compra americana. Entre las opciones de expansión se encuentran la posibilidad de elegir el tamaño o dimensión y la de realizar inversiones continuadas.

Si los precios, o otras condiciones del mercado, resultan ser mucho más favorables que lo inicialmente esperado, la dirección podría acelerar sus planes de

expansión, incurriendo en un costo adicional (A_E). Esto es lo mismo que adquirir una opción de compra sobre una parte adicional del proyecto base con un precio de ejercicio igual a A_E .

Por lo tanto la oportunidad de inversión con la opción de ampliación incorporada puede ser contemplada como un proyecto de inversión inicial o base (VA) más una opción de compra sobre una inversión futura:

$$[Ec.7] \quad E_1 = VA_1 + \text{Máx} [xVA_1 - A_E; 0]$$

La opción de ampliar la escala productiva puede ser estratégicamente importante de cara a posibilitar a la compañía la capitalización de las futuras oportunidades de crecimiento. Esta opción, que sólo será ejercida cuando el comportamiento futuro del mercado se vuelva claramente favorable, puede hacer que un proyecto de inversión aparentemente desaconsejable (basado en el VAN básico) tenga un valor positivo.

El valor total del proyecto (E_0), opción de ampliación incluida, será igual a:

$$[Ec.8] \quad E_0 = [pE_1 + (1 - p) E_1] / (1 + r_f)$$

Un claro ejemplo de este tipo de opciones es el proceso de inversión por etapas seguido por los fondos de inversión en capital – riesgo. Así, de cara a reducir su riesgo, dichos fondos van invirtiendo dinero en la empresa paso a paso, con la condición de que la etapa previa haya proporcionado un resultado aceptable; de esta manera van ejerciendo las diversas opciones de ampliación de su inversión. En caso contrario, si el resultado fuese desfavorable, siempre puede ejercer la opción de abandonar el proyecto. En conclusión, la inversión por etapas les permite obtener las opciones de crecimiento y de abandono y de decidir cuál ejercen según sea la información que vayan recogiendo a lo largo del horizonte de planificación. [Mascareña 1999].

Las opciones de expansión recogen la posibilidad de incluir dentro de un proyecto de inversión, oportunidades de inversión adicionales y discrecionales ligadas a ese momento a la vida del proyecto. Estas oportunidades incluirán, entre otras:

- Aumentar la capacidad, introducir nuevos productos o adquirir otras empresas.

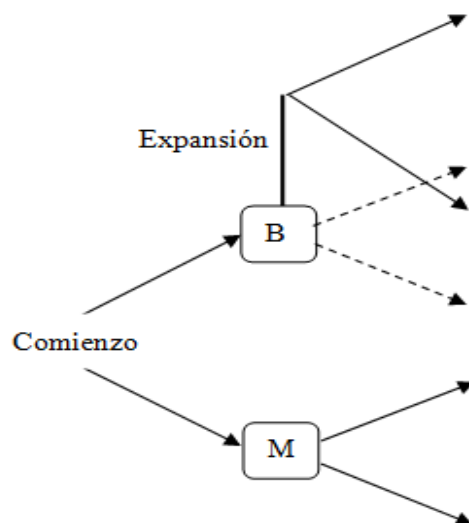
- Incrementar los presupuestos en publicidad, investigación y programas de desarrollo comercial.

La ventaja clave de la perspectiva de las *opciones de crecimiento*, es que integra el presupuesto de fondo para inversiones con la planificación estratégica a largo plazo. Dado que las decisiones de inversión de hoy pueden crear la base para las decisiones de inversión de mañana, las decisiones de fondos realizadas en un año cualquiera son pasos vitales para el logro final de los objetivos estratégicos.

La opción de ampliar la producción o la escala operativa de un proyecto si las condiciones son favorables, o disminuirla si son desfavorables, es una opción administrativa formalmente equivalente a una opción de compra americana. Debido a que la opción de expansión proporciona la posibilidad de realizar inversiones adicionales de seguimiento, como por ejemplo aumentar la producción o realizar inversiones continuadas, si las condiciones son favorables. Un proyecto que puede ampliarse vale más que el mismo proyecto sin esa posibilidad.

La opción de expansión es difícil de evaluar en la práctica dada su complejidad. Por ejemplo, si se decide ejercerla ahora, puede que nos encontremos con un exceso de capacidad, por lo que sería mejor ampliar más adelante, pero esto trae consigo el diferimiento del logro de dicha capacidad, sin la cual no podríamos atender un aumento de la demanda y dejaríamos de obtener sus correspondientes flujos de caja. El gráfico 6, describe gráficamente este tipo de opción.

Gráfico 6. Opción de expansión, ampliación o crecimiento



Fuente: García Machado

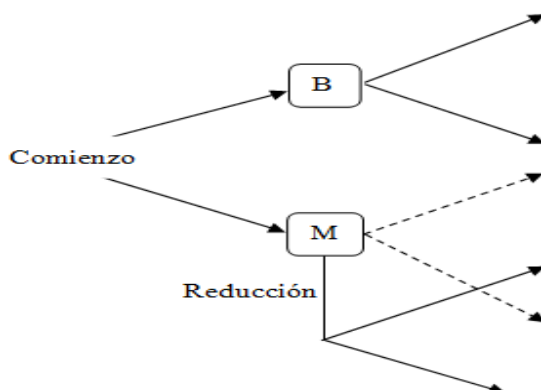
2.1.4 Opción de Suspender, Cerrar y Reabrir Operaciones. Corresponde al caso en que un proyecto siempre puede, a algún nivel de costo y demanda, operar en forma discontinuada dependiendo de las condiciones de mercado.

Cuando las empresas tienen la posibilidad de parar temporalmente sus actividades productivas si los ingresos obtenidos no son suficientes para cubrir los costos variables de operación. Posteriormente puede volver a comenzar cuando la situación sea más favorable. Cerrar o parar actividades también implica unos costos, como los de reiniciar la empresa.

2.1.5 Opción de Cambiar Los Factores o Insumos Productivos. Corresponde al caso en que una firma es capaz de reaccionar frente a particulares condiciones del mercado cambiando la composición de sus insumos o sus productos finales.

2.1.6 Opción de Reducir o Contraer. La opción para reducir la escala operativa de un proyecto, es otra opción administrativa, formalmente equivalente a una opción de venta americana. Dado que la opción de reducción proporciona a la administración el derecho, pero no la obligación de reducir el tamaño de las operaciones si las condiciones resultan desfavorables, un proyecto que puede ser reducido vale más que el mismo proyecto sin esa posibilidad. Por ejemplo una compañía petrolera puede decidir cerrar en el futuro algunos de sus pozos si los precios no son favorables. Muchos proyectos como el de este ejemplo, se pueden realizar por módulos, de tal forma que se pueda reducir la producción o el tamaño en el futuro, si las condiciones no son las adecuadas. La reducción o disminución del tamaño del proyecto equivale al ejercicio de la opción de venta. El gráfico 7., describe esta opción administrativa.

Gráfico 7. Opción de reducir o contraer



Fuente: García Machado

Se utiliza cuando las condiciones son negativas, en este caso la empresa puede tomar la decisión de operar con un tamaño menor al existente, es decir, con menos capacidad productiva. Esta decisión le permitiría a la empresa reducir o ahorrar parte de sus costos. Esta opción puede compararse con una opción de venta sobre parte de un proyecto inicialmente previsto, cuyo precio de ejercicio son los potenciales costos ahorrados.

Si las condiciones del mercado resultasen ser peores que las esperadas, la compañía podría operar con menor capacidad productiva e, incluso, podría optar por reducirla en c por 100, lo que le permitiría ahorrar parte de los desembolsos inicialmente previstos (A_r). Esta flexibilidad para reducir las pérdidas se puede contemplar como una opción de venta sobre parte (un c por 100) del proyecto inicialmente previsto, con un precio de ejercicio igual al ahorro de los costos potenciales (A_r), y que viene proporcionado por:

$$[\text{Ec.9}] \quad \text{Máx } [A_r - c VA_1; 0]$$

Este tipo de opciones puede resultar muy útil en el caso de la introducción de nuevos productos en mercados inciertos, o en el caso de tener que elegir entre tecnologías o plantas industriales con diferentes relaciones construcción – mantenimiento en cuanto a costos.

El valor del proyecto, opción de reducción incluida, es igual a:

$$[\text{Ec.10}] \quad E_0 = [pE_1 + (1-p) E_1] / (1+r_f)$$

Cuando la empresa se enfrenta a un futuro poco prometedor en el desarrollo de un proyecto puede considerar la posibilidad de reducir los gastos de mismo si se sacrifica una cantidad menor de ingresos.

2.1.7 Opción de Abandonar o Cerrar definitivamente (ó vender). Cuando el proyecto no se justifica económicamente por no ser rentable, la empresa procede a suspender sus pérdidas y ejercerá la opción de abandonar el proyecto; por tanto, la directiva no tendrá que seguir incurriendo en costos fijos, si no se vislumbra una mejora del precio o existen otras causas que aconsejen el abandono definitivo del proyecto.

La directiva tiene una opción para abandonar el proyecto a cambio de su valor residual (éste puede ser su valor de liquidación, la venta de la compañía, etc.). Dicha opción de venta sobre el valor actual del proyecto (VA) es de tipo americano, cuyo precio de ejercicio es el valor residual o el de la mejor alternativa positiva (VR) y capacita a la directiva a recibir:

$$[\text{Ec.11}] \quad VA + \text{Máx} [VR - VA; 0] = \text{Máx} VA; VR]$$

El valor del proyecto, opción de abandono incluida, será:

$$[\text{Ec.12}] \quad E_0 = [pE_1 + (1 - p) E_1] / (1+r_f)$$

y por tanto, el valor de la opción de abandonar totalmente la producción es igual a:

$$[\text{Ec.13}] \quad \text{Opción de cerrar} = \text{Valor total} - \text{VAN básico}$$

Siguiendo a De Miguel Hidalgo, el valor total de un proyecto debe considerar su valor de abandono, el cual, generalmente, no se conoce en el momento de su evaluación inicial, sino que depende de su evolución en el futuro. Existen dos importantes aspectos a considerar en el análisis del valor de abandono (Gómez, 2004):

- La necesidad de tenerlo en cuenta, de alguna forma, en la decisión de inversión.
- La determinación del momento o intervalo de tiempo en el que dicho valor de abandono alcanza su máximo valor.

La posibilidad de liquidar el proyecto en cualquier momento por un valor de venta superior a lo que se esperaría obtener si se continúa con su explotación, el valor de esa mayor flexibilidad puede contratarse tratándola como si fuera una opción de venta.

La razón económica del abandono es la misma que la de la inversión. Se debe desinvertir cuando el proyecto no se justifica económicamente. Siguiendo a De Miguel Hidalgo, el valor total del proyecto debe considerar su valor de abandono, el cual generalmente no se conoce en el momento de su evaluación inicial, sino que depende de su evolución en el futuro.

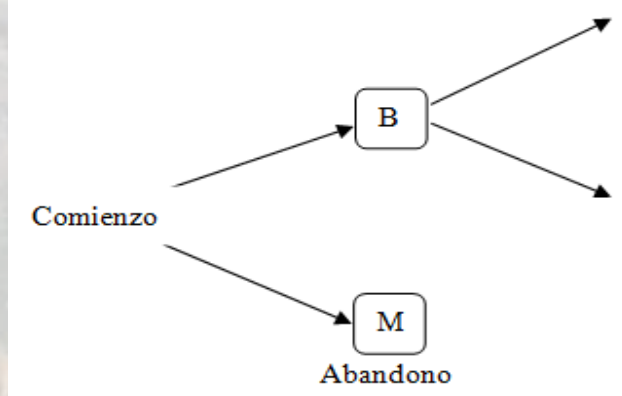
El valor total del proyecto sería sus propios flujos de caja más el valor de la opción de venta. Cuando el valor presente del proyecto disminuye por debajo del valor de liquidación, el acto de abandonar o de vender el proyecto es equivalente al ejercicio de la opción de venta, toda vez que el valor de liquidación del proyecto fija un límite inferior al valor de éste y el ejercicio de la opción es conveniente.

En general, un proyecto debería ser abandonado cuando:

1. Su valor de abandono exceda el valor presente de los flujos de caja futuros
2. Sea mejor abandonarlo ahora que después (momento óptimo de abandono).

El valor total del proyecto sería sus propios flujos de caja más el valor de la opción de venta. Cuando el valor presente del proyecto disminuye por debajo del valor de liquidación, el acto de *abandonar* o *vender* el proyecto es equivalente al ejercicio de la opción de venta. El gráfico 8., describe gráficamente esta opción administrativa.

Gráfico 8. Opción de abandonar o cerrar definitivamente



Fuente: García Machado

La opción de abandono, es una opción americana cuyo ejercicio será generalmente óptimo, y el momento del ejercicio anticipado debe determinarse conjuntamente con el valor de abandono.

El valor de la opción de abandono es importante en relación con el control continuado de los proyectos, una vez que han sido emprendidos. La decisión de continuar o vender (abandonar) en algún momento futuro de la vida del proyecto (momento óptimo de abandono) depende de la situación en que se encuentre en cada período. Dicho momento óptimo no es conocido cuando se emprende el

proyecto, sino que dependerá de su última evolución. Hay veces que es más ventajoso abandonar un proyecto que seguir con él (aún cuando su VAN siga siendo positivo).

La regla tradicional de la decisión de abandono consiste en que un proyecto debería ser abandonado en el primer año en el cual el valor de abandono sea superior al valor presente de los restantes flujos de caja generados por las operaciones de tipo continuo (Weston y Copeland). Sin embargo, se ha hecho evidente que esta regla de decisión puede no dar como resultado una decisión óptima y el abandono en una fecha posterior podría conducir a un VAN aún mayor. Por lo anterior, la regla óptima de abandono, consiste en determinar la combinación de flujos de caja por operaciones restantes y valor futuro de abandono que tenga un mayor VAN esperado. Sin embargo, esta regla es difícil de implantar, especialmente cuando la vida del proyecto es larga y existen numerosas oportunidades futuras de abandono.

2.1.8 Opción de Esperar o Cerrar Temporalmente. En ciertos tipos de industrias o proyectos, existe la posibilidad de detener temporalmente la totalidad del proceso productivo cuando los ingresos obtenidos son insuficientes para hacer frente a los costos variables operativos (ejemplo, los de mantenimiento) y de volver a producir cuando la situación se haya invertido.

Por tanto, podemos contemplar las operaciones anuales como opciones de compra de los ingresos de ese año (C) y cuyo precio de ejercicio viene dado por los costos variables operativos (A_v). El valor de dichas opciones se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$[\text{Ec.14}] \quad \text{Máx } [C - A_v; 0]$$

El valor del proyecto, opción de cierre temporal incluida, es igual a:

$$[\text{Ec.15}] \quad E_0 = [pE_1 + (1 - p) E_1] / (1 + r_f)$$

La empresa puede esperar un determinado tiempo a que algunas condiciones del mercado (especialmente el precio del producto), cambien de manera que se justifique emprender el proyecto de inversión. Equivale a poseer una opción de compra sobre un determinado proyecto.

Estas Opciones Reales permiten a los agentes agregar valor al proyecto, las ganancias o mitigando las pérdidas. En algunos casos, estas opciones se

encuentran “encajonadas” en el sentido que el valor de una opción está dado por la adquisición de otra opción. Este es un caso típico de investigación y desarrollo, donde cada etapa de investigación abre nuevas posibilidades de extensión de los estudios y de uso comercial de los resultados finales [Pries, Astebro y Obeidi (2001), Rogers et al (2002), Chen (2006)].

Referente al valor de las opciones financieras, una característica importante es que éstas incrementan su valor en escenarios de mayor incertidumbre, la existencia de opciones permite truncar los escenarios muy negativos, mientras que los escenarios en extremo positivos pueden ser materializados. Esto puede ser extendido al caso de opciones reales cuando estas puedan ser implementadas y llevadas a la práctica, ya sea internalizadas al interior de la gerencia (pública y/o privada) o a través de contratos con agentes externos que completen mercados.

Una particularidad conveniente del punto de vista del análisis de opciones, es que un proyecto puede ser valorado a través de su VAN estándar más la suma del valor de todas las opciones reales de que dispone. Ello facilita enormemente la valoración privada en ambientes de incertidumbre. Se ha argumentado que dicho método también debiera ser extendido a la evaluación social de los proyectos de inversión pública (particularmente los relacionados con infraestructura), y en los cuales el gobierno en la etapa de implementación de dichos proyectos pueda escribir en contratos de largo plazo las opciones reales, y de esta forma completar mercados en el sentido de Arrow-Debreu.

Un campo ideal para la aplicación concreta de opciones reales lo constituyen las asociaciones pública - privadas, que pueden ser definidos como contratos de largo plazo entre el sector público y el sector privado para el desarrollo de infraestructura pública y servicios relacionados [Yescombe (2007)].

2.1.9 Opción de Aprendizaje. Las opciones de aprendizaje surgen cuando una empresa puede acelerar la obtención de información relevante a través de la realización de una inversión. La empresa debe contraponer el valor de la opción para actuar con la información obtenida contra el costo de adquirir ésta última.

Surge cuando una empresa se encuentra ante la posibilidad de invertir dinero con el objeto de acelerar la adquisición de conocimiento o información (reducir el desfase tecnológico en I+D o averiguar la cantidad de mineral disponible en una explotación) y utilizar lo que ha aprendido con objeto de calcular mejor la demanda de su producto y, por tanto, rectificar o confirmar sus expectativas acerca de los flujos de caja previstos.

Si el valor actual de los flujos de caja está próximo al umbral de rentabilidad, la espera proporciona a la directiva la oportunidad de reaccionar ante las futuras variaciones de los precios. Sin embargo, el desarrollo parcial de la explotación proporcionará una información valiosa sobre el tamaño del yacimiento, lo que reduce la incertidumbre sobre su volumen, mientras preserva la posibilidad de que el equipo directivo ajuste los flujos de caja esperados. Por tanto, el desarrollo parcial representa una opción de aprendizaje que se encuentra en conflicto con la opción de diferir, porque la empresa no puede acometer ambas.

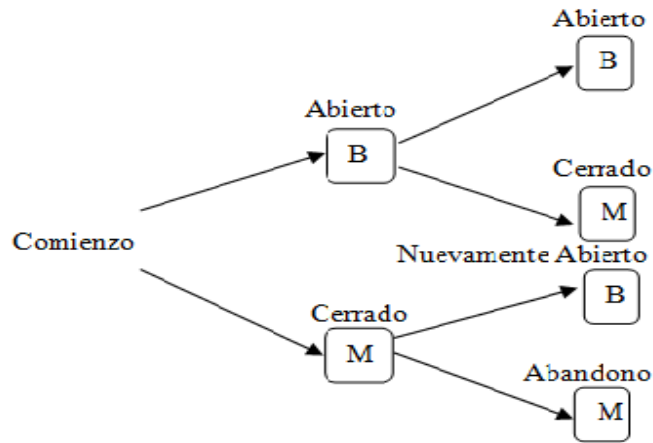
2.1.10 Opción Compuesta. Son aquellas que cuando son ejercidas generan otra opción al mismo tiempo que un flujo de caja. En general implican inversiones secuenciales o por etapas. Esto es, la realización de la primera inversión da a la empresa la posibilidad, pero no la obligación de realizar una segunda inversión que a su vez, posibilita realizar una tercera, etc.

Las inversiones secuenciales proporcionan a los directivos la posibilidad de abandonar o ampliar los proyectos a lo largo de su vida.

2.1.11 Opciones de Intercambio. Esta es una de las clases administrativa más generales que pueden encontrarse. La opción para intercambiar las operaciones de un proyecto es, como dicen Weston y Copeland, una cartera de opciones que tanto en una opción de compra como de venta. Reiniciar las operaciones cuando previamente se han cancelado es equivalente a una opción de compra americana. Existen muchos ejemplos de este tipo de opciones reales, como la producción de pedidos, minería, etc.

Un proyecto en el que las operaciones puedan ser reiniciadas o detenidas (o intercambiadas entre dos localizaciones diferentes, por ejemplo) vale más que el mismo proyecto sin esa posibilidad. Un sistema de producción flexible que pudiese utilizar los mismos activos para fabricar dos productos diferentes, en función de la estación (verano e invierno) o de la moda, sería otro ejemplo de este tipo de opción. El gráfica 9., describe gráficamente esta opción administrativa.

Gráfico 9. Opción de intercambio



Fuente: García Machado

La ventaja de valorar las opciones de intercambio radica en que proporciona indicios sobre las fechas en las que económicamente es más conveniente reabrir y cerrar las actividades. En determinadas ocasiones puede ocurrir que una vez reiniciadas las operaciones, sea más conveniente seguir adelante que detenerlas (aunque el precio de venta supere al precio de costo del producto), debido a un costo de reapertura mayor. Es decir, el costo de cierre o de apertura (precio de ejercicio) establecen los límites a tener en cuenta para la adopción de una decisión óptima. Esto es, no reabrir hasta que los precios no superen un mínimo, o no cerrar hasta que los precios no bajen un máximo.

2.1.12 Opciones Estratégicas. En ocasiones, las empresas implementan nuevos proyectos de inversión sólo para explorar y evaluar futuras y potenciales estrategias de negocios. Este tipo de proyectos son difíciles de analizar con los modelos basados en los flujos de caja descontados, ya que la mayor parte de los beneficios se reciben en forma de opciones para acciones futuras relacionadas con el negocio.

Los proyectos que crean este tipo de opciones quizás sean muy valiosos, pero resulta difícil medir dicho valor. El ejemplo típico son los proyectos de inversión de I+D, muy importantes y valiosos para muchas empresas porque crean opciones para nuevos productos y procesos de fabricación.

Otro ejemplo característico es el de los programas piloto. En este caso, el programa piloto es una opción valiosa para la dirección. La empresa no está obligada a tener un programa piloto, pero es posible que el nuevo producto o

proceso no sea exitoso y en este caso, el gasto de la operación piloto podría haber ayudado a la empresa a evitar un costoso fracaso.

Las diferentes opciones pueden verse de manera resumida en la tabla 5, en la que además se muestra que especialistas los han analizado.

Tabla 4. Diferentes Opción Reales y especialistas que las han analizado

CATEGORÍA	DESCRIPCION	IMPORTANTE EN	ANALIZADO POR
Opción para diferir	La gerencia mantiene un alquiler o una opción de compra sobre un terreno, o recurso valioso. Puede esperar (x años) para ver si los precios de los outputs justifican la construcción de un edificio, instalaciones o el desarrollo del terreno.	Todas las industrias extractivas de recursos naturales, inmobiliarias, granjas, papelería, etc	Tourinho (1979): <<The Option Value of Reserves of Natural Resources>>. Working Paper. University of California - Berkeley. Tirman (1985): <<Urban Land Prices under uncertainty>> American Economic Review, 75,3 (Jun). Pp. 505 - 514. McDonald & Smit (1988): <<Option Valuation of Claims con on Physical Asset: The Case of Offshore Petroleum Leases>>, Quarterly Journal of Economics 103.3 (Ago) Pp 479 -508>>.
Tiempo para crear la opción (Inversión por etapas)	La inversión en etapas, a través de una serie de desembolsos, crea la opción de abandonar el proyecto a mitad de camino si la nueva información fuese desfavorable. Cada etapa puede ser contemplada como una opción sobre el valor de las etapas posteriores y valorada como una opción compuesta.	Proyectos de I+D, especialmente farmacéuticos; proyectos que impliquen grandes desembolsos durante mucho tiempo; construcción a gran escala, plantas generadoras de energía, capital - riesgo al iniciar un negocio, etc.	Majd & Pindyck (1987): <<Time to Build, Option Value, and Investment Decisions>>, Journal of Financial Economics 18 (Mar.) Pp. 7-27. Cart (1988): <<The Valuation of Sequential Exchange Opportunities>>, Journal of Finance 43,5 (Dic) Pp 1235-1256. Trigeorgis (1993): real options and interactions with Financial Flexibility>>, Financial Management 22,3 (otoño) Pp. 202-224
Opción para alterar la escala de las operaciones (p.e. expandir, reducir)	Si las condiciones del mercado son más favorables que las esperadas, la empresa podrá expandir la escala de producción o acelerar la utilización de los recursos. Si no ocurriese así, se podrá reducir la escala de las operaciones y en casos extremos se podrán detener totalmente y reiniciarlas cuando convenga.	Industrias de recursos naturales como las mineras, planificación y construcción de productos en sectores cíclicos, moda, bienes de consumo, inmobiliarias, etc.	Brennan & Schwartz (1985): <<Evaluating Natural Resource Investments>>, Journal of Business 58, 2 (Abril) Pp. 135-157. McDonald & Siegel (1985): <<Investment and the Valuation of Firms When There is an Option to Shut Down>>, international Economic Review 26,2 (Jun). Pp. 331-349. Trigeorgis & Mason (1987): <<Valuing Managerial Flexibility>>, Midland Corporate Finance Journal 5,1 (Primavera) Pp. 14-21. Pindyck (1988): <<Irreversible Investment, Capacity Choice, and the Value of the Firm>>, American Economic Review 78,5 (Dic), Pp. 969-985.
Opción de abandono	Si las condiciones del mercado descienden fuertemente, la gerencia puede abandonar las operaciones actuales permanentemente y proceder a liquidar los activos de la empresa en el mercado de segunda mano.	Industrias de capital intensivo: aerolíneas y ferrocarriles; introducción de nuevos productos en mercados inciertos.	Myers & Majd (1990): <<Abandonment Value and project Life>> Advances in Futures and Options Research 4. Pp. 1-21.
Opción de cambio (p.e., outputs o inputs)	Si los precios o la demanda varían, la gerencia puede cambiar combinación de los outputs ofertados (flexibilidad de la producción). Alternativamente los mismos outputs pueden fabricarse utilizando diferentes tipos de inputs (flexibilidad del proceso)	<u>Cambios en los outputs:</u> Bienes con una demanda muy volátil, p.e: electrónica de consumo, juguetes, componentes de maquinaria, autos... <u>Cambios en los inputs:</u> Productos que dependen fuertemente del suministro de materias primas, p.e.: petróleo, energía eléctrica, química, agrícolas...	Margrabe (1978): <<The Value of an Option to Exchange One Asset for Another>>. Journal of Finance, 33, 1 (Mar.) Pp. 349-360. Kensinger (1987): <<Adding the Value of Active Management into the Capital Budgeting Equation>>. Midland Corporate Finance Journal 5,1 (primavera). Pp. 31-42. Kulatilaka (1988): <<Valuing the Flexibility of Flexible Manufacturing Systems>>, IEEE T Transactions in Engineering Management, 35, 4 Pp. 250-257. Kulatilaka & Trigeorgis (1994): <<The General Flexibility to Swicht: Real Options Revisited>>, International Journal of Finance 6,2 (primavera).
Opciones de crecimiento	Una inversión temprana (p.e., I+D, arrendamiento sobre terreno desarrollado o reservas petrolíferas, adquisición estratégica, redes/infraestructura de información) es un prerequisite o enlace en una cadena de proyectos interrelacionados, que posibilitan futuras oportunidades de crecimiento (p.e., procesos o productos de nueva generación, acceso a nuevos mercados, fortalecimiento de capacidades internas). Como opciones compuestas dentro del proyecto global.	Industrias basadas en infraestructura o estratégicas, especialmente de alta tecnología, I+D, o industrias con múltiples generaciones o aplicaciones de productos (p.e.: informática, farmacéutica...); Operaciones multinacionales; Adquisiciones estratégicas.	Myers (1977): <<Determinants of Corporate Borrowing >>. Journal of Financial Economics, 5,2 (Nov). Pp. 147-175. Brealey & Myers (1991): Principales of Corporate Finance. McGraw Hill. Nueva York. Kester (1984): <<Today's Options for Tomorrow's Growth>>, Harvard Business Review, 62,2 (Mar), Pp.153-160. Kester (1993): <<Turning Growth Option into Real Assets>> en AGGARWAL: Capital Budgeting under Uncertainty. Prentice Hall Englewood Cliffs. Pp 187-207. Trigeorgis (1988): <<A Conceptual Options framework for Capital Budgeting>>. Advances in Futures and Options Research, 3 Pp. 145-167. Pindyck (1988): <<Irreversible Investment, Capacity Choice, and the Value of the Firm>>. American Economic Review, 78,5 (Dic) Pp.969-985. Chung & Charoenwong (1991): <<Investment options, Assets in Place, and the Risk of Stocks>>, Financial Management, 20,2 (Otoño). Pp 21-33
opciones múltiples con interacciones	En la vida real los proyectos implican a menudo un compendio de varias opciones, que favoreciendo el crecimiento en caso de ascenso (call) y protegiendo en caso de descenso (put), se presentan conjuntamente. Su valor combinado puede diferir de la suma de las opciones individuales (porque interactúan entre sí). Pueden también interactuar con opciones de flexibilidad financiera.	Los proyectos de la mayoría de las industrias comentados anteriormente.	Trigeorgis (1993): <<Real Options and interactions with Financial Flexibility>>, Financial Management, 22,3 (Otoño). Pp. 202-224. Brennan & Schwartz (1985): <<Evaluating Natural Resource Investments>>, Journal of Business, 58,2 (Abril). Pp. 135-157. Kulatilaka & Trigeorgis (1994): <<The General Flexibility to Swicht: Real Options Revisited>>, international Journal of Finance, 6,2 (primavera).

Fuente: Mascareñas y otros, Innovación financiera. Aplicaciones para la gestión empresarial.

3. GESTION DE LAS OPCIONES REALES

El mayor flujo de caja producido por las opciones reales proviene de la flexibilidad asociada a la propia opción porque permite aumentar su valor una vez adquirida.

Los directivos a través de la gestión de las opciones reales pueden aumentar su valor antes de ejercerlas, haciendo que su valor sea mayor que el precio pagado por ellas, de igual manera puede gestionar el valor de sus opciones reales a través de influir sobre las variables básicas que influyen en su valor de la siguiente forma: [Mascareña 1999]

- Aumentando el valor actual de los cobros futuros esperados. Se consigue aumentando los ingresos, ya sea a través de aumentar el precio de los productos o servicios, aumentar el nivel de producción, generando oportunidades de negocio secuenciales (Opciones compuestas).
- Reduciendo el valor actual de los pagos futuros esperados. Hay dos formas: *aumentando las economías de escala* (el costo unitario desciende conforme aumenta el nivel de la producción) o *aumentando las economías de alcance* (utilizando los mismos costos para realizar dos cosas diferentes).
- Aumentando la incertidumbre de los flujos de caja esperados. Por ejemplo las empresas extractoras de gas en el mar del Norte han creado valor construyendo posiciones competitivas tempranas y utilizando sus licencias de explotación rápidamente. Sin embargo, algunas empresas han perseguido una estrategia basada en las opciones. Han animado la competencia en determinadas áreas geológicas y han pospuesto sus inversiones hasta que la competencia les ha obligado a ello. Esta estrategia aumenta la incertidumbre proporcionando dos beneficios: 1°. Estas compañías esperarán para obtener nueva información que les permita acometer sus inversiones en el momento óptimo; 2°. Se aseguran los mejores precios de sus clientes cuando éstos se ponen nerviosos debido a la incertidumbre asociada con el suministro de gas.
- Aumentando la vida de la opción. Las empresas pueden renegociar sus licencias de explotación, negociar el aumento del período de suministro exclusivo de materias primas por parte de los proveedores, bloquear los canales de distribución para un producto, etc.

- Reduciendo el costo de oportunidad de no ejercer la opción. El valor perdido a causa de la acción de la competencia puede reducirse desaconsejándoles el ejercicio de su opción a través de bloquear a los consumidores clave o realizando acciones de lobby con los reguladores.

Las variables a utilizar son problemas de restricciones externas e internas sobre las operaciones de la empresa. Estas pueden ser técnicas, o referirse al marketing, negociación, etc. También se verán afectadas por los factores específicos del proyecto de inversión tales como el retraso entre el desembolso inicial incremental y los flujos de caja o la individualidad del proyecto (esto es, restricciones sobre la inversión incremental). Por ello podemos clasificar las opciones en tres categorías: [Mascareña 1999]

1. *Opciones con prioridad alta.* En las que el valor de la opción es altamente sensible con respecto a las variables sobre las que la directiva puede actuar con facilidad.
2. *Opciones con prioridad media.* En las que el valor de la opción es sensible a las variables sobre las que puede actuar, al menos, un competidor, pero no su propietario. El equipo directivo puede proceder a vender la opción a su propietario natural, salvo que existan otras consideraciones en contrario.
3. *Opciones con prioridad baja.* En las que el valor de opción es insensible a la posible actuación que tanto su propietario como la competencia puedan hacer sobre cualquiera de las variables básicas. Esto sucede por la imposibilidad real de actuar sobre las variables (aunque en <<pura teoría>>, si ello fuese posible, aumentase el valor de la opción). Muchas opciones caen en esta categoría.

Es de resaltar que el mayor beneficio de contemplar los proyectos de inversión bajo la óptica de las opciones reales es la forma de enfocar dicho análisis, que es totalmente distinta a la utilizada en el método del VAN.

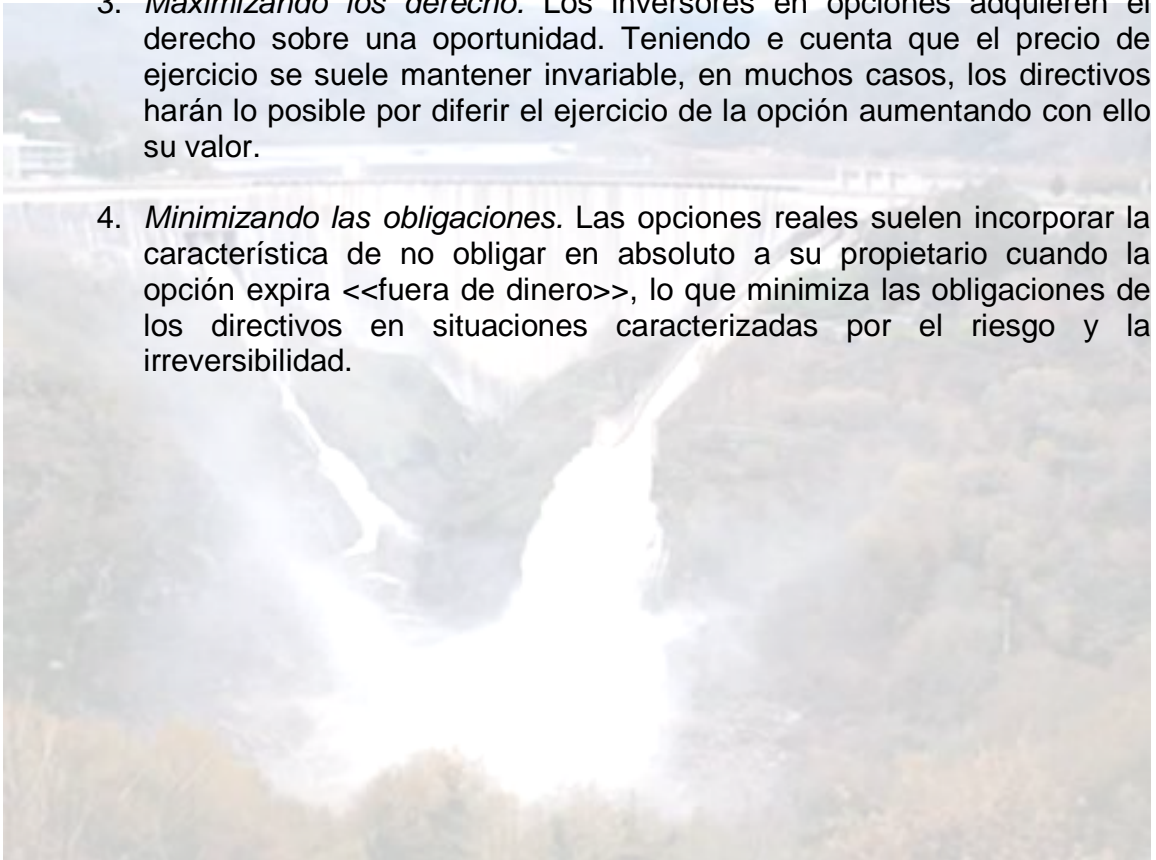
Las estrategias basadas en las opciones reales se distinguen de los sistemas tradicionales en su tratamiento de riesgo. El cambio de perspectiva desde <<miedo al riesgo/minimización de la inversión>> da lugar a un amplio rango de posibles acciones, siendo crucial la utilidad de las opciones reales como instrumento estratégico más que como modelo de valoración.

Hay cuatro formas en las que la aplicación del análisis de las opciones reales a cada posibilidad de inversión mejora las estrategias de una empresa.

1. *Resaltando las oportunidades.* Este tipo de análisis llama la atención sobre el oportunismo estratégico. Fuerza a los directivos a comparar

cada oportunidad disponible. De tal manera que el sesgo objetivo hacia la inversión incremental en proyectos ya existentes (con poco riesgo por ser ya conocidos) viene corregida por el sesgo hacia el riesgo impuesto por el análisis de las opciones.

2. *Aumentando el apalancamiento.* La estrategia de las opciones reales impulsa un apalancamiento estratégico al animar a los directivos a explotar situaciones donde inversión incremental puede mantener su compañía en juego.
3. *Maximizando los derechos.* Los inversores en opciones adquieren el derecho sobre una oportunidad. Teniendo en cuenta que el precio de ejercicio se suele mantener invariable, en muchos casos, los directivos harán lo posible por diferir el ejercicio de la opción aumentando con ello su valor.
4. *Minimizando las obligaciones.* Las opciones reales suelen incorporar la característica de no obligar en absoluto a su propietario cuando la opción expira <<fuera de dinero>>, lo que minimiza las obligaciones de los directivos en situaciones caracterizadas por el riesgo y la irreversibilidad.



4. PRINCIPALES MÉTODOS NUMÉRICOS PARA OPCIONES REALES.

A pesar de disponer de la ecuación de Black-Scholes (1973) y Merton (1973), la mayor parte de los problemas sobre derivados financieros no tienen solución analítica. Los problemas de valoración de opciones reales, que normalmente son más complejos que los problemas sobre derivados financieros, se resuelven frecuentemente por métodos numéricos.

La determinación de soluciones analíticas cuando se trata de ecuaciones en derivadas parciales es una tarea complicada y no siempre existe solución. De hecho, sólo un pequeño porcentaje de estas ecuaciones la tienen.

Algunas técnicas numéricas que se han desarrollado y utilizado durante los últimos años son:

4.1 MODELO BLACK – SCHOLES.

A principios de la década de 1970, Fischer Black, Myron Scholes y Robert Merton lograron un adelanto importante en la evaluación de las opciones sobre acciones, el cual consistió en el desarrollo de lo que se conoce como modelo Black-Scholes-Merton. Este modelo ha influido enormemente en la manera en que los negociantes valúan y cubren las opciones; también ha sido fundamental para el crecimiento y éxito de la ingeniería financiera en los últimos 30 años.

En 1997 se reconoció la importancia del modelo cuando Myron Scholes y Robert Merton recibieron el premio Nobel de Economía; Fischer Black había fallecido en 1995, e indudablemente también había sido galardonado con este premio. [Hull 2009].

Es el modelo más antiguo y a la vez el más utilizado, desde esa fecha ha habido muchos aportes a este modelo como por ejemplo, en 1973 Robert Merton lanzó la idea de la no existencia de dividendos. En 1976, Jonathan Ingerson añadió la suposición de que no había impuestos ni costos de transacción. En 1978, Merton introdujo la posibilidad de que la tasa de interés no fuese constante y en 1977 hubo una contribución importante, publicada por Richard Roll.

El modelo Black – Scholes aplica cuando la distribución de los precios es normal y se asume explícitamente que el proceso de precio es continuo y no existen brincos en los valores del activo” (GONZÁLEZ, 2006, p. 22).

Los supuestos del modelo son:

- El subyacente no paga dividendos durante la vida de la opción
- Se considera que la opción es de tipo europeo
- Mercado eficiente
- No existen comisiones por ejercer la opción de compra o venta
- La tasa de interés permanece constante y conocida
- La distribución del valor del subyacente es logarítmico-normal

En este modelo, el valor teórico de una opción de compra se determina por la siguiente fórmula (Black y Scholes, 1973):

[Ec 16]

$$P = Ke^{-rdT} N(-d_z) - SN(-d_i)$$

Donde:

$$d_i = \frac{\ln(S/K) + (rd - re + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_z = d_i - \sigma\sqrt{T}.$$

Definiendo:

- C es el valor de una opción de compra
- P es el valor de una opción de venta
- S es la tasa a la vista de la moneda que constituye el objeto de la opción.
- K es el precio marcado en la opción (Strike price).
- T es el tiempo expresado en años que aún faltan por transcurrir en la opción.
- rd es la tasa de interés doméstica.
- re es la tasa de interés extranjera.
- σ Es la desviación Standard de los cambios proporcionales en las tasas de cambio.
- N es la función de distribución acumulativa de la distribución normal.
- N (di) y N (dz) son los valores de las probabilidades de los valores de di y dz tomadas de las tablas de la distribución normal.

4.2 MÉTODOS NUMÉRICOS

Existen diferentes métodos numéricos, los cuales se pueden dividir en tres grupos principales como se relacionan a continuación:

4.2.1 Método de Monte Carlo o Simulación Monte Carlo. Este método fue creado por matemático polaco Stanislaw Ulam, en 1946. La simulación de Monte Carlo fue creada para resolver integrales usaron números aleatorios, al no poder resolverse por métodos analíticos. Posteriormente se utilizó para cualquier esquema que emplee números aleatorios, usando variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas, el cual es usado para resolver ciertos problemas estocásticos y determinísticos, donde el tiempo no juega un papel importante.

Anteriormente se asumía que la simulación por monte Carlo no podía tratar opciones americanas que se pueden ejercitar en cualquier momento. El primer trabajo de aplicación de Monte Carlo a la evaluación de opciones americanas fue publicado por Tilley (1993).

Posteriormente otros autores han perfeccionado el método como por ejemplo Barraquand y Martineau en 1995, Broadie y Glasserman en 1995, Grandt, Vora y Weeks en 1997, Longstaff y Schwartz en 1998, entre otros.

Frente a una función aleatoria $y=y(x)$ (con x como variable con características probabilísticas conocidas) se trata de estimar valores estadísticos para y . La complejidad de la función $y(x)$ se sustenta la búsqueda de esta simulación. El método más conocido para este requerimiento es Monte Carlo. Este método muestra las posibilidades externas, los resultados de tomar la medida más arriesgada, la más conservadora, así como todas las posibles consecuencias de las decisiones intermedias. Permite ver los resultados posibles de las decisiones que tomamos y evaluar el impacto del riesgo, para contribuir a la mejor toma de decisiones en condiciones de incertidumbre.

La simulación Monte Carlo es una técnica matemática computarizada que permite tener en cuenta el riesgo en análisis cuantitativos y tomas de decisiones. Este método consiste en realizar una simulación utilizando números aleatorios, para determinar el comportamiento futuro de una variable aleatoria, y ofrece a la persona responsable de tomar decisiones, una serie de posibles resultados, así como la probabilidad de que se produzcan según las medidas tomadas.

El método es una forma flexible para modelar y combinar las distintas incertidumbres. Aborda la resolución de un problema simulando directamente el proceso físico, y no es necesario escribir las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del sistema. Este método es muy general, y se utiliza a menudo en otras áreas de conocimiento como física, química, etc.

La simulación Monte Carlo produce distribuciones de valores de resultados posibles, y realiza el análisis de riesgo con la creación de modelos de posibles resultados, mediante la sustitución de un rango de valores, una distribución de probabilidad para calcular factor con incertidumbre inherente. Posteriormente calcula los resultados varias veces y cada vez usa un grupo diferente de valores aleatorios de las funciones de probabilidad. Dependiendo del número de incertidumbres y los rangos especificados, para completar una simulación Monte Carlo puede ser necesario realizar miles y miles de recálculos y proporciona una visión más completa de lo que puede suceder y la probabilidad de que suceda.

La simulación Monte Carlo proporciona:

- *Resultados probabilísticos:* Muestra no solo lo que puede suceder, sino la probabilidad que es un resultado.
- *Resultados Gráficos:* Con los datos que genera la simulación Montecarlo, se pueden crear gráficos de diferentes resultados y las posibilidades que sucedan, facilitando mostrar a otras personas interesadas los resultados obtenidos.
- *Análisis de sensibilidad:* Muestra que variables introducidas tienen mayor influencia sobre los resultados finales.
- *Análisis de escenario:* Permite a los analistas ver exactamente los valores que tienen cada variable cuando se producen ciertos resultados, generando mayor elementos para profundizar en el análisis.
- *Correlación de variables de entrada:* Es posible modelar relaciones interdependientes entre diferentes variables de entrada, lo cual permite averiguar con precisión la razón real por la que cuando algunos factores suben otros suben o bajan paralelamente.

Los Árboles binomiales pueden combinarse con la Simulación Montecarlo para valorar derivados financieros, y consiste en construir el árbol y crear caminos aleatorios a lo largo de dicho árbol. En lugar de ir de atrás hacia adelante del final del árbol, trabajamos al contrario a lo largo de este. Se generan números aleatorios entre 0 y 1, si el número está entre 0 y p se toma la rama superior, de lo contrario se toma la rama inferior. Se repite el procedimiento hasta el final del árbol. Luego se calcula el beneficio bruto de la opción por un determinado camino del árbol. Se realiza el proceso varias veces repitiendo el mismo procedimiento.

Por último se estima el valor de la opción con a media aritmética de los diferentes valores obtenidos del beneficio bruto de la opción, descontados el tipo de interés libre de riesgo (HULL, 2002, p. 420).

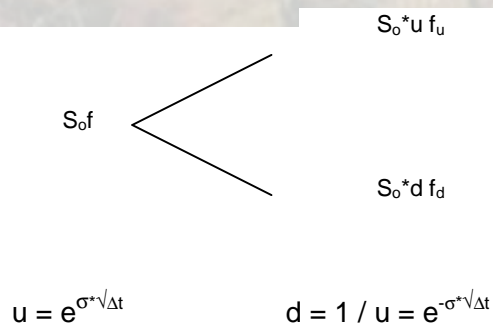
4.2.2 Árboles: Binomiales, Trinomiales y Multinomiales. Cox, Ross y Rubinstein desarrollaron este método de valoración de opciones. Estos métodos se basan en trabajar con un modelo discreto en el tiempo a partir de otro modelo continuo en el tiempo. Esto puede llegar a ser muy complicado, dependiendo de la evolución del proceso y del número de variables generadoras de incertidumbre.

Es un modelo discreto que considera que la evolución del precio del activo subyacente varía según el proceso binomial multiplicativo; es decir, sólo puede tomar dos valores posibles, uno al alza y otro a la baja, con probabilidades asociadas p y $1 - p$. De esta forma, al extender esta distribución de probabilidades a lo largo de un número determinado de períodos se consigue determinar el valor teórico de una opción (Cox, Ross y Rubinstein, 1979). Este modelo puede ser: Modelo binomial para un sólo periodo y modelo binomial multiperíodos.

En este modelo se muestra las diferentes trayectorias que puede seguir el precio del activo durante su la vida de la opción. Está basado en una formulación simple para el proceso de precio del activo, en el cual el activo, en cualquier período de tiempo, puede moverse de uno a dos precios posibles (GONZÁLEZ, 2006, p. 20). Se supone que no hay posibilidades de arbitraje para un inversor (HULL, 2002, p. 247).

Los árboles binomiales pueden ser de uno o n periodos. Para un periodo tenemos (HULL, 2002, p. 249):

Gráfico 10. Árbol binomial de un período



Fuente: John C. Hull

Donde: S_0 precio actual del activo
 f precio de la opción
 σ volatilidad del activo

Para una Opción de Compra: $f_u = \text{Max}(S_0 * u - X; 0)$ y $f_d = \text{Max}(S_0 * d - X; 0)$
 Para una Opción de Venta: $f_u = \text{Max}(X - S_0 * u; 0)$ y $f_d = \text{Max}(X - S_0 * d; 0)$

(GONZÁLEZ, 2006, p. 20). Donde f_u es el precio de la opción dado que la el precio de la acción suba y f_d es el precio de la opción dado que la acción baje.

$$f = e^{-rt} [p f_u + (1 - p) f_d]$$

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

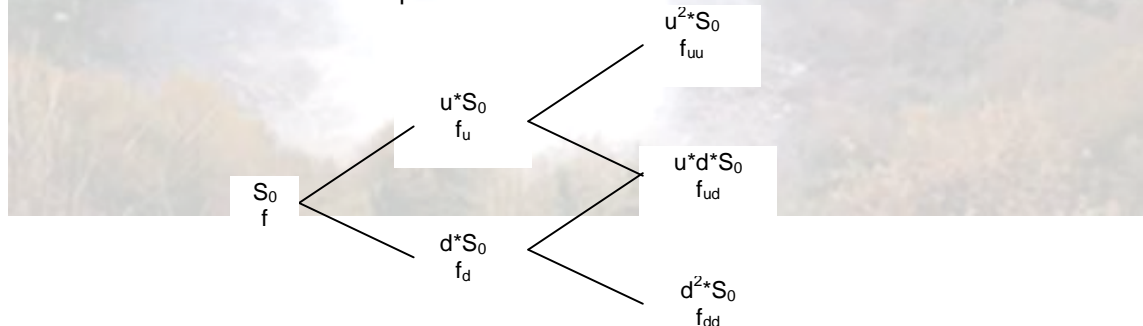
r : tasa libre de riesgo

p : probabilidad que el precio de la acción suba

Estas ecuaciones permiten valorar opciones con árboles binomiales de un periodo (HULL, 2002, p. 250).

Cuando se asume volatilidad discreta, $u = (1 + \sigma * \Delta t^{1/2})$ y $d = (1 - \sigma * \Delta t^{1/2})$. Si la volatilidad tiene un componente continuo, $u = e^{\sigma * \sqrt{\Delta t}}$ mientras que $d = 1 / u = e^{-\sigma * \sqrt{\Delta t}}$. Lo anterior es posible, porque se parte de un mundo neutral al riesgo, en el cual la rentabilidad esperada del activo subyacente es la tasa libre de riesgo (r) en caso de no pagar dividendo o de $r - \delta$ en caso de que pague dividendo, donde δ es el dividendo continuo que paga el activo (GONZÁLEZ, 2006, p. 20). Para árboles binomiales para varios periodos se valora en cada nodo con la misma ecuación de valoración de árboles de un solo paso.

Gráfico 11. Árbol binomial de dos periodos



Fuente: John C. Hull

Los problemas relacionados con el activo subyacente son afrontados cada vez en mayor medida, mediante simulación de Monte Carlo del Valor Presente del Proyecto. La simulación Monte Carlo es una técnica que implica la selección aleatoria de un resultado para cada variable de interés. Mediante la combinación de

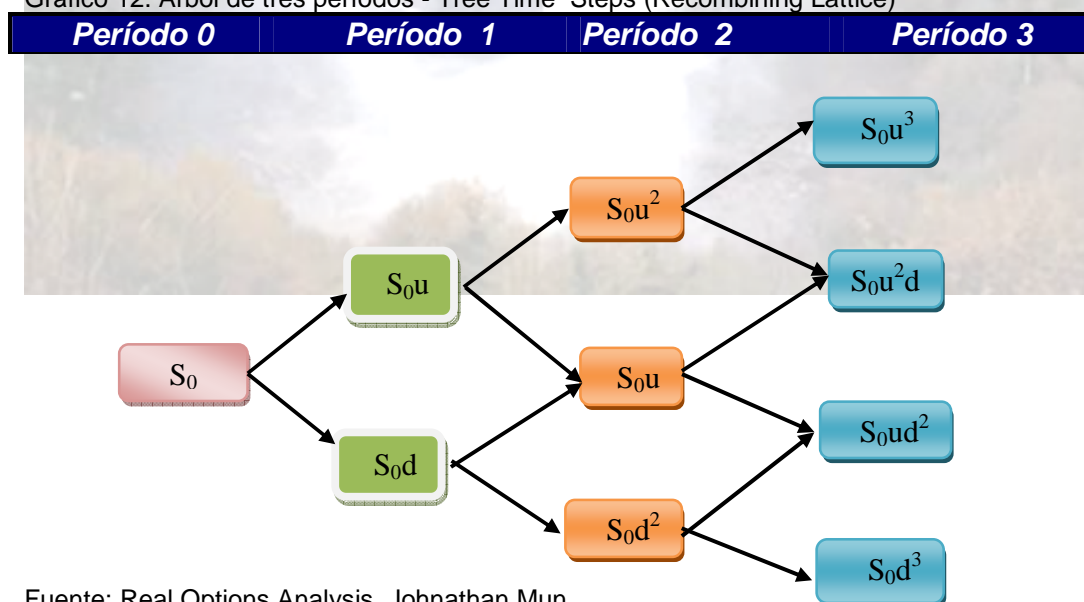
estos resultados con cantidades fijas y su respectivo cómputo, se obtiene una corrida en términos de la respuesta deseada. Esto se hace repetidamente hasta conseguir las corridas suficientes para lograr una aproximación cercana a la media, la varianza y la forma de la distribución. La clave principal de la técnica de la simulación Montecarlo es que los resultados de todas las variables de interés sean seleccionados aleatoriamente (Rose, 1998; Trigeorgis, 1999).

A estos métodos tradicionales, se han ido sumando métodos matemáticos, estadísticos y econométricos sofisticados (incluyendo modelos estocásticos), que tratan de eliminar o disminuir los problemas o limitaciones de los tradicionales. Entre ellos, son muy comunes los métodos y cálculos de sensibilidades de los diferentes parámetros y estimaciones de la incertidumbre, puesto que las opciones trabajan precisamente sobre estos escenarios (Hull, 1999; Shibata, 2006; Trigeorgis, 1999).

Una técnica útil y muy popular para evaluar una opción implica la construcción de un *árbol binomial*, el cual consiste en un diagrama que representa las diversas trayectorias que podría seguir el precio de una acción durante la vida de la opción.

En el gráfico 12, se muestra la dinámica del árbol binomial de tres pasos, el cual será el aplicado para la valoración de las opciones reales al proyecto hidroeléctrico Hituango.

Gráfico 12. Arbol de tres períodos - Tree Time Steps (Recombining Lattice)



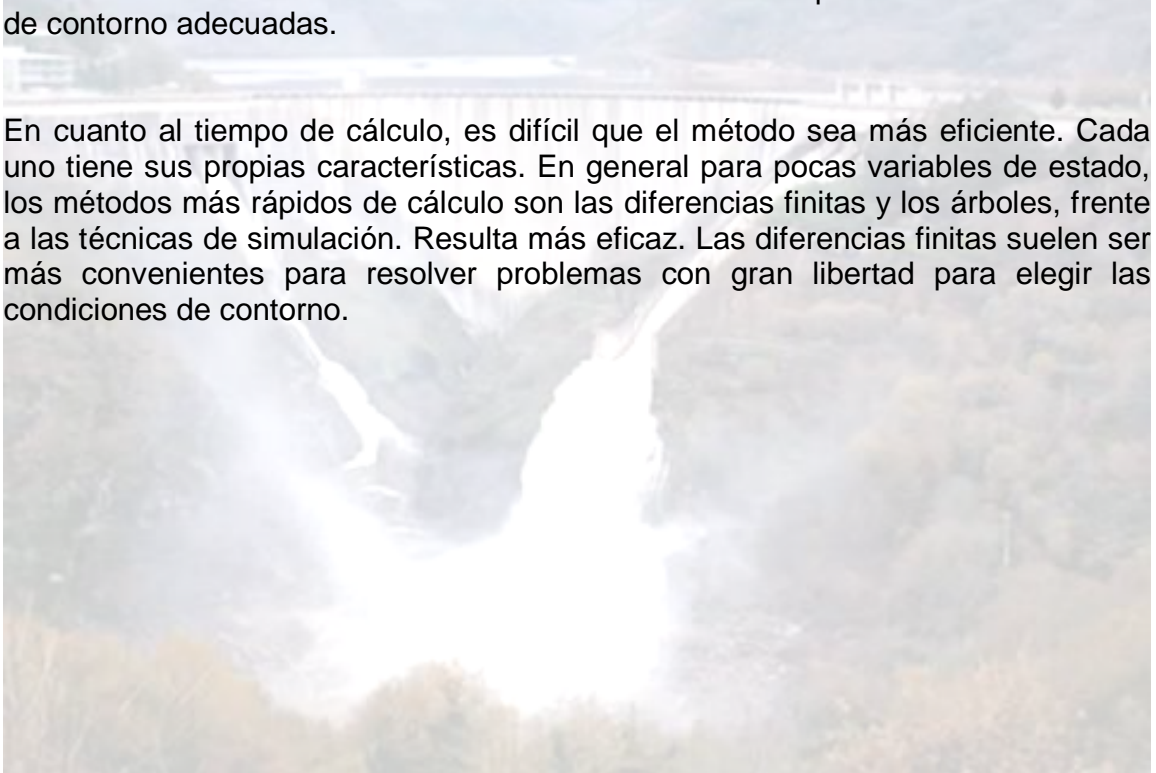
Fuente: Real Options Analysis. Johnathan Mun

4.2.3 Ecuaciones en derivadas parciales: Método de las diferencias finitas.

Se utiliza para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias, así como ecuaciones en derivadas parciales, lineales, y no lineales. Las ecuaciones en derivadas parciales se han utilizado tradicionalmente para hallar el valor de las opciones y el camino óptimo de ejercicio y el método de las diferencias finitas se ha mostrado muy eficaz para resolverlas.

En él se transforman las variables de estado de la ecuación en derivadas parciales en variables discretas que dan lugar a una malla de valores. De esta forma la ecuación diferencial en derivadas parciales queda transformada en un conjunto de ecuaciones en diferencias finitas. Para su resolución se aplicarán las condiciones de contorno adecuadas.

En cuanto al tiempo de cálculo, es difícil que el método sea más eficiente. Cada uno tiene sus propias características. En general para pocas variables de estado, los métodos más rápidos de cálculo son las diferencias finitas y los árboles, frente a las técnicas de simulación. Resulta más eficaz. Las diferencias finitas suelen ser más convenientes para resolver problemas con gran libertad para elegir las condiciones de contorno.



5. INVERSIONES EN EL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO

En Colombia ha evolucionado el sector eléctrico en de manera significativa desde los últimos 20 años, siendo hoy en día un sector eficiente y con prácticas de talla mundial. Esta tendencia seguirá en aumento, en los próximos años, tanto por el crecimiento interno, como al crecimiento de las multinacionales colombianas en el exterior.

Entre los principales productores de energías limpias en América Latina, Colombia se ha caracterizado por ser uno de ellos. Es el tercer país en producción de energía obtenida directamente a partir de fuentes hidráulicas. La capacidad efectiva neta del Sistema Interconectado Nacional -SIN- a diciembre 31 de 2008 alcanzó un valor de 13,456.8 MW, 78 MW más que el año anterior. La capacidad efectiva hidráulica (incluidas plantas menores), a 31 de diciembre de 2008, alcanzó los 8,994 MW, de los cuales el 82.39% está concentrado en cuatro empresas generadoras.

Colombia no sólo es un país que demuestra potencialidad en generar energía, también es un país que muestra potencialidad para producir los componentes necesarios para los parques energéticos de energías limpias alternativas como solares 1 y eólicas. <<en línea. [http://www.wefcolombia.com/pdfs/SECTOR ELECTRICO WEF.pdf](http://www.wefcolombia.com/pdfs/SECTOR_ELECTRICO_WEF.pdf)>>.

No obstante lo anterior, es importante anotar que el Mercado de Energía Mayorista (MEM), es uno de los pocos sectores de la economía y los mercados en Colombia que está sujeto a la volatilidad en cuanto a su precio, ocasionado por algunas de las particularidades geográficas, climáticas y de generación del país, lo cual contribuye a que el precio de la energía eléctrica presente oscilaciones diarias, que influye en un complejo escenario para la administración de los riesgos de mercado y crédito asociados a las actividades de generación, comercialización y compra de la energía.

En este capítulo, se desarrollarán las características del sector eléctrico, mercado eléctrico colombiano, decisión de inversión en el sector y contratos de generación de energía eléctrica mediante combinación de opciones.

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR

Los precios de la energía eléctrica, tienen características físicas, del precio y de volatilidad, los cuales requieren de la aplicación de modelos para valorar derivados, teniendo en cuenta las dificultades que puede presentar para calcular las garantías y riesgos. Al aplicar los modelos, es probable que los precios de la energía presenten saltos aleatorios, estacionalidad, reversión sobre la media y volatilidad que va a depender del nivel del precio, entre otras.

De acuerdo a lo anterior, entre las *Características Físicas* tenemos que la energía no es almacenable, la demanda es rígida a corto plazo, y la oferta puede adaptarse lentamente a la demanda. *Características de precio*, el precio de la energía presenta elevada aleatoriedad y fuerte estacionalidad, etc., y *características de volatilidad*, las cuales varían temporalmente, decrecen al ampliar el vencimiento, la volatilidad es elevada en el corto plazo, etc.

En cuanto a la estructura del Sector Eléctrico Colombiano, ésta se modificó sustancialmente con la Ley 142 de Servicios Públicos y la Ley Eléctrica 143 realizada en 1994. Con la reforma se permite la participación de diferentes agentes económicos, públicos, privados o mixtos en las actividades del sector, mientras al Estado que en el pasado desempeñaba una actividad administrativa y económica por ser el único inversionista, se le confiere la responsabilidad de regular y controlar las actividades del sector, con el objetivo de tener un sistema eléctrico nacional eficiente, seguro y confiable.

En el período 2003 – 2008 la demanda de energía creció al 3,31% promedio anual. El acumulado anual de la demanda de energía eléctrica en el año 2008 fue de 53,870 GWh-año, mostrando incremento del 1.93% con respecto al año 2007, al pasar de 52,851 GWh en el 2007 a 53,870 GWh en el 2008 [UPME2009].

La capacidad efectiva neta instalada a 31 de diciembre de 2008 fue de 13,440 MW con un aumento neto de 30MW con respecto al final del año 2007, en particular por unos pequeños aumentos en algunas plantas. [UPME2009].

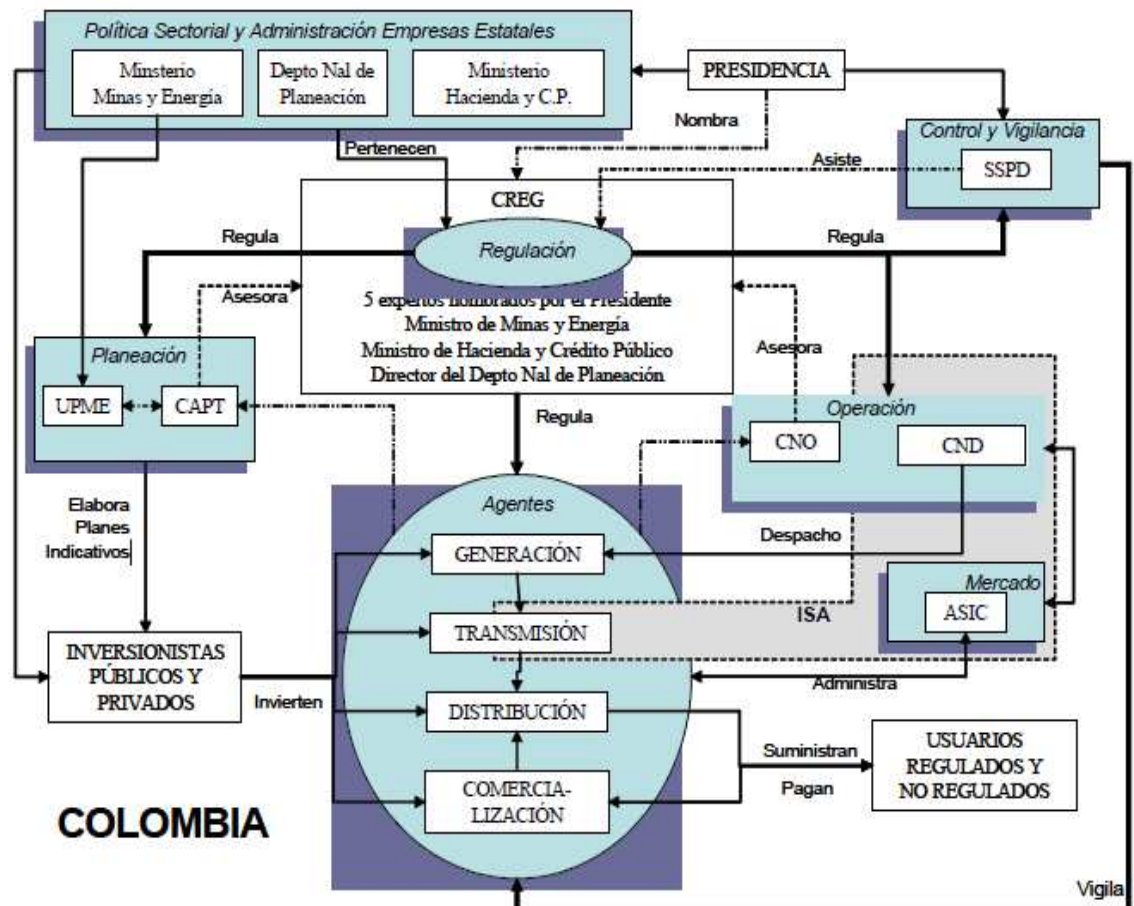
Del total de capacidad efectiva, las plantas hidráulicas constituyen el 66,92% incluida las menores hidráulicas; las térmicas a gas el 27,54% y a carbón el 5,21% y las demás tecnologías (cogeneración y eólica) el 0,33%. [UPME2009].

La capacidad efectiva hidráulica (incluidas plantas menores, es decir con capacidad menor a 20MW), a 31 de diciembre de 2008, alcanzó los 8,994 MW, de los cuales el 82,39% está concentrado en cuatro empresas generadoras. [UPME2009].

El sistema colombiano depende de la generación hidráulica, rasgo que lo hace vulnerable a fenómenos hidroclimáticos que pueden eventualmente restringir la disponibilidad del recurso agua, tal como sucedió en años pasados y en particular con los fenómenos El Niño que se presentaron en 1991-1992 y 1997-1998, y que llevaron al racionamiento en el primer caso y a precios bastante altos de la energía en el segundo (Osorio 2002, p.10).

En la siguiente gráfica se observa la composición del mercado eléctrico Colombiano.

Gráfico 13. Composición del Mercado Eléctrico Colombiano



Fuente: Unidad Minero Energética – UPME 2004

En cuanto a generación de energía, las principales fuentes son:

- *Renovables*: Está conformada por: Hidráulica, Biomasa, Mareomotriz, solar, Eólica y Geotérmica.
- *No renovables*: Está conformada por: Carbón, Petróleo, Gas Natural y Nuclear.

En el caso de estudio de la valoración del proyecto hidroeléctrico, la energía hidráulica hace parte del sistema de los denominados renovable; sin embargo, las presas y embalses, generas un alto impacto ambiental y humano que en un alto porcentaje son irreversibles y éstas son mayores en la medida en que las construcciones sean más grandes.

Entre los elevados impactos ambientales que pueden generar las hidroeléctricas por la construcción de los embalses, se citan los siguientes:

- Alto costo económico y social.
- Alteración de los ecosistemas circundantes e Inundación de tierras cultivables en ecosistemas vírgenes.
- Desplazamiento y desarraigo de habitantes de las zonas anegadas, con los conflictos personales y sociales que esto trae consigo.
- Disminución del caudal del río e interrupción de la emigración de peces, del transporte de nutrientes y de la navegación.
- Modificación del nivel de las capas freáticas (manto acuífero subterráneo, que alimenta pozos y manantiales, formado por la infiltración de precipitaciones y cursos fluviales).
- Colmatación de los embalses por sedimentos, acumulados por la fuerza de erosión y arrastre del agua.
- Descomposición de la masa forestal inundada, que desencadena la producción de gases (metano, sulfhídrico, etc.) y la acidificación del agua, con la consiguiente desaparición de peces, y con ellos, de los recursos para los habitantes de la zona. Además esta circunstancia es la principal causante de la corrosión de las turbinas y de la proliferación, y esto es lo más grave, de enfermedades infecciosas entre las poblaciones cercanas.
- La presencia de grandes presas en zonas de alto riesgo sísmico representa una seria amenaza para la vida humana y para la preservación de la fauna.
- Los desprendimientos de tierras pueden generar olas gigantescas que rompan o desborde la estructura del embalse.
- El peso del agua contenida en las presas puede afectar las características telúricas del suelo (fuerzas internas de la tierra, causantes de terremotos, volcanes, formación de montañas, etc.), provocando modificaciones de impredecibles consecuencias.

Esta modalidad energética es aceptable ecológicamente, siempre y cuando se apueste por la construcción de minipresas, cuyo principio funcional es idéntico al de los grandes embalses y, sin embargo, su impacto ambiental es reducido y su rendimiento, aunque menor, es perfectamente almacenable y válido para consumo. Lo ideal es la creación de una red de minicentrales hidroeléctricas que abastezcan de agua y electricidad a zonas rurales muy limitadas. De esta forma la diversificación y la eficacia será mayor y el impacto ecológico mucho más reducido. <<Manuel Jodar, en línea>>

5.2 MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

Mediante la expedición de las leyes 142 y 143 de 1994, se sientan las bases del nuevo modelo de prestación de los servicios públicos en Colombia. El nuevo enfoque adoptado, condujo al diseño del Mercado de Energía Mayorista - MEM, cuyo objeto es permitir las transacciones de energía eléctrica entre los agentes que conforman el sector: Distribuidores-comercializadores, generadores, comercializadores y consumidores.

En el MEM los generadores pueden desarrollar su actividad participando en los distintos esquemas de comercialización: Transacciones horarias en bolsa de energía firme del cargo por confiabilidad. Estas transacciones constituyen la fuente de ingresos de los generadores que hacen viable un proyecto de generación. Las ventas de energía en bolsa y las transacciones en contratos de largo plazo constituyen ingresos variables o de mediano plazo y los ingresos por concepto de Cargo por Confiabilidad se constituyen en una fuente de ingresos que puede considerarse fija.

El precio de la energía presenta alta volatilidad, como consecuencia del elevado componente de generación hidráulica del sistema, baja capacidad de regulación de los embalses y la estacionalidad del régimen hidrológico del país. Lo que induce a los agentes a mitigar el riesgo de precio, mediante la realización de contratos de venta de energía de largo plazo de tipo financiero, con cantidad, precio modalidad definida libremente.

Debido a la incertidumbre de que el mercado por si solo fuera capaz de inducir la inversión requerida en capacidad de generación, y en cumplimiento a lo establecido en el artículo 23 de la ley 143 de 1994, que establece la obligación de remunerar la capacidad de generación de respaldo en aras de asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente, la Comisión de Energía y Gas –

CREG introdujo el Cargo por Confiabilidad, como un pago que recibían los generadores por cada KW que comprometiera como aporte a la confiabilidad del sistema.

El cargo por confiabilidad estuvo vigente hasta el año 2006. Posteriormente, la CREG consideró conveniente continuar con un mecanismo de remuneración adicional que complementa el mercado y que en conjunto con las otras fuentes de ingresos (bolsa y contratos) garanticen la suficiencia financiera de la actividad en el largo plazo: el Cargo por Confiabilidad, que se encuentra vigente desde diciembre de 2006, opera bajo contexto de mercado, tiene como objetivo fundamental promover la expansión, reducir el riesgo de mercado de los generadores y garantizar el abastecimiento de energía a un precio eficiente.

5.3 DECISIONES DE INVERSIÓN EN EL SECTOR

Para las decisiones de inversión en el sector eléctrico, el esquema de mercado presenta mecanismos internos de funcionamiento e interacción con el ambiente de éste, tales como las relaciones subyacentes entre oferta y demanda, desarrollo tecnológico, políticas regulatorias, etc., y en su mayoría son desconocidas por los inversionistas, configurándose en fuentes de incertidumbre en el momento de tomar decisiones de inversión.

Por ello, que los inversionistas están expuestos no sólo a los riesgos que un proyecto de inversión involucra, sino también al riesgo de precio de la energía.

En cuanto a los altos costos de inversión y la incertidumbre de los proyectos de inversión en capacidad, éstos incluyen opciones estratégicas derivadas de la flexibilidad operativa y administrativa del inversionista para decidir si se ejecuta el proyecto, se modifica durante su construcción y operación, o se toma la decisión de posponer para esperar obtener mayor información. La valoración financiera de los proyectos en generación debe dar cuenta de estas opciones, y de la incertidumbre característica del Sector Eléctrico Colombiano para mejorar las decisiones de inversión.

Es de anotar que, de acuerdo a las tendencias internacionales concernientes a la generación de energía con fuentes renovables y la vulnerabilidad del sistema, en Colombia se están desarrollando proyectos de investigación tendientes a identificar las posibilidades de desarrollo de la generación de diferentes tipos de

energía como la eólica, tecnología sin antecedentes en el país que requiere orientación en eventuales decisiones de inversión.

5.4 CONTRATOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE COMBINACIÓN DE OPCIONES

La utilización de instrumentos financieros que en la actualidad están realizando cada uno de los participantes del mercado eléctrico (generadores, comercializadores y consumidores) está motivada, como se ha visto con anterioridad, por necesidades de cobertura, arbitraje y/o especulación. Una de las particularidades del negocio de comercialización de energía eléctrica es que cada cliente, sea comercial, residual y/o residencial, posee requerimientos específicos de suministro lo cual a las empresas eléctricas deban manejar diferentes tipos de contratos. La tabla 5, contiene ejemplos de los tipos de contratos utilizados en la actualidad. [Arriágada Carranza].

Tabla 5. Tipos de contratos entre generadores y clientes

1. Comprar o vender una cantidad fija de energía a un precio fijo en un tiempo futuro determinado.
2. Comprar o vender una cantidad fija de energía a un precio variable en un tiempo futuro.
3. Comprar o vender una cantidad indeterminada de energía a un precio fijo en un tiempo futuro.
4. Comprar o vender una cantidad indeterminada de energía a un precio variable en un tiempo futuro
5. Comprar o vender una cantidad fija de energía a un precio variable , sujeto a un precio mínimo , en un tiempo futuro.
6. Comprar o vender una cantidad fija de energía a un precio variable , sujeto a un precio máximo en un tiempo futuro.
7. Comprar o vender una cantidad fija de energía a un precio variable, sujeto a un precio mínimo y un máximo , en un tiempo futuro
8. Comprar o vender una cantidad variable de energía a un precio variable , sujeto a un precio máximo , en un tiempo futuro.
9. Comprar o vender una cantidad variable de energía a un precio variable , sujeto a un precio mínimo , en un tiempo futuro.
10. Comprar o vender una cantidad variable de energía a un precio variable , sujeto a un precio mínimo y un máximo , en un tiempo futuro.
11. Comprar o vender una cantidad fija de energía a un precio fijo o variable, cuyo suministro puede ser interrumpido .
12. Comprar o vender una cantidad fija de energía a un precio fijo o variable, cuyo suministro puede ser interrumpido, siendo la interrupción cancelable

pagando más
13. Comprar o vender toda la energía y potencia deseada por un monto fijo de dinero.
14. Comprar o vender al menos una mínima cantidad de energía a un precio fijo.
15. Comprar o vender a lo más una cantidad de energía máxima a un precio fijo .

Fuente: Arriágada Carranza. Aplicación de Instrumentos Financieros en el Sector Eléctrico

Los contratos que incluye la tabla anterior pueden complicarse aun más dependiendo de las necesidades particulares de cada cliente lo cual dificulta la valoración de los contratos. Es posible descomponer cada uno de los descritos en la tabla anterior en una serie de contratos más simples el cual facilita la valoración del contrato original. Estos contratos básicos o “bloques” a partir de los cuales es posible contribuir los restantes tipos de contratos tales como:

- Transacciones a precio spot:
- Forwards/Futuros
- Opciones

En Colombia, la contratación típica en este mercado se realiza mediante la formalización de negociaciones bilaterales con plazos mayores a un año. Cerca del 70% del total de la negociación de la electricidad es bilateral y el 30% restante se negocia en el mercado de contado a través de la bolsa de energía. (Alejandro L. Chaustre).

Es de anotar, que algunos de los agentes del mercado suelen percibir que una vez cerradas sus contrataciones bilaterales, están cubiertos contra los movimientos en el precio de la energía; sin embargo, desde el punto de vista de la gestión del riesgo es una percepción equivocada. El cierre de una negociación bilateral de largo plazo a un precio fijo, variable o una mezcla de los dos, simplemente pretende garantizar la entrega del activo en un momento futuro del tiempo con unas condiciones pactadas en el presente; cubriendo solamente uno de los múltiples riesgos en que se incurre en la negociación y contratación. Las condiciones de precio van cambiar durante la vida del contrato, lo que significa que en un momento futuro del tiempo, el precio pactado puede estar muy lejos de las condiciones actuales. Para quien se ha contratado a un precio desfavorable, es casi imposible renegociar condiciones, enajenar el contrato, etc, con el fin de ajustar el mismo a una realidad más favorable. [Alejandro L. Chaustre].

En eventos extremos, como el vivido en 2009 y 2010 con la llegada del fenómeno

de El Niño y las restricciones de la producción térmica de electricidad que actuaba como back up de la generación mayoritariamente hídrica, se llega a situaciones que elevan considerablemente los retos para la gestión de riesgo de los agentes. Por una parte, los altos precios alcanzados en la negociación en bolsa, llevaron a algunos agentes de intermediación del mercado a incumplir sus contratos, técnicamente generando un default. Ese intermediario estaba obligado a entregar energía eléctrica a un precio determinado, que en buena parte no tenía contratada y compraba para su entrega en la bolsa de energía. En un ejemplo, en un contrato bilateral entregaba energía a \$150 kw/hora que tenía que comprar para despacho a \$250 kw/hora. (Alejandro L. Chaustre).



6. FUNDAMENTOS TEORICOS DE GESTION DEL RIESGO EN LAS EMPRESAS GENERADORAS DE ENERGÍA

Las empresas de generación de energía enfrentan una serie de riesgos, por lo tanto es importante conocer los fundamentos teóricos de la gestión de riesgos y las herramientas que se utilizan para su cuantificación y la manera como una empresa puede diversificarlos.

6.1 RIESGO E INCERTIDUMBRE

El Riesgo se puede definir como la probabilidad de que suceda un evento, impacto o consecuencias adversas. Además, el término riesgo comprende diversas situaciones que se pueden clasificar de la siguiente en los siguientes tipos que son aplicables a los proyectos de generación de energía:

- Riesgo de Crédito: Es la posibilidad de no pago por parte de los clientes.
- Riesgo de Liquidez: Se refiere a la posible escasez de efectivo que impide a la empresa cumplir compromisos inmediatos.
- Riesgo Operacional: Son los errores por parte de funcionarios de la empresa o fraudes que afecten su resultado.
- Riesgo Regulatorio: Es el que riesgo de nuevas legislaciones o modificaciones afecten su posición en el mercado o el atractivo de éste.
- Riesgo de Mercado: Se refiere al riesgo asociado a la empresa que no es diversificable mediante la creación de portafolios de inversión. Este riesgo ilustra las variaciones en los retornos debido a contingencias que afectan al mercado en sí, y que no pueden ser evitados por la empresa al diversificar sus inversiones en otras firmas, debido a que todas se ven afectados.

De igual manera, en los proyectos de energía y en especialmente en el caso de generación de energía hidroeléctrica, se presentan factores de riesgos teniendo en cuenta los tipos de riesgos arriba relacionados, los cuales pueden ser:

Altos índices de indisponibilidad, incumplimiento de las normas, oligopolio o deficiencias en el suministro de combustibles de gas natural y líquidos, altas

cargas impositivas originadas por los gravámenes a la actividad de generación, inequidad de la regulación de los precios de oferta de la energía, alta competencia en los precios de la energía y aumento de la oferta ésta por la presencia de nuevos agentes generadores con mayor capacidad competitiva.

6.2 DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMO MEDIDA DE RIESGO

La desviación estándar es un concepto estadístico que cuantifica la desviación típica de la variable aleatoria con respecto a la media. Es la raíz cuadrada de la varianza, la cual se calcula de la siguiente forma:

Si la distribución de la variable aleatoria fuese normal, bastaría con considerar la tasa de retorno media a su varianza para describir el riesgo asociado a variaciones en las variables. Si bien no existe la certeza que los precios de la energía eléctrica siga una distribución normal, la medida de la desviación estándar permite clasificar distintas variables de acuerdo al riesgo. La desviación estándar constituye la medida de riesgo utilizada tradicionalmente.

6.3 GRADOS DE AVERSIÓN AL RIESGO Y CURVAS DE UTILIDAD

Cada inversionista o empresa está dispuesto a aceptar distintas cantidades de riesgo. Algunos se conforman con un ingreso esperado bajo pero seguro, mientras otros apuestan a obtener grandes ingresos pero con menor probabilidad de ocurrencia. El porqué existen distintos grados de aversión al riesgo ha sido tradicionalmente explicado mediante la “teoría de la utilidad”.

La teoría de la utilidad modela la actitud que presenta un tomador de decisiones frente a alguna variable que presente aleatoriedad [Broc98]. Esta teoría asume que cada agente i tiene una función de utilidad $U_i(x)$, la cual mide la satisfacción que cada agente siente frente a diversos grados de riqueza (x). Si bien es imposible construir la curva de utilidad de cada agente, sí es posible constatar algunas características importantes [Broc98].

- Toda persona está mejor con mayor cantidad de riqueza. Es decir, la función de utilidad es creciente ($U'(x) > 0$).
- La utilidad marginal va decreciendo a medida que aumenta la riqueza ($U''(x) < 0$).

Considerando las dos características se tienen que la curva de utilidad toma una forma convexa. El segundo punto ($U''(x) < 0$) es el que define la aversión al riesgo del agente. Debido a la convexidad, dado un nivel de riqueza x , una caída de la riqueza en d produce una variación en la utilidad mayor que la que provocaría un aumento en la riqueza en d . Es decir, una baja en la riqueza afecta más al agente, en términos de utilidad, que un alza en la misma cantidad.

Una curva de utilidad convexa es utilizada para representar las preferencias de un inversionista no diversificado. En este tipo de inversionista, la riqueza depende de su ingreso monetario, de modo que una caída en los ingresos bajo cierto nivel es muy perjudicial, ya que podría ponerlo en dificultades financieras.

Un especulador posee un portafolio de inversiones perfectamente diversificado por lo que una baja en los ingresos no debiese afectarlo mayormente ya que no tiene mayor responsabilidad que el dinero que invirtió. Es por ello que la curva de utilidad de un especulador es modelada como una línea recta ($U''(x)=0$). Una curva de utilidad se utiliza para agentes considerados “neutral al riesgo”.

6.4 RIESGO DE MERCADO Y PORTAFOLIO DE CONTRATOS DE UNA EMPRESA ELÉCTRICA.

Toda empresa de generación de energía eléctrica maneja un portafolio de contratos con el que compromete su producción a lo largo de un período de tiempo. Un portafolio de contratos incluye contratos a precio spot a otros generadores. La ganancia del portafolio está condicionada por la diferencia entre el precio acordado por el suministro de energía y los costos de generación (en caso que la empresa sea despachada) o los costos de adquisición de energía (en caso que la empresa no sea despachada).

6.4.1 Riesgo en el negocio de la generación eléctrica. De acuerdo a [Hunt96], el negocio de energía eléctrica presenta cuatro tipos de riesgos.

6.4.1.1 Riesgo de precio. Se refiere a las variaciones que experimenta el precio de la energía a lo largo del tiempo, lo cual significa un riesgo para las empresas de generación ya que su ingreso depende en parte de la diferencia entre el precio de mercado (o contrato) y sus costos de producción.

En el caso particular de la industria eléctrica, la desregulación del sector ha llevado a tratar la electricidad como un commodity, originándose un mercado spot de energía eléctrica que exhibe un precio considerablemente volátil. La tabla 2.1 explica los diversos factores que inciden en una alta volatilidad en los precios de la electricidad.

Tabla 6. Factores que inciden en una alta volatilidad en los precios de la energía.

Factor	Consecuencia
Imposibilidad de almacenamiento	No hay disponibilidad de reserva para suavizar peaks de demanda.
Necesidad de Disponibilidad inmediata	Se producen cambios de precios dentro del día, debido a la necesidad de responder a una demanda continuamente cambiante
Distancia Geográfica	Debido a restricciones en el sistema de transmisión pueden producirse variaciones en el precio, debido a la imposibilidad de llevar energía desde un lugar más barato.
Clima	Oferta y demanda de electricidad pueden variar sustancialmente de una estación a otra.
Ausencia de una Historia del mercado	Precio Spot y futuro de la electricidad son difíciles de fijar.

Fuente: Arriágada Carranza. Aplicación de Instrumentos Financieros en el Sector Eléctrico

6.4.1.2 Riesgo de Cantidad. Se refiere al riesgo al que se ve enfrentado cada generador al no tener certeza de la cantidad de que generará. Este riesgo afecta principalmente a las empresas de generación que operan bajo un esquema Poolco, debido a que las unidades de generación puestas en servicio siempre y cuando sean despachadas por el Pool, ya sea a través de un mercado spot o mediante un programa de despacho óptimo.

6.4.1.3 Riesgo de Precio de Combustible. Este es un riesgo externo al mercado eléctrico pero afecta al generador en su capacidad para competir en el mercado y ser finalmente despachado. Un alza en el costo de los combustibles aumenta los costos variables del generador lo que puede reducir el número de horas que va a generar y la ganancia que obtendrá.

6.4.1.4 Riesgo de Disponibilidad. Este riesgo se refiere a contingencias que impiden al generador estar disponible para generar la energía requerida. Los problemas de disponibilidad significan al generador reducir sus ganancias.

Es posible clasificar los primeros dos tipos de riesgos (Precio y cantidad) como **riesgos de mercado** y los últimos como **riesgos de planta** (combustible y disponibilidad). Los riesgos de planta de mercado son exógeno y observables. Es este último tipo de riesgo el que origina la necesidad de desarrollar contratos y estrategias que permitan a los participantes del mercado eléctrico realizar una cobertura efectiva de éste.



7. OPCIONES REALES EN PROYECTOS DE ENERGIA ELECTRICA

Evaluar proyectos de generación energía eléctrica es importante, y se deben estudiar variados aspectos, desde la flexibilidad operacional hasta aspectos como el ajuste de un valor que refleje los riesgos no factibles de cubrir. Por ello, para la evaluación se quiere de sofisticadas técnicas que vayan más allá de los métodos tradicionales de flujos de caja descontados.

Para evaluar apropiadamente la flexibilidad operacional de una planta de generación eléctrica requiere de una metodología que pueda evaluar el activo para todos los estados potenciales de la naturaleza; se pueden ponderar así dichos estados en forma apropiada. Los métodos de valoración de opciones permiten abordar estos problemas. [JP St. Germain and H Brett Humphreys].

Esta metodología surge de la aplicación de los enfoques de valoración de opciones financieras a problemas reales. La aplicación de esta teoría de opciones al mundo real requiere de supuestos tales como retornos con distribución normal o, en forma equivalente, distribución de precios de tipo log-normal Sin embargo, puede que este supuesto no sea válido en la distribución real de precios. En general, no se tiene idea clara acerca de la distribución potencial de valores futuros. Por estas limitaciones, algunos de los primeros trabajos en opciones reales se enfocaron en las opciones asociadas con commodities tales como minas, campos de petróleo y gas, proyectos de exploración [JP St. Germain and H Brett Humphreys].

En la medida que los mercados de energía eléctrica se fueron desregulando, el enfoque de opciones reales se fue aplicando a la producción o generación. Una excelente síntesis de la evolución del enfoque de opciones reales lo hace Fernández [V Fernández].

Existe una diversidad de aplicaciones del enfoque de valoración de opciones reales en proyectos energéticos. Fleten y Näsäkkälä analizan inversiones en plantas de turbinas a gas bajo condiciones estocásticas de precios de electricidad y gas natural. Aplican un modelo de 2 factores para el proceso de precio, permitiendo el análisis del valor de la flexibilidad operacional, la oportunidad de vender y abandonar los activos de capital, así como también encontrar umbrales de los precios de energía para los cuales las inversiones sean convenientes.

Abadie y Chamorro analizan la valoración de opciones al incorporar flexibilidad de una planta de energía IGCC. Primero utilizan como caso base la oportunidad de invertir en una planta de gas natural de ciclo combinado, derivando la regla óptima de inversión como una función del precio de combustible y de la vida remanente del derecho de invertir. En segundo lugar, estudian la valoración de una planta IGCC, con costos de cambio entre estados y la elección del mejor modo de operación. La valoración de esta planta sirve de base para obtener el valor de la opción de postergar la inversión de este tipo. Finalmente derivan el valor de la oportunidad de invertir tanto en una planta NGCC (Gas Natural de Ciclo Combinado) o IGCC (Gasificación de Carbón Integrado con Ciclo Combinado), esto es, elegir entre una tecnología inflexible y una flexible, respectivamente.

Laurikka realiza un modelo de simulación, en el cual la inversión es considerada como un problema de una única empresa en un ambiente de trabajo con precios múltiples y estocásticos. El modelo de simulación se utiliza para explorar el impacto de las transacciones de emisiones, en particular el esquema de intercambio de emisiones de la Unión Europea (EUETS) en inversiones de plantas IGCC. Presenta dos casos reales estudiados: modificaciones a una planta térmica existente con condensado de vapor y una nueva planta combinada de calor y electricidad. Chandra estudia tres tecnologías de combustión de carbón en un ambiente de precio de CO₂ incierto: carbón pulverizado (PC), IGCC de línea base y IGCC con pre-inversiones que la hacen menos costosa cuando se le adapta un sistema de captura de CO₂. Todas estas plantas pueden ser modernizadas para capturar CO₂ y además ser consideradas "listas para captura", aun cuando el costo y las dificultades técnicas para reacondicionar pueden variar en forma importante. Los modelos de flujos de caja para casos específicos de estas tres tecnologías fueron desarrollados de estudios de literatura. Sekar, Parson, Herzog y Jacoby analizan cómo las inciertas regulaciones de carbón en EE.UU. Determinan la elección actual del tipo de planta a construir.

7.1 APLICACIONES DE OPCIONES REALES EN ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES

Las inversiones en recursos naturales estuvieron entre las primeras aplicaciones de la metodología de opciones reales. Brennan y Schwartz (1985) consideraron las decisiones de abrir, cerrar y abandonar una mina que producía cobre (los precios de dicho mineral fluctuaban sobre el tiempo). Paddock et al (1988) desarrollaron una metodología para la valoración de concesiones de pozos de petróleo.

Las aplicaciones para inversiones en energía incluyen documentos de trabajo con guías generales. De manera general, Pindyck (1993) considera inversión en una planta de generación nuclear. En este trabajo, Pindyck se concentra en las incertidumbres asociadas con el costo de construcción, las cuales son clasificadas en dos tipos: incertidumbre técnica e incertidumbre sobre los precios de los insumos para la construcción. Concluye que la incertidumbre técnica hace más atractiva la planta mientras que la incertidumbre en los insumos tiene un efecto contrario.

La escogencia entre diferentes tecnologías ha sido estudiada por Kobila (1990), que en su trabajo considera la alternativa de escoger entre una central térmica y una hidráulica bajo el supuesto de que la producción hidráulica tiene asociados sólo costos irreversibles, mientras que la producción a gas sólo tiene gastos variables asociados al combustible. Además, en este trabajo se estudia el tiempo socialmente óptimo para cambiar de generación térmica a hidráulica.

Kulatilaka (1993) considera la flexibilidad asociada al valor de la alternativa para cambiar de un combustible a otro pero no considera el tiempo óptimo de inversión para dicha planta y Benavides (1995) estudia la inversión incremental bajo una demanda estocástica.

Kobila (1993) también estudia dicho caso y aplica teoría de control estocástico para la inversión en expansión de la generación hidráulica bajo el supuesto de que dichas inversiones son optimizadas por un agente individual que busca maximizar el beneficio, mientras que hay una competencia por la oferta de capacidad térmica.

Casos prácticos han sido relatados por Laughton (1998) y Baker et al (1998), quienes definen los lineamientos para aplicar la metodología a casos reales. Venetsanos et al (2002) propone una metodología para un proyecto de generación de energía eólica bajo consideraciones de incertidumbre. [Tesis Yaneth Correa].

7.2 OPCIONES REALES EN EL CASO COLOMBIANO

En el mercado eléctrico Colombiano se han realizado algunos estudios usando opciones reales. Arango (2002) utiliza el precio crítico para definir los proyectos de generación que deben ser incluidos en el plan de expansión del sistema

colombiano. Si bien la aproximación planteada en su trabajo no utiliza opciones reales, es un primer esfuerzo para la valoración de proyectos de generación eléctrica en Colombia, considerando el riesgo y la incertidumbre propios del mercado eléctrico.

Osorio (2002) propone la aplicación de la teoría financiera de opciones reales para el caso específico de las decisiones de inversión en generación eléctrica en Colombia. En su trabajo se propone un método numérico que permite valorar el riesgo a través de la valoración de la opción de invertir de inmediato, la opción de esperar para invertir, y la determinación del momento óptimo de inversión gracias a la definición del llamado precio crítico. Finalmente, Mora et. Al (2002) proponen una metodología para valorar un proyecto de generación eólica usando opciones reales y dinámica de sistemas. En su trabajo, las condiciones del mercado son simuladas a través del uso de dinámica de sistemas para luego usa los resultados obtenidos para valorar la inversión a través del uso de las opciones reales.

En general, se puede notar una falencia en la consideración de múltiples opciones y las interacciones que entre ellas se generan, así como en el desarrollo de un planteamiento formal y un método numérico que incorpore tales opciones múltiples en la valoración de proyectos de inversión no sólo en mercados eléctricos sino en aquellos mercados que exhiban altos niveles de riesgo e incertidumbre.

De esta manera, este trabajo pretende cubrir algunas de las falencias identificadas mediante la implementación de un método formal que utiliza la teoría de control estocástico y el enfoque de opciones reales para valorar no sólo la naturaleza individual de las diferentes opciones que se tienen sobre una oportunidad de inversión en expansión en el MEC, sino que además incorporen dentro de dichos análisis la naturaleza contingente de las múltiples opciones que existen sobre un proyecto. [Tesis Yaneth Correa].

7.3 OPCIONES REALES QUE PUEDEN SER IDENTIFICADAS Y VALORADAS EN PROYECTOS O EMPRESAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

De acuerdo a los tipos de opciones reales y teniendo en cuenta las características de los proyectos o empresas generadoras de energía, se pueden valorar éstos mediante las *opciones de reducción o de venta*, al permitir reducir el tamaño de las operaciones, si las condiciones resultan desfavorable; *la opción de expansión*, al permitir aumentar su capacidad de producción, introducir un nuevo producto o

adquirir otras empresas; *la opción de abandono*, que es equivalente a una opción de venta americana, y básicamente se utiliza cuando el proyecto ya no es rentable con la finalidad de minimizar sus pérdidas antes de que éstas se puedan incrementar; *la opción de diferir, prorrogar o posponer la inversión* y *la opción de cerrar temporal o definitivamente las operaciones*, de acuerdo a las condiciones económicas y de mercado.

No obstante lo anterior, para la evaluación de cada una de estas opciones, es importante analizar cada proyecto específico y determinar lo que esperan los accionistas.



8. APLICACIÓN DE OPCIONES REALES A LA VALORACION DEL PROYECTO HIDROELECTRICO A PARTIR DE LA SIMULACION MONTE CARLO

Para la valoración del proyecto hidroeléctrico Pescadero Ituango, aplicando la metodología de opciones reales, es importante conocer y tener presente los siguientes aspectos: Descripción general del proyecto, planteamiento del modelo, supuestos para la evaluación económica y financiera del proyecto Pescadero Ituango, parámetros utilizados en la valoración, tales como los parámetros técnicos, económicos, esquema de financiación, flujo de desembolsos preoperativos; adicionalmente en el período operativo, se hace relación a los ingresos y egresos.

Teniendo en cuenta lo arriba descrito, y lo definido en los capítulos anteriores, se procede a realizar la aplicar del modelo de opciones reales al proyecto Hidroituango, con base al VPN del flujo de caja proyectado a 25 años.

8.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO HIDROELECTRICO HIDROITUANGO

El proyecto Hidroeléctrico Pescadero Ituango, está localizado al norte del Departamento de Antioquia (Colombia). El embalse de 2.720 millones de metros cúbicos de capacidad, estará formado con la construcción de la presa de 220 metros de altura y la capacidad instalada del proyecto será de 2.400 MW.. Las principales obras son: presa, embalse, vertedero y obras de generación.

El proyecto, comprende fundamentalmente una presa de enrocado localizada unos 600 m arriba de la desembocadura del río Ituango al río Cauca; cuenta con obras para descargas de fondo e intermedia y un vertedero en canal abierto para evacuación de crecientes, obras ubicadas sobre la margen derecha del río. Próximas a la presa, y también sobre la margen derecha, se localizan las obras para generación que comprenden ocho captaciones sumergidas conectadas a las conducciones a presión que alimentan los ocho grupos turbina – generador de eje vertical, que se alojan en la caverna de casa de máquinas, conectados por galerías de barras a ocho bancos de transformadores monofásicos situados en la caverna de transformadores. El agua turbinada llega a dos cavernas independientes que actúan como almenaras de aguas abajo, de donde se

desprenden cuatro túneles de descarga mediante los cuales el caudal es devuelto al río Cauca.

El esquema, la disposición y los diseños de factibilidad adoptados para el proyecto, tienen en cuenta la posibilidad de que éste se realice en dos etapas. Es así como la modulación de la casa de máquinas, al igual que el dimensionamiento y ubicación relativa de la mayor parte de los componentes de la central, se han diseñado dando consideración a dicha posibilidad.

El diseño de factibilidad del proyecto ha comprendido, también, el diseño de las vías de acceso a los distintos frentes de obras, de las vías sustitutivas que reemplazarán las que serán afectadas por el embalse y de la línea de transmisión que suministrará la energía para la construcción de las obras. Así mismo, se han considerado las necesidades de campamentos para el alojamiento del personal de construcción.

En la tabla 8, se muestra las alternativas de conexión de la central, siendo la número 1 la recomendada en el estudio de conexión. [UPME2009].

Tabla 7. Alternativas de conexión de la Hidroeléctrica Pescadero Ituango

Alternativas	Descripción
1	Línea Ituango – Cerro 500 kv de 109.8 km Línea Ituango – Primavera 500 kv de 218 km Línea Ituango – San Carlos 500 kv de 168 km
2	Línea Ituango – Cerro 500 kv de 109.8 km Línea Ituango – Porce III 500 kv de 73.8 km Línea Ituango - San Carlos 500 kv de 168 km
3	Línea Ituango – Cerro 500 kv de 109.8 km Línea Ituango – Primavera 500 kv de 218 km Línea Ituango - Occidente 500 kv de 168 km Costo: US\$ 190.18 Millones

Fuente: Unidad Minero Energética – UPME 2009

8.2 PLANTEAMIENTO DEL MODELO

Este capítulo describe los supuestos utilizados para la evaluación económica y financiera del proyecto Pescadero Ituango, se describe los principales parámetros técnicos, económicos, ambientales, regulatorios y de ley que sirvieron de soporte a la modelación económica.

8.2.1 Supuestos para la evaluación económica y financiera del Proyecto Pescadero- Ituango. Para la valoración de este proyecto mediante opciones reales, se parte de la evaluación económica y financiera a través del Flujo de Caja Libre, que consiste en proyectar los ingresos futuros tanto en precio por KWh como las cantidades de energía a colocar en el Sistema Eléctrico Nacional, al igual que los costos y gastos de operación y mantenimiento, las contribuciones a la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG y todos los tributos de ley, tales como: Impuesto sobre la Renta, Industria y Comercio, Impuesto Predial, entre otros, en un horizonte de 25 años, los cuales se trae a valor presente neto – VPN, con una tasa de descuento equivalente al costo promedio ponderando de capital – WACC de la sociedad Pescadero Ituango.

8.2.2 Parámetros Utilizados en la Valoración. Los parámetros utilizados en la valoración de este tipo de proyecto y en el caso de estudio son: Parámetros técnicos, económicos, de financiación, flujos de desembolsos preoperativos y período operativo, conformado por los ingresos y egresos.

8.2.2.1. Parámetros Técnicos: Las principales características del proyecto son las que se relacionan en la tabla 9.

Tabla 9. Características del proyecto hidroeléctrico Pescadero Ituango

Datos técnicos	Unidad	Valor
Capacidad instalada	MW	2,400
Número de unidades	Unidad	8
Capacidad por unidad	MW	300
Energía Firme 95 PSS – 4 Unidades	GWh/año	8.935
Energía Firme 95 PSS – 8 Unidades	GWh/año	9.178
Energía Media	GWh/año	13.900
Depreciación Obras Civiles Contables	Años	50
Depreciación Equipos Contables	Años	25
Depreciación Obras Civiles Fiscal	Años	20
Depreciación Equipos Fiscal	Años	10
Vida útil del proyecto	Años	50

Fuente: Estudios Hidroituango 2007

8.2.2.2. Parámetros Económicos: El tipo de moneda, es Dólar de los Estados Unidos, a una tasa de cambio de 2,014.76 COP/USD a diciembre 21 de 2007 y el precio de la energía se tomaron para efecto de la simulación 100 series de precios, arrojados por el MPODE para el horizonte 2007 – 2027, según estudios económicos realizados por EPM.

Para el precio de largo Plazo, a partir del 2027 en adelante, se consideró el Costo Marginal de largo plazo la tecnología de expansión (carbón), el crecimiento de la tarifa es en valores constantes de diciembre 31 de 2007 y la tasa de descuento o WACC es del 12,9% anual en términos corrientes.

- Períodos: los períodos preoperativos considerados, son los siguientes:

En una etapa: Se considera un período total de 10 años: 1 año de preinversiones (en estudios, diseño, contratación entre otros), y 9 años de construcción, en el último de los cuales se inicia el proceso de producción de energía con la entrada en servicio de las ocho (8) unidades de generación.

En dos etapas: Se considera un período de 13 años: 1 año de preinversiones (estudio, diseños, contratación, entre otros), y 12 años de construcción. En los 10 primeros años se instalan 1.200 MW con los cuales se inicia el proceso de producción de energía, con la entrada en servicio de 4 unidades de generación; en los últimos 3 años se instalan 1.200 MW adicionales.

8.2.2.3. Esquema de Financiación: Para efecto de la financiación del proyecto, se consideró que esta se lleva a cabo a través de una financiación tradicional bajo los siguientes supuestos:

Tasa de Interés: Líbor 6%, Spread: 3,50% y Plazo: 15 años.

Deuda / Patrimonio (Equity): Estructura 60% deuda y 40% patrimonio incluida capitalización de los intereses.

Inversión Total del Proyecto: En una etapa: USD 2,290 millones, incluye garantías durante la constitución del proyecto; no incluye los intereses preoperativos. El valor total de la inversión tiene la siguiente composición: Terreno USD 10.8 millones, obras civiles USD 1,383.61 millones, equipos electromecánicos USD 707.63 millones, ingeniería USD 169.61 millones, garantías USD 26.6 millones y costos ambientales USD 63.4 millones.

En dos etapas: USD 2,325 millones, incluye garantías durante construcción del proyecto, no incluye los intereses preoperativos. El valor total de la inversión tiene la siguiente composición: Terrenos USD 10.8 millones, obras civiles USD 1,338.37 millones, equipos electrónicos USD 715.13 millones, ingeniería USD 170.25 millones, garantías USD 27.9 millones y costos ambientales USD 63.4 millones.

8.2.2.4. Flujo de Desembolsos Pre-operativos: En la tabla 10, se muestra el flujo de caja, el cual refleja los desembolsos proyectados a partir del 2008 al 2017.

Tabla 8. Flujo de desembolsos en una etapa – cifras en millones de USD 2007

AÑO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Predios		3,30	3,85	3,65							10,8
Costos Ambientales		0,88	1,04	8,99	11,07	11,18	12,34	6,8	9,03	2,07	63,4
Infraestructura		31,36	58,38	21,26							111
Obras civiles				179,4	221,04	223,3	246,5	135,7	180,22	41,3	1227
Equipos				73,73	90,82	91,73	105,8	55,76	74,05	17	508,8
Aranceles				9,26	11,41	11,53	13,29	7,01	9,3	2,13	63,93
IVA				11,34	13,97	14,11	16,27	8,57	11,39	2,61	78,26
Imprevistos				8,2	10,1	10,21	11,77	6,2	8,24	1,89	56,61
Ingeniería	6,86	10,47	4,47	21,55	26,55	26,82	29,99	16,3	21,65	4,96	169,6
Desembolso Anual	6,86	46,01	67,74	337,4	384,96	388,8	435,9	236,4	313,88	71,9	2290

Fuente: Integral S.A

A continuación se presenta en la tabla 9, los imprevistos como un porcentaje de los costos aplicados a los diferentes rubros.

Tabla 9. Imprevistos como porcentaje de los costos

Concepto	Porcentaje (%)
Terrenos	15
Ambientales	15
Obras Civiles	
Infraestructura	15
Presa	15
Obras subterráneas	15
Equipos Electromecánicos	
Equipos Mecánicos asociados a las obras civiles	8
Principales	8
Secundarios	8
Ingeniería y Administración	8
Diseño	8
Interventoría	8
Asesoría	8
Administración	8

Fuente: Integral S.A

8.2.2.5. Período operativo: Para el período operativo, se tiene en cuenta los egresos (costos) y los ingresos, como se describe a continuación.

Egresos (Costos): Los egresos están conformados por: Normativos y regulatorios, impuestos, seguros, garantías y otros, costos anuales de administración, operación y mantenimiento y la depreciación.

Normativos y Regulatorios:

Transferencias del sector eléctrico: Ley 99 de 1993 Art. 45. Las empresas generadoras de origen hidráulico cuya potencia nominal instalada supere los 10 MW, transferirán el 6% de sus ventas brutas por generación propia, de acuerdo con la tarifa que para venta en bloque señaló la CREG en las resoluciones CREG 060/95 y 135/96. Especialmente para el año 2007 es de 52.70 COP/KWh y se calcula así:

Transferencia = Generación real kWh*6%*52.70 COP/KWh

Tasas por utilización de aguas: Ley 99/93 Art. 43. Todo proyecto que involucre en su ejecución el uso de agua tomado de fuente directa y que requiere licencia ambiental (...) deberá destinar no menos del 1% del total de la inversión en obras civiles para recuperación de la cuenca. Para el caso de Pescadero Ituango, el 100% de este costo se distribuyó en la vida útil del proyecto 50 años.

Cargo por servicios del Centro nacional de Despacho CND: Resolución CREG-110 de 2006 Art. 1 y 3. Los generadores y comercializadores conectados al Sistema Interconectado Nacional SIN pagará al CND, mensualmente cargos por los servicios de despacho y coordinación. Los generadores que se encuentran conectados al SIN, pagarán el primer día de cada mes a liquidar, el 50% de ingreso regulado del CND, a prorrata de la capacidad instalada en kW. Aplicación: A continuación se presenta, con precio de 2007, lo que el proyecto pagaría por generación en proporción a su capacidad instalada efectiva. Para los años siguientes se hizo el cálculo teniendo en consideración el plan de expansión proyectado para cada escenario.

A = Capacidad Instalada del SIN a 31 de dic de 2007 = 13,490

B = Capacidad Instalada del proyecto 2.400 MW

C = Ingreso del mes t por costos operativos del CND = 2,105.83 millones de pesos (IPPt / IPPo)

E = Ingreso del mes t por costos de remuneración al patrimonio del CND = 44,49 millones de pesos (IPPt / IPPo)

$$\text{Cargo CND} = (C+D+E) * 50\% * (B/A)$$

- Pagos por servicios al Administrador de Sistema de Intercambios comerciales ASIC: Resolución CREG 110 de 2006 Art. 1 y 2. A partir del 1 de enero y para el año 2007, se establecen los siguientes ingresos regulados mensuales por concepto de los servicios prestados por el ASIC en millones de pesos:

A = Capacidad Instalada del SIN a 31 de diciembre de 2007 = 13,490

B = Capacidad Instalada del proyecto 2.400 MW

C = Ingresos del mes t por costos operativos del ASIC 1,229.58 millones de pesos

D = Ingresos del mes t por costos de inversión y proyectos del ASIC 229.84 millones de pesos

E = Gravámen a los movimientos financieros 4% ó 5,93 millones de pesos

F = Ingresos del mes t por costos de remuneración al patrimonio del ASIC = 22.25 millones de pesos (IPPt / IPPo)

El proyecto pagaría por generación en proporción a su capacidad instalada efectiva, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{ASIC} = (C+D+E+F) * 50\% * (B/A)$$

Al igual que para los cargos por servicios del CND, para la proyección de pagos al ASIC se consideró la proyección de la capacidad instalada del SIN teniendo en cuenta los escenarios de expansión de generación del sistema.

- Contribución CREG: La ley 142 de 1994, artículo 85 y la Ley 143 de 1994 artículo 22 y Circular CREG 10 de 2001. Con el fin de recuperar los costos de regulación, las entidades prestadoras de servicios públicos deberán pagar cada año como tarifa máxima el 1% del valor de los gastos de funcionamiento; excluyendo los gastos de funcionamiento las compras de electricidad, compras de combustibles y peajes cuando hubiere lugar a ello.

- Contribuciones Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD: La ley 142 de 1994, artículo 85 y Resolución SSPD-2019 de 2001. Con el fin de recuperar los costos de control y vigilancia, las entidades prestadoras de servicios públicos deberán pagar cada año como tarifa máxima el 1% de valor de los gastos de funcionamiento, asociados al servicio sometido a vigilancia y control de entidad contribuyente en el año anterior al cobro; se excluye para el cálculo los gastos financieros de servicio de deuda, impuestos, tasas y contribuciones y provisiones,

agotamiento y amortizaciones, además se descuentan los gastos operativos de compra de energía, combustibles y los peajes.

Impuestos

- Impuesto de Industria y Comercio: Costos por Ley 56 de 1981 Art 7. Las entidades públicas o privadas de obras públicas para generación de energía, pagarán 5 COP/kW- instalado en la central generadora reajustado anualmente con el IPC Nacional. La tarifa para el 2007 es de 340.36 COP/kW instalado.
- Impuesto de Timbre: Ley 1111 de 2006, artículo 72. Se aplica una tasa de 1.5% para el año 2007, 1.0% para el año 2008, 0.5 para el año 2009 y 0.0% para el año 2010 y siguientes del valor de los contratos de venta de energía.
- Impuesto Predial: Ley 44 de 1990 Art. 1 Cada Municipio fija una tasa entre el 0.1% y el 6%. Para el proyecto Pescadero Ituango se optó por una tasa del 1.2% sobre las edificaciones que generen valor a la propiedad. Se tomó el costo de las obras sujetas al impuesto predial, como un 10% del costo del proyecto.
- IVA: Art. 258-2 ET – Tarifa general del impuesto 16%. Para el caso específico de pescadero Ituango, esta cifra se estima en USD 85.0 millones.
- FAZNI: Ley 1099 de 2006 Art. 1, resolución CREG 102 de 2006 proroga del cobro del FAZNI hasta el 31 de diciembre de 2014, equivalente a 1.0 COP/kwh del 2007 por KW despachado en bolsa y se indexa con el IPP.
- Gravamen a los Movimientos Financieros: Ley 1111 de 2006 Art. 41, todas las operaciones de retiro en efectivo de cuenta en depósito, corriente y ahorro pagarán un gravamen del 4 x 1000, se puede deducir hasta un 25% del impuesto sobre la renta (Art. 4).
- Activos Productores de Renta: Ley 1111 de 2006 Art. 8, deducción del 40% de los activos productores de renta, no incluye terrenos.
- Impuesto sobre la Renta: Ley 1111 de 2006 Art. 12. Se adopta la tarifa del 34% para el año 2007, para el año 2008 y siguiente el 33% sobre la renta gravable de cada período. Se estima un anticipo del 75% del impuesto sobre la renta del año gravable menos la retención en la fuente correspondiente al período del ejercicio fiscal, con lo cual se obtiene el anticipo a pagar (Art. 807 ET).

Seguros, Garantías y Otros: Seguros: Se estimó para las obras civiles y los equipos durante la operación una tarifa del 4.2% de la inversión durante la construcción.

Garantías: Para todas las garantías se estimó como costo de la comisión anual que debe pagarse a la entidad otorgante una tarifa del 2% sobre el monto a garantizar.

Costos anuales de Administración, Operación y Mantenimiento – AOM: Para este proyecto se estimaron los costos AOM en USD 9.0/KW – año, con base a la experiencia de los diferentes proyectos hidroeléctricos de la EPM.

Depreciación: Para efectos del cálculo del monto a pagar por concepto de impuesto sobre la renta Art. 137 del ET, se utiliza una depreciación lineal en 20 años para las obras civiles (incluyendo los intereses preoperativos como parte de la inversión), 10 años para los equipos. Para la parte contable o de libros se supone una depreciación lineal en 50 años para las obras civiles (incluyendo los intereses preoperativos como parte de la inversión), 25 años para los equipos.

Además de los anteriores egresos, que son propios del proyecto mismo, están los costos financieros resultantes de los créditos y las amortizaciones de los mismos.

Ingresos: Los ingresos están conformados por los ingresos operativos, valor de continuidad, ingresos por servicios complementarios, venta de certificados de reducción de emisión CER y precios.

Como ingresos no financieros asociados al proyecto se consideran los siguientes:

Ingresos Operativos: Se supone que la totalidad de la energía generada se comercializa en el Mercado de Energía Mayorista – MEM, mediante contratos de largo plazo. El precio de la energía incluye el Costo Equivalente Real de Energía – CERE más los Otros Costos Variables – OCVs (Fazni, Ley 99 y AGC) de manera que la parte de los ingresos provenientes de la remuneración del Cargo por Confiabilidad está incluida en el precio de la energía, y los excedentes del CERE que deben reintegrar o recibir el proyecto del Administrador del Mercado se cuantifican de manera explícita como un gasto o un ingreso.

Valor de continuidad: Se utiliza un valor de salvamento nulo. Este criterio se aplica para el caso en el que se está evaluando el proyecto como tal o cuando se supone que su propietario (punto de vista del inversionista) lo operará comercialmente, durante toda la vida útil supuesta para el proyecto.

Ingresos por Servicios Complementarios: No se estimaron ingresos complementarios pues estos exigen inversiones adicionales no consideradas en el estudio. Adicionalmente son ingresos considerados marginales frente a las ventas de energía y al ingreso de cargo por confiabilidad.

Venta de certificados de reducción de Emisiones CER: No se estimaron ingresos por este concepto

Precios: Para la estimación de precios se realizaron simulaciones de 20 años a través del MPODE. Los precios marginales utilizados en el modelo financiero son las 100 series arrojadas por el MPODE, realizado por EPM. Los valores obtenidos están en dólares constantes de diciembre 31 de 2007.

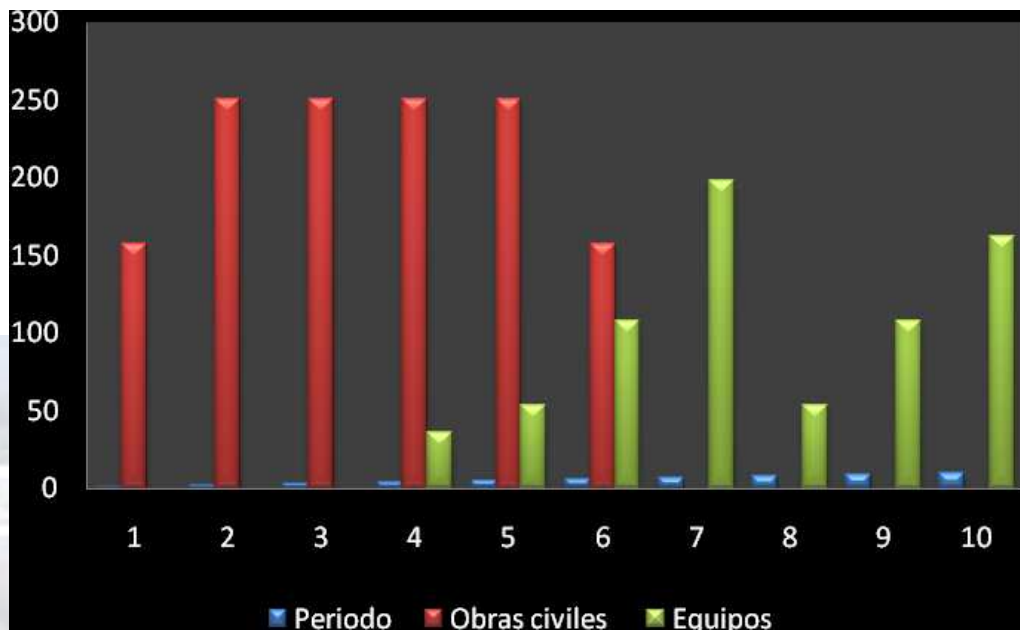
Flujo de Caja libre del proyecto Hidroeléctrico Ituango: Con base al flujo de caja del proyecto, se precisa lo siguiente:

Las inversiones corresponden a la capacidad en mega watios que tiene el proyecto a nivel potencial. Se parte de una inversión base de 2.290 USM, y éstas se amortiza durante los primeros diez (10) años.

Las dos principales inversiones del proyecto son las obras civiles y los equipos. La inversión en obras civiles se calcula como la diferencia entre la inversión base y el producto entre la capacidad instalada por los impuestos locales, que en este caso corresponden al 6%. En el horizonte del proyecto, se considera que la inversión en obras civiles se amortizara dentro de los primeros siete (7) años. En tanto, la inversión en equipos inicia en el año cuarto (4) hasta el año 10, es decir se invierte en equipos 6 años.

En el gráfico 14 se observa el comportamiento de las inversiones.

Gráfico 14. Comportamiento de las inversiones

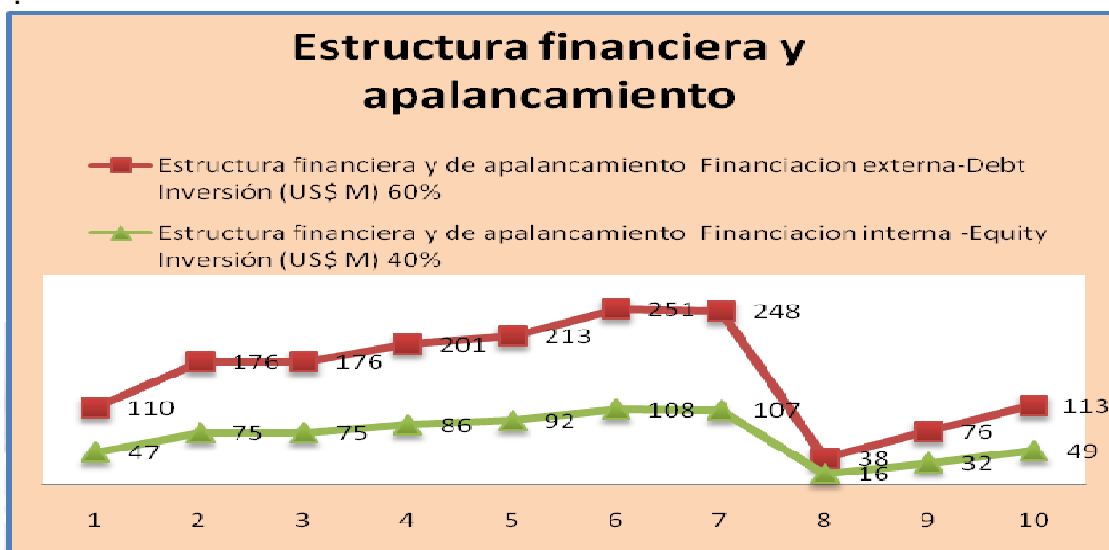


Fuente: Elaboración Autora

Las inversiones en obras civiles tuvieron un incremento promedio para el periodo en un 34%, y en equipos el incremento promedio durante el periodo es del 27%.

El proyecto es financiado con recursos externos e internos, en una relación del 60 - 40. Es decir que el proyecto se apalanca con fuentes externas provenientes de los créditos, especialmente con el Bando Interamericano de Desarrollo BID, a una tasa del 6% anual y el resto con aportes de sus socios. En el gráfico se observa el comportamiento de la estructura financiera del proyecto.

Gráfico 15. Estructura financiera y apalancamiento



Fuente: Elaboración Autora

Como se puede observar el proyecto es financiado en su 3 cuartas partes por créditos externos, lo cual le implicaría comprometer recursos en su flujo de caja, destinado al pago por servicio a la deuda, aunque el proyecto cuenta con periodos de gracia en la amortización.

El proyecto generará ingresos productos de tres fuentes importantes; operaciones en el mercado primario con una participación aproximada de un 51%, en el mercado secundario con un 32% y con 17% por generación de su capacidad instalada. Es decir que la empresa obtendrá la mayoría de los ingresos o márgenes de la venta en las bolsas o en operaciones en bolsa.

A nivel general el proyecto presenta resultados negativos durante los primeros siete años de vida, en razón a que este proyecto no genera ingresos durante este período, debido a que invierte durante este tiempo y la generación de ingresos es cero, en el período 8 (año 2017) entra en operación en concordancia con la estructura de sus inversiones en obras civiles, razón por la cual tiene flujos de caja negativos durante los primeros siete (7) años y positivos en los 18 años siguientes. Estos flujos de caja se descuentan a una tasa del 12,9%, generando un valor Presente Neto del 463 (US\$ MM), como resultado positivo al descontar la inversión inicial y es el parámetro para valorar el proyecto mediante opciones reales.

Consecuentemente como regla de decisión bajo el criterio del VPN, se puede concluir que el proyecto es viable o que es conveniente realizarlo, ya que el $VPN > 0$, por lo tanto este proyecto agrega valor.

Para efectos de los proyectos, el margen ebitda, se considera un indicador de eficiencia operacional. De acuerdo a los resultados de este proyecto, el Ebitda se comporta positivamente y de manera ascendente desde el año 8 (2017) al 25 (2037), pues los primeros 7 años no existen ingresos, ni se incurren en costos operacionales, aunque se está invirtiendo en el proyecto. El margen ebitda para este periodo es muy bueno, ubicándose en un rango entre el 68% al 83%. Estos resultados se explican porque los costos de operación crecen poco en relación con las expectativas de los ingresos que presentan altas tasas de crecimiento. Razón por la cual operativamente el proyecto ofrece ventajas o bondades económicas que permiten cubrir sus obligaciones financieras, apalancar las inversiones y generar utilidades. Desde el punto de vista de la caja, el proyecto con el ebitda como está considerado permite liberar caja para cubrir sus compromisos, considerando que se debe evitar que los costos se incrementen en proporción a los ingresos.

8.2.3 Aplicación del modelo de Opciones Reales al proyecto Hidroituango.

El desarrollo de este proyecto se realiza teniendo en cuenta la información recolectada sobre los diferentes tipos de Opciones Financieras, Opciones Reales y Métodos de Valoración, con el fin de valorar el proyecto con condiciones adicionales a las presentadas en los flujos de caja convencionales.

Este estudio fue preparado con base en información suministrada por Hidroituango, archivos que reposan en bibliotecas sobre el proyecto y por otras fuentes públicas, las cuales fueron modificadas para conservar cierta confidencialidad.

Adicionalmente se utilizaron algunos supuestos, proyecciones financieras y macroeconómicas, como se relacionan a continuación:

Tabla 10. Variables

TASA DE DESCUENTO	
Riesgo del proyecto	1,4%
Prima de la construcción	110,0%
Costo de capital	12,9%
Tasa libre de riesgo	4,2%
Prima de mercado	6,6%
Beta apalancada	0,81%

Tax	33,0%
Beta desapalancada	0,45%
BMBI + Colombia (Riesgo Pais)	1,7%

Fuente: Bloomberg, Bancolombia, Cálculos propios

De manera resumida, los pasos utilizados en la metodología de arboles binomiales son:

1. Identificación del activo subyacente
2. Determinación de la volatilidad del activo subyacente.
3. Construcción de los reticulados o ramificaciones
4. Interpretación del valor de la opción

Se toma como activo subyacente el VPN de los Flujos de Caja Libre del proyecto Hidroituango que refleja un valor de 463 (US\$ MM), cuyos ingresos provienen de la generación de energía. La volatilidad del activo subyacente está determinada por los costos variables asociados a la capacidad en KWh.

Para el proceso de valoración de opciones reales al proyecto Hidroeléctrico Ituango se realizó lo siguiente:

1. Simulación de los Flujos de Caja mediante el Método de Monte Carlo
2. Se identificó las opciones reales a valorar, las cuales son: Opción de venta y la opción de expandir. Estas opciones se valoran utilizando la metodología de opciones americanas, las cuales pueden ser ejercidas en cualquier fecha.
3. Se definió que el modelo a utilizar es el Método Binomial

Las variables determinísticas son las siguientes:

Tabla 11. Ingresos y costos asociados al proyecto Hidroeléctrico Ituango

INGRESOS	COSTO OPERACIÓN US\$/MWH
PRECIO MARGINAL BOLSA (US\$/MWH)	COSTOS Y AMORTIZACIÓN
CERE (US\$/MWH) Costo Equivalente Real de Energía	COSTOS OPERACIÓN
PRODUCCIÓN MWh	OPERACIÓN & MANTENIMIENTO
ENERGÍA FIRME (GWH)	TRANSFERENCIAS SECTOR ELÉCTRICO
ENERGÍA SECUNDARIA (GWH)	COSTOS DE AMORTIZACIÓN
INGRESOS VENTA BOLSA FIRME (US\$ MM)	AMORTIZACIÓN INVERSIÓN
INGRESOS VENTA BOLSA SECUNDARIA (US\$ MM)	PAGO INTERESES
INGRESOS POR CARGO CAPACIDAD (US\$ MM)	PAGO CAPITAL
	EJECUCIÓN ACUMULADA
	COSTO AMORTIZACIÓN US\$/MWH

Fuente: Elaboración Autora

A los costos de operación se le adicionó una volatilidad aditiva mediante la función aleatorio() en excel con relación directa a la capacidad de generación de energía media en MGh.

Cada una de estas variables se les asocio una distribución de probabilidad según su comportamiento en el flujo inicial del proyecto. Para ello se utilizó la herramienta computacional @RISK. Estas funciones representan una serie de posibles valores que podrían tomar las variables en cualquier instante de t.

La opción de vender y la opción de expandir, son análogas a una opción CALL sobre el valor presente de los flujos de caja operativos del proyecto una vez completado. La relación que nos permite valorar una opción call está dada por:

[Ec.12]

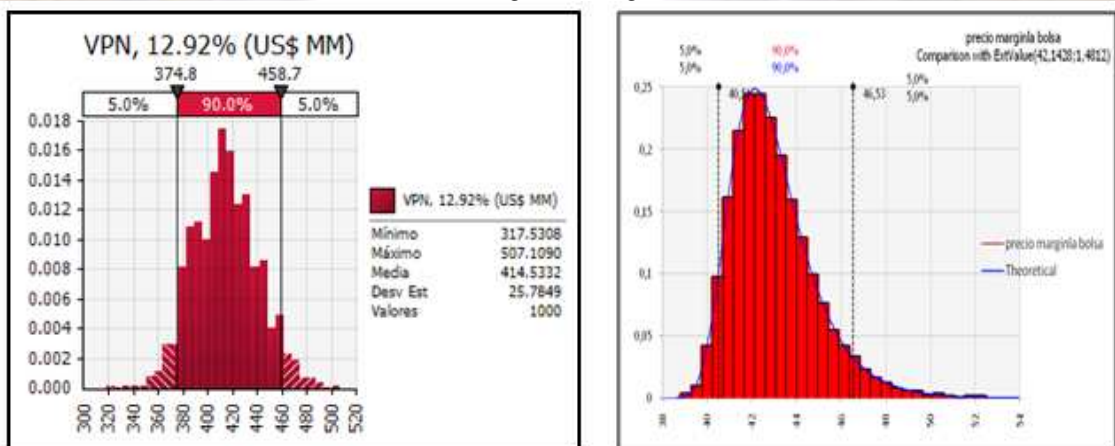
$$C_0 = \frac{1}{(1+r)^k} \left[\sum_{j=0}^k \frac{k!}{j!(k-j)!} p^j (1-p)^{k-j} C_j \right]$$

Donde: $P = (r+d)/(u+d)$ y

$$C_j = \text{MAX} \left[0, S(1+u)^j(1-d)^{k-j} - E \right]$$

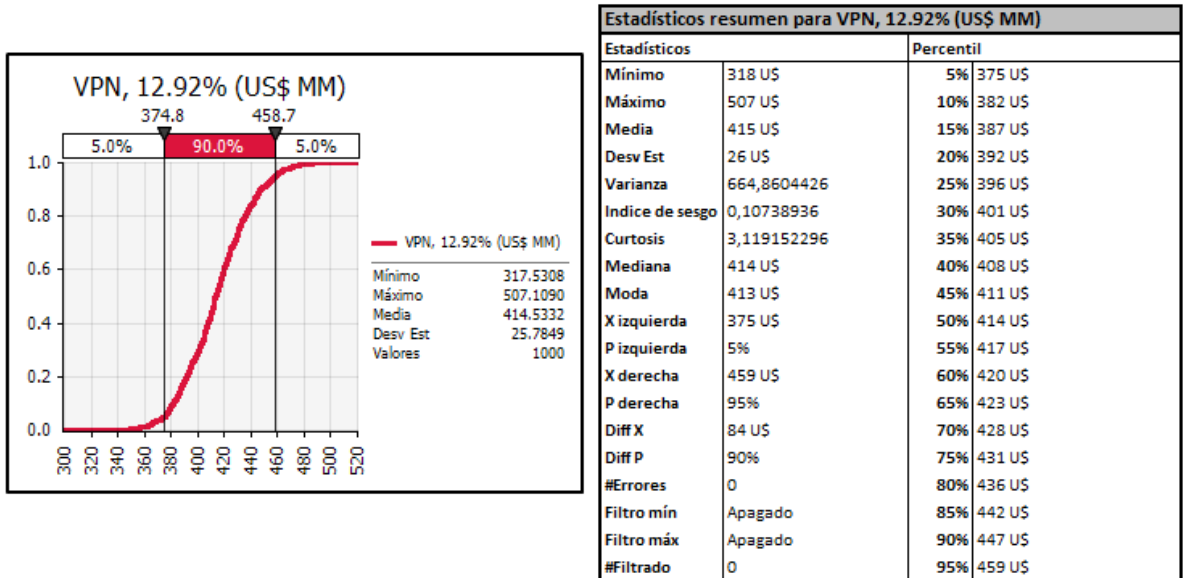
De acuerdo a los precios de la energía, se definió que la distribución que mejor se ajusta es la del valor extremo, con un nivel de significancia del 90% como se observa en los graficos 16, 17, 18 , con base al resultado de la simulación a través del programa @Risk.

Gráfico 16. Variables de salida - Precio Marginal Energía en Bolsa



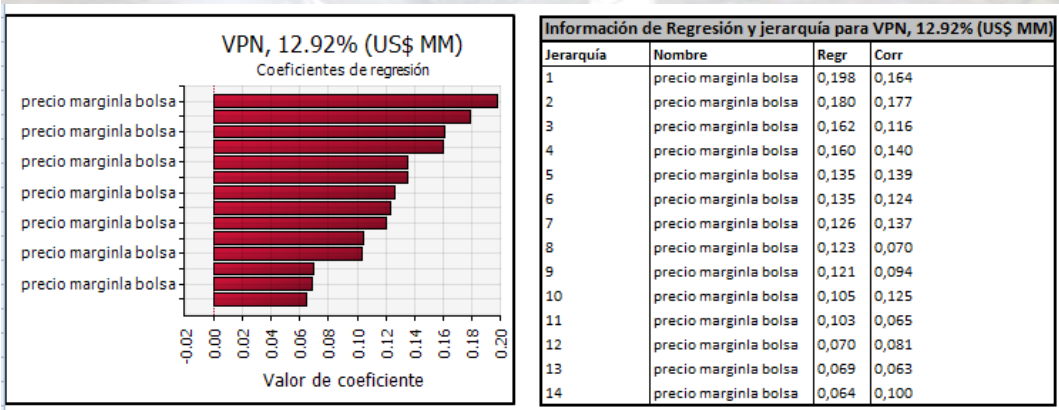
Fuente: Elaboración Autora aplicando @risk

Gráfico 17. Distribución variables de pronóstico



Fuente: Fuente: Elaboración Autora aplicando @risk

Gráfico 18. Análisis de sensibilidad Precio marginal energía en bolsa Vs coeficiente de correlación



Fuente: Elaboración Autora aplicando @risk

Con base a los flujos de caja que se anexos a este trabajo, se procede a realizar la valoración de la opción de venta, aplicando árbol binomial.

8.2.3.1 Opción de Venta. Teniendo en cuenta las características del proyecto, se procedió a realizar la valoración de la opción de venta (put option). Este proyecto se valora con la metodología de valoración de la opción financiera Call Americana,

teniendo en cuenta que puede ejercerse anticipadamente al tratarse de este tipo. La aplicación del modelo binomial, para la valoración de la opción de venta, se muestra en la tabla xxx, que contiene las variables que intervienen en dicha valoración:

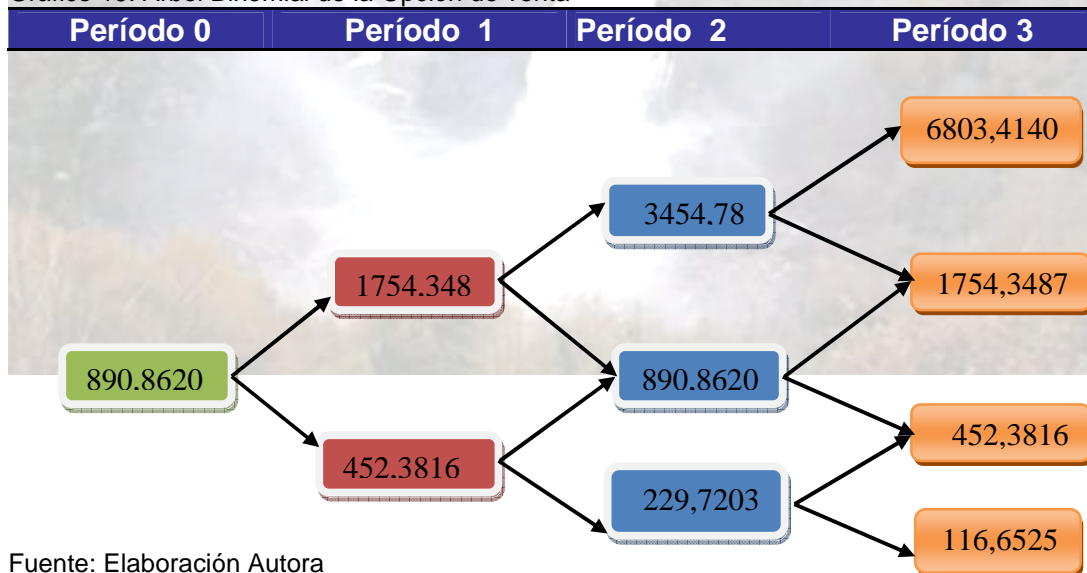
Tabla 12. Variables para la valoración de la opción de venta

VARIABLES PARA LA VALORACION DE LA OPCION DE VENTA		S	890,86
Tiempo hasta la expiración (en años)	3	X	471,43
Número de períodos	1	r	4%
Precio del activo subyacente:	USD	sigma	68%
Precio de ejercicio:	471	T	3,0000
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo	4,20%	dt	1,0000
Volatilidad anualizada:	68%	u	1,9693
		d	0,5078
		a	1,0429
		p	0,3661
		1-p	0,6339

Fuente: Elaboración Autora

En el gráfico se muestra el esquema de los posibles movimientos del precio del valor intrínseco de la opción de venta en la fecha de vencimiento.

Gráfico 19. Arbol Binomial de la Opción de venta



Fuente: Elaboración Autora

Como se observa, en cada uno de los nodos terminales se halló el valor de la opción.

VALOR DEL PROYECTO CON LA OPCION DE VENDER	527U\$
GANANCIA DEL INVERSIONISTA	55

Fuente: Elaboración Autora

8.2.3.2 Opción de Expansión. Las proyecciones de los precios del mercado energético para los próximos 25 años presentan una tendencia de crecimiento con respecto a los valores de ejercicio del presente período. Razón por la cual es aconsejable valorar el proyecto con la opción de expansión en un % de la capacidad de producción de energía MWh, para efectos del ejercicio el proyecto se expande con una nueva planta generadora de energía pasando de generar 13.900MWh a 13.905.MWh

El cambio de expansión vía crecimiento de la producción, trae consigo un aumento en los ingresos y en los costos del proyecto, estos últimos con un componente variable por capacidad de producción originando volatilidad moderada en los flujos de caja.

Con frecuencia esta opción se presenta en los proyectos en dos etapas: la primera en aceptar un proyecto con VPN negativo para retomar otro con acenso en los flujos de caja. Este proyecto se valora con la metodología de valoración de la opción financiera Call Americana.

$$\text{Valor del proyecto} = \text{VPN} + \text{Máx} [xVA1 - \text{AE}; 0]$$

X: % de crecimiento

VA: Valor de inversión

AE: Precio de ejercicio.

La aplicación del modelo binomial, para la valoración de la opción de expansión, se muestra en la tabla 13, que contiene las variables que intervienen en dicha valoración:

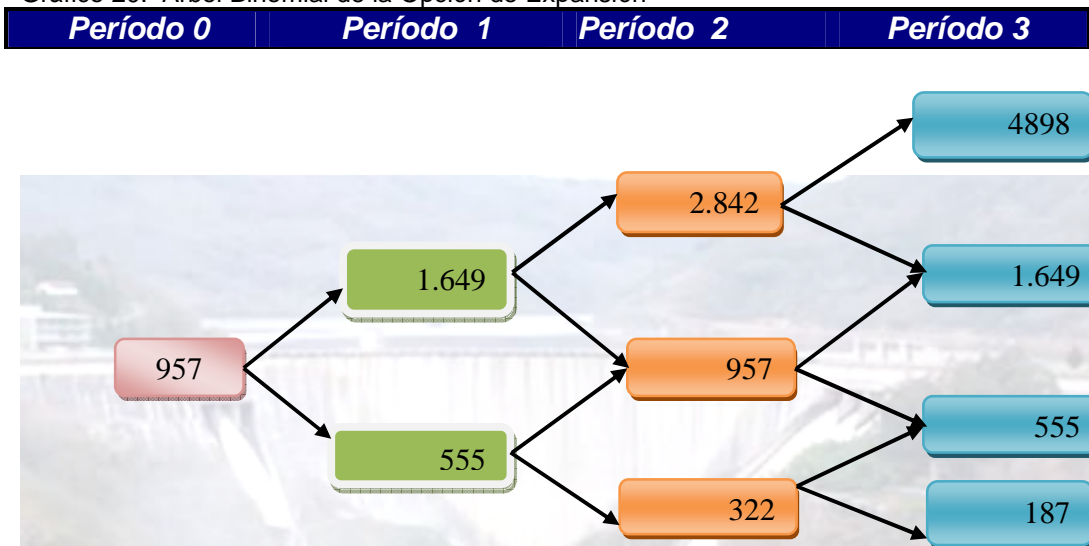
Tabla 13. Variables para la valoración de la opción de expansión

VARIABLES PARA LA VALORACION DE LA OPCION DE EXPANSION			
Tiempo hasta la expiración (en años):	3	S	956,7
Número de períodos	1	X	471,4
Precio del activo subyacente:	957	R	4%
Precio de ejercicio:	471	sigma	0,5
Tasa de interés sin riesgo a corto plazo:	4,20%	T	3,0
Volatilidad anualizada:	54%	dt	1,0
		U	1,7
		D	0,6
		A	1,0
		P	0,4
		1-p	0,6

Fuente: Elaboración Autora

En el gráfico 20 se muestra el esquema de los posibles movimientos del precio del valor intrínseco de la opción de expansión en la fecha de vencimiento.

Gráfico 20. Arbol Binomial de la Opción de Expansión



Fuente: Elaboración Autora

VALOR DEL PROYECTO CON LA OPCION DE EXPANSIÓN	898U\$
GANANCIA DEL INVERSIONISTA	426

Fuente: Elaboración Autora

Analizando los resultados tenemos que:

Con base a lo anterior, el valor del proyecto de \$527US\$MM si se ejerce la opción de venta, mediante la metodología de opciones reales y la ganancia de los inversionistas es de 55US\$MM; de igual manera, si se considera realizar la expansión del proyecto, mediante la metodología de opciones reales, sería de de 898US\$MM y la ganancia de los inversionistas es de 426US\$MM.

Con base a lo anterior, podemos observar que la valoración mediante opciones reales, refleja valores superiores al resultado mediante flujo de caja, por lo que el método de opciones reales, genera mayor valor, no solo para la empresa sino para los inversionistas.

9. CONCLUSIONES

Al realizar el ejercicio basado con Simulación Monte Carlo y Árboles Binomiales, se concluye lo siguiente:

Los proyectos o empresas Colombianos de generación de energía, pueden hacer uso de los modelos y soluciones propuestas para el caso específico realizando la valoración de una opción call americana para vender o expandir el proyecto, teniendo en cuenta que éste método permite valorar decisiones estratégicas más acertadas y acorde a la realidad que buscan los directivos de las empresas.

Considero que la metodología de opciones reales agrega valor a la empresa, puesto que involucra la estrategia de las organizaciones a lo largo del análisis financiero de las opciones, ya que como se demostró a lo largo de de este trabajo, esta alternativa permite reducir la incertidumbre y llevar a cabo racionamientos diferentes por parte de los directivos de las organizaciones.

El modelo elegido entre las alternativas consultadas, fue la simulación Montecarlo del FCL y su respectivo VPN, al considerar las opciones reales como un complemento a la valoración por flujos de caja; adicionalmente, teniendo en cuenta que la alternativa brinda facilidad para el cálculo por parte de los directivos.

A diferencia de los flujos de caja libre, El proyecto hidroeléctrico valorado con opciones reales de venta y de expansión, es mayor su valor si la situación a la que se enfrente en un momento dado le favorece financieramente.

En general, los modelos tradicionales de evaluación de proyectos, tienen en contra que son métodos rígidos que no permiten incorporar el valor de lo que se denomina opciones administrativas o reales. No obstante lo anterior, estos métodos clásicos de valoración son idóneos cuando se trata de un proyecto que no admite demora (ahora o nunca) pero infravaloran el proyecto cuando este admite una flexibilidad operativa u oportunidades de crecimiento contingente.

En general los modelos tradicionales de evaluación de proyectos como es el caso del VPN (valor presente neto), TIR (Tasa interna de retorno), entre otros, son

métodos rígidos de evaluación y tienden a subestimar el valor, lo que no permiten incorporar el valor de lo que se denomina *opciones reales*.

La teoría de valoración de *opciones reales* permite flexibilizar la modernización de los proyectos, puesto que permite la introducir cambios futuros en las decisiones de inversión para su aprovechamiento concreto, es decir, permite generar criterios de decisión cuando las condiciones cambian.

Con base a lo anterior, son los directivos quienes deciden o no si aprovechan las oportunidades que se presenta con la valoración mediante opciones reales y añaden o no valor a su gestión, de igual manera averiguar donde están estas opciones, valorarlas adecuadamente y corregir los modelos clásicos es un tema de la teoría de opciones reales.



10. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En la teoría de análisis de inversiones y valorización de proyectos, uno de los avances es la implementación de la valoración de opciones financieras a través de la aplicación de opciones reales o administrativas. Esta metodología está siendo utilizada por diferentes sectores; sin embargo en el sector eléctrico no ha sido muy utilizada, y la aplicación de ésta metodología ha sido más con fines académicos; por ello es recomendable que al determinar el valor económico de un proyecto, se rompa el paradigma de valoración aplicando métodos tradicionales como el VPN, TIR, entre otros y se adopte la valoración mediante Opciones Reales, por las bondades que éste ofrece a los inversionistas.

Con base a lo anterior, considero que el posterior trabajo podría orientarse a la valoración de proyectos de transmisión y comercialización de energía, independientemente si la empresa es pública, privada o con participación de recursos del Estado, teniendo en cuenta que el negocio del sector eléctrico cada día ha ido adquiriendo buen posicionamiento en el mercado, y que Colombia ha evolucionado en esta actividad de manera significativa, siendo hoy en día un sector eficiente y con prácticas de talla mundial.

BIBLIOGRAFIA

ADNER, R. and LEVINTHAL, D. "What is not a real option: Considering boundaries for the application of real options to business strategy". Academy of Management Review. 2004.

ALONSO, S. y Álvarez E. "Valoración de Empresas desde la perspectiva de las Opciones Reales: El caso de la Nueva Economía Forum" Simposio sobre Valoración y Análisis de Pymes, Universidad de Almería.

AMRAM, M. y KULATILAKA, N. Opciones reales. Evaluación de inversiones en un mundo incierto. Gestión. Harvard Business School Press. 2000

AVINASH K., Tixit and ROBER F, Pindyck. Investment Under Uncertainty. Copyright 1994.

BAILEY, William; BHANDARI, Ashish; FAIZ, Soussan; SNIRIVASAN, Sundaram; WEEDS, Helen. Valoración de las Opciones Reales. Oilfield Review. 2004.

BAUTISTO M. Rafael, CASTILLO A, Marly. Evaluación de Proyectos. Universidad de los Andes. Primera Edición 2010.

BECKER, J. "Tecnologías de Información estratégicas: Análisis y aplicación en una empresa forestal". Informe de Tesis. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 2001.

BELAUSTEGUI Ignacio, Valoración de Empresas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, apuntes de clases, 2002

BLACK, F. and SCHOLES, M. "The pricing of options and corporate liabilities". The Journal of Economy. 1973.

BOER, P. The real options solution: Finding total value in a high risky world. John Wiley and Sons. Inc N.Y. 2002.

- BOYER M., Christoffersen P., Laserre P. y Pavlov A. Value Creation, Risk Management and Real Options. Center for Interuniversity Research and Analysis on Organisations. 2003.
- BRILMAN Jean, Claude Maire. Manual de Valoración de Empresas, Madrid, Ediciones Díaz de Santos, 1990.
- BROADIE, M. and DETEMPLE, J. "Option pricing: Valuation models and applications". Management Science. Vol. 50, pp. 1145-1177. 2004.
- BROYLES, J. Financial Management and Real Options. John Wiley and Sons. Inc N.Y. 2003.
- BRUGMAN, A. Los Contratos Eléctricos a Futuro en Colombia. Memoria Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Bogotá D.C. 1996
- COPELAND, T. Koller T. and Murrin, J. "Valuation: Measuring and managing the value of companies". John Wiley & Sons. 2001.
- COPELAND, T. y ANTIKAROV, V. Real options: a practitioner's guide. Texere. N.Y. 2001.
- CORTÁZAR G., Lagos G. y Castillo A. "Evaluación de Opciones Reales mediante simulación: El método de mínimos cuadrados" Pontificia Universidad Católica de Chile, Dpto. Ingeniería Industrial y Sistemas. 2003.
- CORTAZAR G., M. Gravet and URZUA M.J. "The valuation of multidimensional american real options using computer based simulation". Pontificia Universidad Católica de Chile. 2004.
- DAMODARAN, Aswath. The Promise and Peril of Real Options. New York University - Stern School of Business 2005
- DENG, S. JOHNSON, B y SOGOMONIAN, A (1998). Exotic Electricity Options and the Valuation of Electriciti Generation and Transmission Assets. PSERC Report 98 – 13. En www.pserc.wisc.edu/inder_publications.html
- ESPITIA ESCUER, Manuel y PASTOR AGUSTIN, Gema. Documento de trabajo: Las opciones reales y su influencia en la valoracion de empresas. Departamento de Economía y Direccion de Empresas. Universidad de Zaragoza. Espana, 2003.
- FERNÁNDEZ P. "Valuing real options: frequently made errors". IESE Business School, Universidad de Navarra. 2001.

FERNANDEZ Pablo, Valoración de Empresas, Barcelona, Ediciones Gestión 2000.

GARRIDO, I. Análisis y estudio de metodología de opciones reales para la evaluación comparada de proyectos de inversión. Tesis para optar al título de ingeniero civil industrial. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 2003.

GARCÍA M., Juan. Opciones Reales. Aplicaciones de la teoría de opciones a las finanzas empresariales. Pirámide 2001.

GOMEZ M, Alberto. Valoración de empresas con opciones reales. Universidad Libre – Seccional Cali, Dirección Seccional de Investigaciones, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables. Cali-Colombia.

GRAVET, M. Valoración de opciones reales mediante simulación: El método de los mínimos cuadrados". Tesis para optar al grado de magíster. Pontificia Universidad Católica de Chile. 2003.

HOWE, Keith M. Real options and strategic decisions (strategic management). Strategic Finance. 2002.

HOWELL, S. y otros. Real Options: evaluating corporate investment opportunities in a dynamic world. Financial Times. Prentice Hall. 2001

HULL, John C., Mercados y Futuros de Opciones. Editorial Pearson Educación 2009.

KEARNEY, A. T. Inc. Real options = Real Value: Real option analysis accommodates uncertainty". 2005.

KULATILAKA, Nulin y AMRAM, Martha. Opciones Reales. Evaluación de Inversiones en un Mundo Incierto. Ed. Gestión 2000. 1999

LOPEZ LUBIAN, Francisco. Opciones reales y decisiones estratégicas. En: Revista de empresa. Numero 4. Abril-Junio 2003.

LUHERMANN.T. "Investment opportunities as real options: Getting started on the numbers". Harvard Business Review. N° 76, July - August 1998.

LUHERMANN, T. "What's it worth?". Harvard Business Review, pp 132-142. May - June 1997.

SCHWARZ E. and TRIGEORGIS L. "Real options and investment under

uncertainty: Classical readings and recent contributions". MIT Press. 2001.

MARTIN M. José Luis, Ponce Antonio, Manual de valoración de Empresas, Editorial Ariel S.A. Barcelona 2000.

MASCAREÑAS, Juan. Las decisiones de inversión como opciones reales: Un enfoque conceptual". Rev. Ejecutivos de Finanzas, nº 180. Agosto 2002. Argentina.

MASCAREÑAS, Juan y DIEZ de Castro. Ingeniería Financiera. La gestión de los mercados financieros internacionales. Mc Graw - Hill 1997.

MASCAREÑAS, Juan y PEREZ, Iñigo. Innovación Financiera. Aplicaciones para la Gestión Empresarial. Mc Graw - Hill 1999.

MEDINA H, Santiago. Matemática de Derivados Financieros. Memoria Doctorado en Fundamentos Estadísticos para la Toma de Decisiones Financieras y actuariales. Universidad Complutense de Madrid. 2002.

MUN, J. Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investment and Decisions. United States of America: John Wiley & Sons, 2002.

REVELO, José María. La valoración de los negocios, Editorial Ariel S.A, Barcelona 2004

RODRÍGUEZ Fernandez C. Valoración de Empresas, Centro de Estudios Financieros. 2000.

RODRIGUEZ, Gustavo. Real Options. Investigacion & Desarrollo - Departamento de Capacitacion & Desarrollo de Mercados. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina, marzo de 2001.

SALINAS, Mauricio. Modelos de Regresion y Correlacion IV: Correlacion de Spearman. En: Ciencia y Trabajo. Año 9, Numero 25. Julio/Septiembre 2007.

TRIGEORGIS, L. Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation. The MIT Press. (2000).

WALTERS, Chris y GILES, Tim. Using real options in strategic decision making. En: London Economics. Otono 2000.