

**VALORACIÓN DE OPCIONES MEDIANTE UNA TASA DE DESCUENTO
AJUSTADA POR EL RIESGO**

MARIALEJANDRA CASTILLO TORRES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
BUCARAMAMGA**

2013

**VALORACIÓN DE OPCIONES MEDIANTE UNA TASA DE DESCUENTO
AJUSTADA POR EL RIESGO**

MARIALEJANDRA CASTILLO TORRES

**Tesis presentada para optar al título en
Magíster en Ingeniería Industrial**

Director:

CARLOR ENRIQUE VECINO ARENAS, Ph.D.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
BUCARAMAMGA**

2013

DEDICATORIA

A Dios, quien hace posibles todas las cosas

A mis Padres Pablo Enrique y Blanca Cecilia, por ser fuente inagotable de amor.

A mis hermanitos Laura Catalina y David Santiago, mis más valiosos tesoros, que me llenan de alegría.

A Dani por acompañarme en este camino y por enseñarme el significado del amor.

Los adoro inmensamente!

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander, por promover la investigación, el crecimiento profesional y humano y por aportar a la construcción de una mejor sociedad.

A la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, a su cuerpo docente y administrativo; por hacer de este un lugar único.

A mi Director Carlos Enrique Vecino Arenas, por quien siento gran admiración y cariño, gracias por permitirme crecer tanto personal como profesionalmente, por brindarme la oportunidad de recorrer este camino y de aprender a su lado.

A todos los docentes, compañeros y amigos de la maestría, por brindar sus mejores consejos en pro de la mejora.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. REVISIÓN DE LA LITERATURA	19
1.1. Teoría de valoración de opciones financieras	19
1.2. Teoría de valoración de inversiones: opciones reales	24
1.3. Tasa de descuento para la valoración de opciones	30
1.4. Valoración de opciones utilizando simulación de Monte Carlo	35
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	38
2.1. Descripción del problema de investigación	38
2.2. Justificación del problema de investigación	40
2.3. Delimitación del problema de investigación	42
2.4. Reflexión crítica sobre el problema de investigación	42
2.5. Hipótesis fundamental	44
2.6. Objetivos	44
2.6.1. Objetivo general	44
2.6.2. Objetivos específicos	44
3. METODOLOGÍA	45
3.1. Valoración de opciones financieras	45
3.1.1. Datos de entrada.....	45
3.1.2. Cálculos preliminares	48
3.1.3. Cálculos para el análisis.....	50
3.2. Valoración de opciones reales	53
3.2.1. Desarrollo del modelo cuantitativo	53
3.2.2. Variables de entrada y de salida	54
3.2.3. Corrida de la simulación.....	55
3.2.4. Análisis de las variables de salida.....	55
4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	57

4.1. Valoración de Opciones Financieras:	57
4.2. Valoración de Opciones Reales	68
4.3. Metodología para la valoración de opciones con una tasa de descuento ajustada por el riesgo.	74
4.3.1. Valoración de opciones financieras.....	74
4.3.2. Valoración de opciones reales	75
CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equivalente de las variables de una opción de compra financiera a una opción de compra real.	26
Tabla 2. Acciones seleccionadas para la valoración de opciones	46
Tabla 3. Datos de Entrada para Dell (10/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	57
Tabla 4. Cálculos preliminares para Dell (10/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	58
Tabla 5. Cálculos para el análisis para Dell (10/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	61
Tabla 6. Datos de Entrada para Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	63
Tabla 7. Cálculos preliminares para Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	64
Tabla 8. Cálculos para el análisis para Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	67
Tabla 9. Resumen estadístico para la valoración del VPN del Proyecto	71
Tabla 10. Resumen estadístico para la valoración del VPN del Proyecto con opción	72
Tabla 11. Resumen estadístico para la valoración del VPN del Proyecto con opción	73
Tabla 12. Acciones que no pagan dividendos	84
Tabla 13. Datos de entrada para las Dell (11/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)	88
Tabla 14. Cálculos para el análisis para Dell (11/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	88
Tabla 15. Datos de entrada para las Dell (12/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)	90
Tabla 16. Cálculos para el análisis para Dell(12/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	90
Tabla 17. Datos de entrada para las Dell (16/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)	92
Tabla 18. Cálculos para el análisis para Dell (16/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	92

Tabla 19. Datos de entrada para las Dell (17/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)	94
Tabla 20. Cálculos para el análisis para Dell (17/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	94
Tabla 21. Datos de entrada para las Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)	96
Tabla 22. Cálculos para el análisis para Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	96
Tabla 23. Datos de entrada para las Dell (19/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)	98
Tabla 24. Cálculos para el análisis para Dell (19/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	98
Tabla 25. Datos de entrada para las Dell (20/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)	100
Tabla 26. Cálculos para el análisis para Dell (20/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011).....	100
Tabla 27. Datos de entrada para las Dell (10/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)	102
Tabla 28. Cálculos para el análisis para DELL (10/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	102
Tabla 29. Datos de entrada para las Dell (11/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)	104
Tabla 30. Cálculos para el análisis para Dell (11/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	104
Tabla 31. Datos de entrada para las Dell (12/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)	106
Tabla 32. Cálculos para el análisis para Dell (12/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	106
Tabla 33. Datos de entrada para las Dell (13/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)	108
Tabla 34. Cálculos para el análisis para DELL (13/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	108
Tabla 35. Datos de entrada para las Dell (16/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)	110
Tabla 36. Cálculos para el análisis para Dell (16/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	110
Tabla 37. Datos de entrada para las Dell (17/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)	112

Tabla 38. Cálculos para el análisis para Dell (17/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	112
Tabla 39. Datos de entrada para las Dell (19/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)	114
Tabla 40. Cálculos para el análisis para Dell (19/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	114
Tabla 41. Datos de entrada para las Dell (20/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)	116
Tabla 42. Cálculos para el análisis para Dell (20/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011).....	116
Tabla 43. Datos de entrada para las acciones escogidas (14/06/2011) con una fecha de vencimiento (16/07/2011).....	118
Tabla 44. Cálculos preliminares para las acciones escogidas (14/06/2011) con una fecha de vencimiento (16/07/2011).....	118
Tabla 45. Cálculos para el análisis para Ford (14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011).....	119
Tabla 46. Cálculos para el análisis para Yahoo (14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011).....	120
Tabla 47. Cálculos para el análisis para Sprint Nextel (14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011).....	121
Tabla 48. Cálculos para el análisis para Apple (14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011).....	122
Tabla 49. Cálculos para el análisis para Micron Technology(14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011).....	123

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Movimiento Browniano Geométrico para el precio de una acción.....	21
Gráfica 2. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (18/06/2011) para un precio de \$15.	58
Gráfica 4. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (18/06/2011) para un precio de \$18.	59
Gráfica 5. Comparación de los precios de las opciones para Dell (18/06/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	61
Gráfica 6. Distribución del pago esperado para la opción de Dell(18/06/2011) con un precio de ejercicio de US\$15.	62
Gráfica 7. Distribución del pago esperado para la opción de Dell (18/06/2011) con un precio de ejercicio de US\$16.	62
Gráfica 8. Distribución del pago esperado para la opción de Dell (18/06/2011) con un precio de ejercicio de US\$18	63
Gráfica 9. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (21/05/2011) para un precio de US\$15.	64
Gráfica 10. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (21/05/2011) para un precio de US\$16.	64
Gráfica 11. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (21/05/2011) para un precio de US\$18.	65
Gráfica 12. Distribución del pago esperado para la opción de Dell (21/05/2011) con un precio de ejercicio de \$15	65
Gráfica 13. Distribución del pago esperado para la opción de Dell (21/05/2011) con un precio de ejercicio de \$16	66
Gráfica 14. Comparación de los precios de las opciones para Dell (21/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	67
Gráfica 15. Distribución normal para la variación de los precios del gas.	69
Gráfica 16. Distribución log normal para las reservas probadas del campo de gas	70
Gráfica 17. Valor presente neto del proyecto (BUSD)	71
Gráfica 18. Valor presente neto del proyecto con opción	72
Gráfica 19. Valor esperado de la opción.....	73
Gráfica 20. Comparación de los precios de las opciones para Dell (11/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	89

Gráfica 21. Comparación de los precios de las opciones para Dell(12/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	91
Gráfica 22. Comparación de los precios de las opciones para Dell16/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	93
Gráfica 23. Comparación de los precios de las opciones para Dell (17/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	95
Gráfica 24. Comparación de los precios de las opciones para Dell (18/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	97
Gráfica 25. Comparación de los precios de las opciones para Dell (19/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	99
Gráfica 26. Comparación de los precios de las opciones para Dell (20/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	101
Gráfica 27. Comparación de los precios de las opciones para DELL(10/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	103
Gráfica 28. Comparación de los precios de las opciones para Dell (11/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	105
Gráfica 29. Comparación de los precios de las opciones para Dell (12/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	107
Gráfica 30. Comparación de los precios de las opciones para Dell (13/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	109
Gráfica 31. Comparación de los precios de las opciones para Dell (16/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	111
Gráfica 32. Comparación de los precios de las opciones para Dell (17/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	113
Gráfica 33. Comparación de los precios de las opciones para Dell(19/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	115
Gráfica 34. Comparación de los precios de las opciones para DELL (20/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	117
Gráfica 35. Comparación de los precios de las opciones para Ford (16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	119
Gráfica 36. Comparación de los precios de las opciones para Yahoo(16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	120
Gráfica 37. Comparación de los precios de las opciones para Sprint Nextel (16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	121
Gráfica 38. Comparación de los precios de las opciones para Apple (16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	122
Gráfica 39. Comparación de los precios de las opciones para Micron Technology (16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.	123

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Selección de las acciones para la valoración	84
ANEXO B. Resultados obtenidos del valor de las opciones para las acciones escogidas.	87

RESUMEN

TÍTULO: VALORACIÓN DE OPCIONES MEDIANTE UNA TASA DE DESCUENTO AJUSTADA POR EL RIESGO.*

AUTOR: MARIALEJANDRA CASTILLO TORRES**

PALABRAS CLAVE: Opciones, tasa de descuento ajustada por el riesgo, simulación de Monte Carlo.

Desde la aparición de la teoría de opciones tanto financieras como reales estas han sido utilizadas ampliamente; las primeras como instrumentos de cobertura y especulación dentro del mercado financiero y las segundas como herramienta para la toma de decisiones en la función de presupuesto de capital de las empresas. Sin embargo, desde su nacimiento, la valoración de opciones financieras y reales ha estado ligada al trabajo desarrollado en 1973 por Black & Scholes, las primeras porque los métodos que se han propuesto para realizar las valoraciones conservan supuestos del modelo inicial y las segundas porque con su nacimiento estos supuestos se trasladaron directamente a la valoración sin considerar que el mundo real. De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la valoración de opciones se encuentra limitada por los supuestos iniciales; uno de estos supuestos es la valoración neutral al riesgo; considerando que en el mundo real un inversionista siempre desea obtener una prima por el riesgo que enfrenta en cualquier inversión y que los inversionistas no son aversos al riesgo, este trabajo propone una metodología para la valoración de opciones financieras y reales con una tasa de descuento ajustada por el riesgo, utilizando la simulación de Monte Carlo como herramienta, ya que esta permite modelar cualquier tipo de proceso estocástico, ya sea que cuente o no con una solución analítica.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.
Director UIS: CARLOS ENRIQUE VECINO ARENAS, Ph.D..

ABSTRACT

TITLE: OPTION VALUATION USING RISK ADJUSTED DISCOUNT RATES.*

AUTHOR: MARIALEJANDRA CASTILLO TORRES**

KEY WORDS: Options valuation, Risk adjusted discount rate, Monte Carlo simulation.

Since the emergence of the theory of both financial and real options they have been used widely, the former as instruments of hedging and speculation in the financial market and the latter as a tool for decision-making in the capital budget feature companies. However, since its inception, the valuation of financial and real options has been linked to the work done in 1973 by Black & Scholes, first because the methods that have been proposed for ratings retain initial model assumptions and the latter because birth these assumptions were transferred directly to the assessment without considering the real world. According this, the valuation of options is limited by the initial assumptions, one of these assumptions is the risk-neutral valuation, considering that in the real world an investor always want to get a premium for the risk faced in any investment and that investors are risk averse, this paper proposes a methodology for the valuation of real and financial options with a discount rate adjusted for risk using the Monte Carlo simulation as a tool, as this allows to model any type stochastic process.

* Degree Thesis

** Faculty of Mechanics & Physics. School of Industrial and Business Studies. Work directed by. Carlos Enrique Vecino Arenas, Ph.D.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de la teoría financiera las opciones financieras y reales han sido utilizadas ampliamente; las primeras como instrumentos de cobertura y especulación dentro del mercado financiero y las segundas como herramienta para la toma de decisiones en la función de presupuesto de capital de las empresas. Sin embargo, desde su nacimiento, la valoración de opciones financieras y reales ha estado ligada al trabajo desarrollado en 1973 por Black & Scholes, las primeras porque los métodos que se han propuesto para realizar las valoraciones conservan supuestos del modelo inicial y las segundas porque con su nacimiento estos supuestos se trasladaron directamente a la valoración sin considerar que el mundo real se comporta de manera diferente a los mercados financieros. Con base en esto, diversos autores han cuestionado la validez de dichos supuestos de acuerdo a las necesidades de valoración y aplicación de las opciones financieras y reales, para que su resultado se ajuste a los fenómenos y variables que afectan la valoración. Entre los supuestos para la valoración de opciones tanto financieras como reales, se encuentra la valoración neutral al riesgo, premisa según la cual todos los inversionistas son indiferentes ante el riesgo. Sin embargo, en el mundo real, los inversionistas desean recibir una prima por el riesgo al que se ven expuestos en las inversiones que realizan.

En este sentido, y ante este vacío, este trabajo centra su interés en realizar una propuesta de valoración de opciones mediante una tasa ajustada por el riesgo, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis: la valoración de opciones en un entorno real mediante una tasa de descuento ajustada por el riesgo con una prima apalancada en función de la variabilidad relativa de los flujos esperados de la opción respecto a la variabilidad del activo subyacente, se erige como una alternativa a la valoración en un entorno neutral al riesgo.

Para ello, la metodología estará definida por la valoración de opciones financieras en el mundo neutral y se comparará con la valoración de opciones financieras en el mundo real, utilizando la simulación de Monte Carlo, herramienta que permite modelar cualquier proceso estocástico, ya sea que cuente o no con una solución analítica; posteriormente se realizará la valoración ajustada por el riesgo de una opción real, considerando un ejemplo encontrado en la literatura; seguidamente se depurará y sintetizará la metodología, y, finalmente, se aceptará o rechazará la hipótesis y se obtendrán conclusiones respecto de dicha metodología.

Este documento se encuentra organizado en cinco partes. En la primera se presentan las bases conceptuales utilizadas para su desarrollo; se incluye una revisión de las metodologías y teoría para la valoración de opciones financieras y reales, el uso de la tasa de descuento ajustada por el riesgo en la valoración de opciones y por último el uso de la simulación de Monte Carlo en la valoración de las opciones. En la segunda parte se describe, de forma específica, el problema de investigación abordado, se muestran los objetivos planteados y la hipótesis que se desea comprobar. En el tercer capítulo se expone el desarrollo metodológico de esta investigación; en esta parte se muestra en detalle la forma como se evaluará la opción financiera y la opción real. Los resultados de la investigación y su análisis se muestran en la cuarta parte. Finalmente, las conclusiones y observaciones derivadas del análisis de los resultados obtenidos, se presentan en el quinto capítulo.

1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El presente capítulo está dividido en cuatro secciones y tiene como fin revisar las bases del contexto de desarrollo de la investigación. En primer lugar, se realiza una revisión de los principales modelos para la valoración de opciones financieras teniendo en cuenta los supuestos que estos utilizan. En la segunda sección se realiza una descripción de la valoración de opciones reales y las diferentes metodologías que se han desarrollado para su valoración. En tercera instancia se trata específicamente el supuesto de valoración de las opciones tanto financieras como reales con una tasa libre de riesgo. Finalmente, se revisa la utilización de la simulación de Monte Carlo como una técnica apropiada para la valoración de opciones.

1.1. Teoría de valoración de opciones financieras

Una opción es un contrato mediante el cual su propietario adquiere el derecho, más no la obligación, de comprar (opción *call*) o vender (opción *put*) un activo a un precio y en una fecha especificada previamente. Si el ejercicio de la opción se realiza en cualquier momento antes de su vencimiento se trata de una opción americana, si por el contrario se realiza hasta el periodo de vencimiento se trata de una opción europea.

El desarrollo de las opciones financieras está íntimamente ligado al trabajo hecho por Black & Scholes en 1973¹, en el cuál los autores proponen una formulación analítica para la valoración de opciones; antes de esto las opciones financieras se habían transado por un tiempo, sin embargo, con la formulación hecha por estos autores fue posible encontrar un precio teórico que fuera igual para todos. En este sentido, la aparición de este modelo generó un gran cambio en la teoría financiera moderna y en la forma como se transan las opciones y otros derivados financieros.

¹ BLACK, Fisher y SCHOLEES, Myron. *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*. En: *The Journal of Political Economics*. Vol. 81, No. 3. 1973. p. 637-654.

Para el cálculo del modelo de Black & Scholes se consideran los siguientes supuestos: los mercados financieros no tienen costos de transacción ni impuestos; los títulos valores son perfectamente divisibles; la tasa libre de riesgo es constante e igual para todos los tiempos de ejercicio; el activo subyacente no paga dividendos; el precio de la acción, $S(t)$ sigue un proceso log normal.

$$\begin{aligned} \ln S_T - \ln S_0 &\approx \phi \left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma \sqrt{T} \right] \\ \ln S_T &\approx \phi \left[\ln S_0 + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma \sqrt{T} \right] \end{aligned} \quad [1]$$

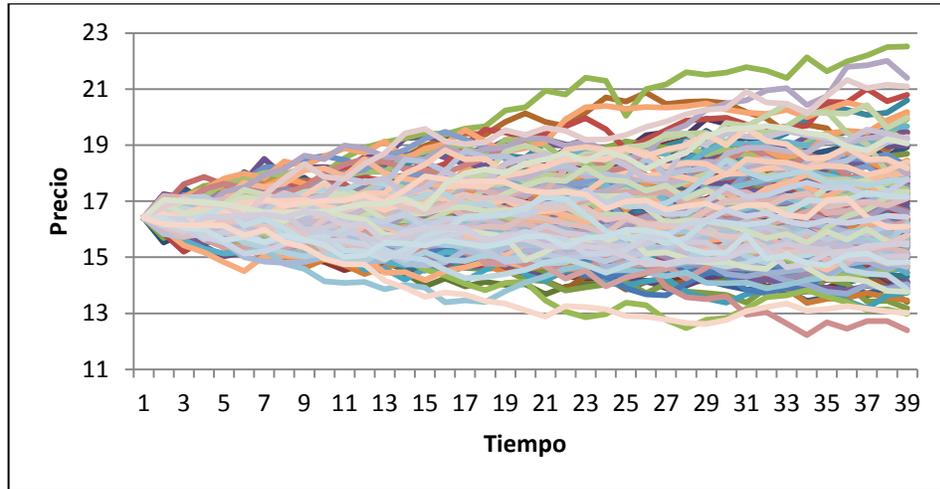
Donde S_T es el precio de la acción en el tiempo T , S_0 es el precio en tiempo cero y $\phi(m, s)$ es una distribución normal con media m y desviación s .

Asimismo, se supone que el activo subyacente sigue un proceso estocástico denominado movimiento browniano geométrico (en adelante MBG), también denominado caminata aleatoria.

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dz. \quad [2]$$

Donde la variable μ es el retorno esperado de la acción, σ es la volatilidad del precio de la acción y dz es un proceso de Wiener. La ejemplificación del proceso seguido por el precio de la acción puede verse en la gráfica 1.

Gráfica 1. Movimiento Browniano Geométrico para el precio de una acción.



Fuente: Los Autores

El modelo de Black & Scholes (B&S) para una opción de compra [3] y venta [4] europea es:

$$C(S,t) = SoN(d_1) - Xe^{-rT}N(d_2) \quad [3]$$

$$p(S,t) = Xe^{-rT}N(-d_2) - SoN(-d_1) \quad [4]$$

Donde:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right) \cdot T}{\sigma\sqrt{T}} \quad d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r - \frac{1}{2}\sigma^2\right) \cdot T}{\sigma\sqrt{T}}$$

Donde S_0 es el precio actual de las acciones, X es el precio de ejercicio, T el tiempo de la opción hasta el vencimiento en años, r es la tasa libre de riesgo y σ es la volatilidad del precio de la acción.

Desde la perspectiva de una opción de compra europea sin dividendos, en el momento T de ejercicio, el tenedor de la opción decidirá ejercerla o no

dependiendo del precio que el activo subyacente tenga en ese momento S_T . Si el activo está cotizando a un precio S_T menor o igual al precio de ejercicio X , evidentemente al tenedor le resultará preferible comprar el activo en el mercado y no ejercer la opción. En este caso se habla de que la opción está *out of the money* y por ende el pago esperado o utilidad de la opción es cero.

Si por el contrario el precio del activo S_T es mayor que el precio de ejercicio X , el tenedor obtendrá como pago esperado la diferencia entre el precio del mercado S_T y el precio de ejercicio X y se dice que la opción está *in the money*. Por tanto se puede expresar el pago esperado como:

$$\text{Pago esperado} = \text{Max}[0, S_T - X] \quad [5]$$

Entonces el valor de la opción estará dado por el valor presente de sus flujos de caja futuros, como se muestra en la ecuación 6.

$$c' = \text{Max}[0, E\{(S_T - X)e^{rT}\}] \quad [6]$$

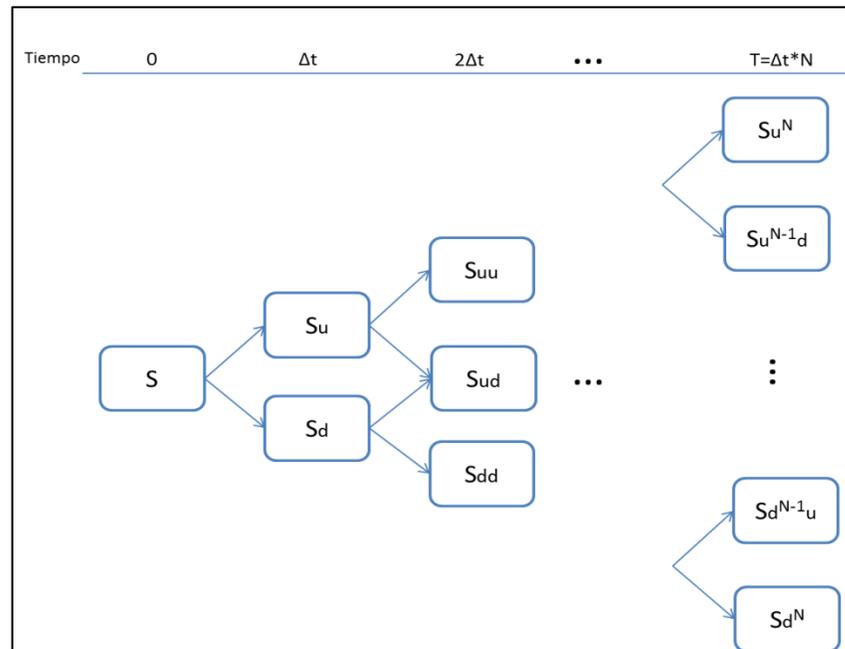
Para estimar el precio de una opción se utilizan diferentes metodologías, la principal y más conocida de todas es la que se acabó de exponer; no obstante a partir de la relajación de los supuestos de este modelo surgen otros modelos, que igualmente permiten calcular el precio de las opciones.

Frente al modelo propuesto por B&S, Cox, Ross & Rubinstein², desarrollan los árboles binomiales como una alternativa a la complejidad de las matemáticas empleadas por B&S, logrando obtener los mismos resultados con matemáticas elementales. Mediante este modelo, diseñado según el principio de iteración, es

² COSS, Jhon. ROSS, Stephen y RUBINSTEIN, Mark. *Options Valuation: A Simplified Approach*. En: *The Journal of Financial Economics*. Vol.7. 1979. P. 229-263

posible la valoración de opciones americanas, ya que los cálculos se hacen considerando un tiempo discreto.

Ilustración 1. Ejemplo de árbol binomial



Fuente: Los Autores

De manera general el árbol binomial (ver ilustración 1) considera acciones cuyo precio es S_0 , y el valor de la opción sobre las acciones, cuyo precio es f . Para esta metodología se supone que durante un tiempo T las acciones se pueden mover tanto por encima como por debajo de S_0 ; el incremento proporcional en el precio de las acciones cuando hay movimientos hacia arriba es $u-1$ y el descenso proporcional en el precio de las acciones cuando hay un movimiento hacia abajo es $1-d$:

$$\begin{aligned} S_{0u}\Delta &= fu \\ S_{0d}\Delta &= fd \end{aligned}$$

Delta (Δ) es igual al incremento en el precio de la opción y la variación en el precio de las acciones cuando hay un movimiento entre nodos, debido a esto el portafolio no tiene riesgo y por tanto ganará la tasa libre de riesgo.

$$\Delta = \frac{fu - fd}{S_{ou} - S_{od}}$$

En el supuesto de riesgo neutral, el precio actual de la opción para una acción común sin dividendos es igual al valor esperado de sus pagos futuros descontados a la tasa libre de riesgo, dado por:

$$f = e^{rT} [pfu + (1 - p)fd] \quad [9]$$

Donde

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d} \quad [10]$$

De esta manera los métodos que se tienen como referentes son la fórmula creada por Black & Scholes y los árboles binomiales, técnicas que son usadas hasta la fecha para la valoración de opciones, si bien también se constituyen en el punto de partida para la creación de nuevas propuestas metodológicas que buscan acercarse de una mejor manera al funcionamiento real de los mercados.

1.2. Teoría de valoración de inversiones: opciones reales

Desde las finanzas corporativas se hace alusión a las decisiones que las empresas deben tomar para cumplir con el objetivo básico financiero; para esto una de las principales respuestas que los gerentes financieros deben contestar es ¿qué inversiones se deben llevar a cabo con el dinero del que disponen? La respuesta a esta pregunta tiene que ver con la función de presupuesto de capital,

encargada de la evaluación y selección de aquellas alternativas de inversión que incrementen el valor de la empresa.

Para lograr un buen desempeño en la función de presupuesto de capital, los gerentes se valen de herramientas y metodologías que les permiten organizar la información de la cual disponen a fin de poder tomar decisiones efectivas. Una de las herramientas más conocidas y utilizadas empresarialmente es la construcción de flujos de caja descontados, los cuales reciben su nombre de la utilización de una tasa de interés denominada de descuento o de oportunidad³; al considerar esta técnica para la valoración de inversiones se encuentran criterios como el cálculo del valor presente neto y el de la tasa interna de retorno, los cuales otorgan información para la toma de decisiones. Sin embargo, a pesar de que estas técnicas de valoración presentan ciertas ventajas, como ser sencillas de calcular, representar un criterio consecuente para evaluar cualquier proyecto y ser ampliamente aceptadas⁴, es claro que en el proceso de toma de decisiones de inversión está presente la incertidumbre; por tanto, la utilización de un modelo determinístico como el flujo de caja descontado puede conducir a subvalorar el resultado del proyecto.

Con el surgimiento del modelo de valoración de B&S, el pensamiento enfocado a las opciones afectó otras áreas de las finanzas diferentes al mercado financiero. El área de presupuesto de capital es el ejemplo más claro. En 1977 Myers⁵ sugirió que muchos de los proyectos realizados por las compañías contienen opciones reales; por ejemplo, en el caso de un proyecto de investigación que conste de múltiples fases, una compañía comenzará la siguiente etapa únicamente cuando

³ Los métodos más conocidos para realizar el cálculo de la tasa de descuento se encuentra el modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Method*) el cual se fundamenta en la relación rentabilidad y riesgo en un portafolio de inversión; y el WACC (*Weighted Average Cost of Capital*), el cuál pondera el costo que tienen las diferentes fuentes de financiación de que disponen las empresas para encontrar la tasa de oportunidad.

⁴ MUN, Johnathan. *Real Options and Monte Carlo Simulation versus traditional DCF Valuation in Layman's Terms*. p. 6

⁵ MYERS, Stewart. *Determinants of Corporate Borrowing*. *En: Journal of Financial Economics*. Vol 5. 1977. p. 147-175.

las fases anteriores sean exitosas, o en el caso de la construcción de una nueva fábrica que dependa del desarrollo del mercado, la compañía podrá decidir si expandir o abandonar el negocio.

El análisis de opciones reales se puede entender como un enfoque metodológico para la evaluación económica de activos de origen real que asigna valor a la flexibilidad, cuantificando la incertidumbre asociada a los proyectos de inversión⁶. Debido al aumento de la incertidumbre y a las deficiencias del enfoque del flujo de caja descontado relacionadas con que las variables no son predecibles, además de no capturar el valor de opciones como las de retrasar la inversión, aumentar o disminuir la producción o abandonar un proyecto determinado, se genera una creciente valoración de los activos mediante opciones reales.⁷ Una opción real se puede definir como la oportunidad, más no la obligación, de tomar una decisión con respecto a un activo real, si se hace la analogía con una opción financiera las variables de las que depende el valor de la opción se observan en la tabla 1.

Tabla 1. Equivalente de las variables de una opción de compra financiera a una opción de compra real.

Opción de compra real	Variable	Opción de compra financiera
Valor presente de los activos operativos que se van a adquirir	S	Precio de la acción
Inversión requerida para adquirir los activos del proyecto	X	Precio de ejercicio
Longitud de tiempo en que la decisión puede ser diferida	T	Tiempo hasta el vencimiento
Valor del dinero en el tiempo	r_f	Tasa libre de riesgo
Riesgo de los activos del proyecto	σ	Volatilidad del activo subyacente

Fuente: Modificado de Luehrman, Timothy. *Investment opportunities as real options: Getting started on the numbers*. Harvard Business Review. 1998. p. 4.

⁶ BARRIA, Carlos. Inversiones bajo incertidumbre en generación eléctrica: Aplicación de opciones reales y modelos de precios. Chile. 2008. P. 7. Tesis de Grado de Magíster en Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería.

⁷ DAMODARAN, Aswath. *The Promise and Perils of Real Options*. New York University Working Paper. 2005. P. 3. Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=1295849>

Desde su primera aplicación las opciones reales han sido replicadas en múltiples campos de estudio, como la exploración y explotación de recursos naturales, la industria farmacéutica, proyectos de I+D y proyectos de tecnología; debido a la naturaleza de alta incertidumbre en sus operaciones, estas industrias encuentran en las opciones reales, más que una metodología financiera, un aliado estratégico para llevar a cabo sus proyectos de inversión. A continuación se muestran algunas de las principales opciones reales que se presentan en los proyectos de inversión:

Opción de abandono. Se refiere a la acción de abandonar el proyecto al final de un primer periodo, luego de obtener un mal resultado. Esto significa que variables como precios y cantidades no están funcionando bien por cualquiera que sea el motivo, por lo que la administración preferirá abandonar el proyecto antes de someterse a pérdidas mayores.

Opción de expandir por etapas. Se deriva de la posibilidad que tiene un inversionista de emprender una opción, dependiendo del resultado de otra. Esto significa que puede protegerse del riesgo de pérdida, avanzando a una etapa siguiente en función del resultado de la etapa inmediatamente anterior.

Opción de expansión. Si los precios u otras condiciones del mercado se muestran más favorables de lo esperado, los administradores pueden acelerar la instalación del proyecto e incrementar la producción en un porcentaje determinado a partir de la inversión de un valor. Esto es similar a una opción de compra en la que se adquiere una parte porcentual adicional de la balanza básica del proyecto, pagando como precio de ejercicio.

Opción de espera. Con el método tradicional de inversiones se supone que el inversionista invierte en el momento inicial y pierde la oportunidad de invertir en el futuro, lo cual, en muchos casos, no coincide con la realidad. La forma correcta de hacer el cálculo es comparando la inversión de invertir ahora con la de invertir en

todos los momentos posibles del futuro. De esta manera se concluye que se debería invertir ahora únicamente si el Valor Presente Neto (VPN) del proyecto es mayor que el valor de la opción de esperar.

La teoría de opciones reales se ha convertido en un área de investigación muy importante luego del surgimiento del artículo de B&S, en tanto la analogía entre las opciones financieras y las opciones reales propició inicialmente la adopción directa de los modelos de valoración desarrollados y contrastados en el ámbito de los mercados financieros, directamente en el mundo real. No obstante, debido a que los supuestos aplicados para la valoración de las opciones financieras no son fácilmente replicables a los activos reales, se han desarrollado diferentes metodologías para el cálculo de las opciones reales, mediante diversos supuestos, herramientas y mecánicas de utilización; por tanto, en la literatura se encuentran diferentes puntos de vista acerca de cuál es el método que logra los mejores resultados.

Entre estos, el de Brennan y Schwartz⁸ es un clásico en la valoración de recursos naturales como opciones reales. Dicho método considera la conformación de un portafolio réplica, concepto tomado de las opciones financieras en las cuales la opción sobre una acción puede ser expresada como un cierto número de acciones y bonos; ahora bien, al tomar posiciones sobre estos títulos valores no existe riesgo, por lo tanto la opción se descuenta a la tasa libre de riesgo. Para el caso específico de aplicación, el portafolio réplica está formado por el valor de una mina de cobre y contratos a futuro de cobre; este desarrollo metodológico para la valoración de opciones considera que en el mercado es posible encontrar un título valor que se comporte de la misma manera que lo harían los flujos de caja del proyecto, para posteriormente tomar el modelo de B&S para calcular el valor de la opción.

⁸ BRENNAN, Michael y SHWARTZ, Eduardo. *Evaluating Natural Resource Investments*. En: *The Journal of Business*. Vol. 58, No. 2. 1985. pp. 135-157.

Por su parte, Copeland y Tufano⁹ utilizan también el concepto de portafolio réplica y proponen un modelo con base en los árboles binomiales, partiendo de que el modelo de B&S no es el único o el más apropiado para valorar opciones reales.

En este mismo sentido, el artículo de Luehrman¹⁰ presenta un enfoque que toma en cuenta las similitudes y diferencias entre el VPN y la valoración de opciones mediante la formulación hecha por B&S, para establecer una metodología en la que el valor del activo, al igual que el de la opción, se encuentran determinados por el VPN.

Autores como Copeland y Antikarov¹¹, y Brealy y Myers¹², dan origen al enfoque MAD (*Marketed Asset Disclaimer*), el cual no considera el concepto de portafolio réplica sino que calcula el valor del activo subyacente teniendo en cuenta el valor del proyecto sin opciones, lo que significa que no existe mejor réplica del proyecto que el proyecto mismo.

En el estudio hecho por Amram y Kulatilaka¹³, las opciones reales son definidas como parte de las opciones estratégicas en las cuales las decisiones de ejercicio están altamente estimuladas por el riesgo del mercado. Dentro de este trabajo se estudia el caso de exploración de petróleo, en donde el activo subyacente para el desarrollo de la opción, que es el valor de la extracción que proponen, es mejor calculado utilizando el flujo de caja descontado. Sin embargo, existe gran escepticismo acerca de la existencia de un “*twin security*” o portafolio réplica que

⁹ COPELAND, Tom y TUFANO, Peter. *A Real World Way to Manage Real Options*. En: *Harvard Business Review*. 1998. p. 4-16.

¹⁰ LUEHRMAN, Timothy. *Investments Opportunities as Real Options: Getting started in the numbers*. En: *Harvard Business Review*. 2004. p. 5.

¹¹ COPELAND, Tom y ANTIKAROV, Vladimir. *Real Options a Practitioners Guide*. Texere. New York. 2001.

En: BORISON, Adam. *Real Options analysis: Where are the Emperor's Clothes?* Standford University. 2003. p. 11.

¹² BREALEY, Richard y MYERS, Stewart. *Principles of Corporate Finance*. 7 ed. Mc Graw Hill. 2003. p.634

¹³ AMRAM, Martha. y KULATILAKA, Nalin. *Strategy and Shareholder value creation: The real options frontier*. En: *Journal of applied corporate finance*. 2000. Vol. 13, No 2. p. 14

se ajuste perfectamente al valor del flujo de caja. Adicionalmente, estos autores dicen que las opciones reales deben ser utilizadas cuando las inversiones estén dominadas por riesgos del mercado, utilizando para ello el concepto de portafolio réplica, mientras que cuando las inversiones tengan alto grado de riesgo privado, deben utilizarse otras herramientas, por ejemplo el análisis de decisión¹⁴. La proposición de este enfoque se ha autodenominado integrado, y se une a la propuesta hecha por autores como Smith y Nau¹⁵, Smith y McCardle¹⁶, y más recientemente Brandão¹⁷.

Como conclusión, Borison¹⁸ realiza un estudio que compendia los principales enfoques propuestos por distintos autores, mostrando que las diversas metodologías presentan grandes diferencias y todas arrojan un resultado distinto, lo que hace que sean inaceptables para la valoración de inversiones corporativas; de esta manera, el autor colige que existe un lamentable estado de confusión en el desarrollo de las opciones reales.

1.3. Tasa de descuento para la valoración de opciones

Desde la valoración de opciones financieras, Hull sostiene que en un mundo neutral al riesgo los individuos son indiferentes a éste, y el retorno esperado para todos los activos es la tasa libre de riesgo; además sugiere que el principio de valoración neutral puede ser utilizado para la valoración de opciones y que los precios resultantes son correctos no solo en un mundo neutral al riesgo, sino en otros de igual manera¹⁹. A partir de esto, y considerando que la formulación hecha

¹⁴Ibid. p. 21.

¹⁵ SMITH, James y MCCARDLE, Kevin. *Valuing oil properties: Integrating option pricing and decision analysis approaches*. En: *Operation Research*. 1998. Vol. 46, No. 2. p. 199.

¹⁶ SMITH, James y NAU, Robert. *Valuing Risky Projects: Option pricing theory and decision analysis*. En: *Management Science*. 1995. Vol. 41, No. 5. p. 812.

¹⁷ BRANDAO, Luis; DYER, James y WARREN, Hanh. *Using binomial decision trees to solve real option valuation problems*. En: *Decision Analysis*. 2005. Vol. 2. No. 2. p. 69

¹⁸ BORISON, Adam. *Real Options analysis: Where are the Emperor's Clothes?* Stanford University. 2003. p. 27.

¹⁹ HULL, John. *Options, futures, and other derivatives*. Sixth Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall .2006. p. 245

por B&S no tiene en cuenta ninguna variable que contemple las preferencias de riesgo del inversionista, Hull añade que cuando se cambia de un mundo neutral al riesgo a un mundo con aversión a éste, tanto la tasa de crecimiento esperada del precio de la acción como la tasa de descuento que debe ser usada para cualquier pago del activo subyacente, cambian²⁰.

Para contestar las preguntas ¿cómo es la práctica de las opciones reales? y ¿qué impacto tienen en la configuración corporativa? Triantis y Borison muestran cómo y cuándo son aplicadas las opciones reales. Estos autores evalúan la perspectiva de las opciones reales como una herramienta analítica, explorando las incidencias de las técnicas de opciones reales en la configuración corporativa, e indican:

The breakthroughs in option pricing theory in the 1970's resulted in valuation techniques that circumvented the need to estimate risk-adjusted discount rates for options. The main insight behind these techniques is that once the value of the underlying asset is known, the numerator can be more readily risk adjusted than the denominator when dealing with the options. Essentially, risk adjusted probabilities that are consistent with the valuation of the underlying asset can be backed out for each of the different possible values of the underlying asset at the maturity of the option. These probabilities are then multiplied by the payoffs of the option for each possible underlying asset value, and the resulting risk adjusted expected payoff of the option is then discounted at the risk free rate.²¹

Con esto se refieren a que la valoración de las opciones reales debe considerar el equivalente de certeza como una forma de evitar lo que denominan el desafío del cálculo de una tasa de descuento.

Con respecto a la discusión de la tasa de descuento, Copeland et ál.²² Sostienen que no es posible estimar *a priori* la tasa de descuento que debería ser utilizada en la valoración de la opción real, porque el riesgo de la opción del proyecto es diferente del riesgo del proyecto como tal. Por esta razón, se identifica un

²⁰ *Ibíd.*, p. 294

²¹ TRIANTIS, Alex y BORISON, Adam. *Real Options: State of Practice*. En: *Journal of Applied Corporate Finance*. Vol. 14, No. 2. 2001. p. 13

²² COPELAND, et ál. *Óp. cit.*, p. 5

portafolio que replique los pagos esperados de la opción. Por su parte, Triantis, en relación con la valoración de opciones reales, examina los factores que representan un desafío para reducir la brecha existente entre la valoración de opciones reales en la teoría y la práctica. Sobre el precio del riesgo Copeland anota:

We all recognize that properly reflecting the way in which investors discount a future cash flow stream for its risks a big challenge...Nonetheless, the proper treatment of risk from the shareholder's perspective is one of the key features of real options that we are extolling, so we can't ignore this important challenge...The key point here is that we haven't yet provided consistent guidance on how to get clean estimates of discount rates for underlying projects and, thus, for most investment opportunities for which real options techniques are used—and so risk is not properly being accounted for²³.

Autores como Smith y Nau²⁴ utilizan una metodología integrada en la que sugieren utilizar los árboles de decisión para capturar las oportunidades del mercado y, adicionalmente, hacer uso de la función de utilidad para capturar las preferencias de tiempo y riesgo asociadas a los riesgos privados.

En la publicación hecha por Smith y McCardle²⁵ se emplea la técnica desarrollada por Smith y Nau para la valoración de campos petroleros, asimismo, se compara este enfoque con la utilización de una tasa de descuento ajustada por el riesgo, al igual que las funciones de utilidad y la valoración de opciones financieras mediante el enfoque tradicional, en el que se asume que se pueden cubrir todos los riesgos del proyecto, transando títulos valores del mercado. En este ejercicio, a pesar de que la tasa de descuento ajustada por el riesgo puede ser comparada con los otros enfoques, los autores sostienen que utilizar una sola tasa de descuento no es correcto, debido a la rentabilidad asimétrica de la opción. Por ejemplo, el enfoque de utilidad tiene una tendencia a subestimar la opción porque

²³ TRIANTIS, Alexander. *Realizing the potential of real options: Does theory meet practice?* En: *Journal of Applied Corporate Finance*. 2005. Vol. 17. No. 2. p. 12.

²⁴ SMITH, James y NAU, Robert. Óp.cit. p. 796.

²⁵ SMITH, James y MCCARDLE, Kevin. Óp. cit., pp. 212-213

exagera los riesgos que podrían ser objeto de cobertura. En este sentido, usar sólo el enfoque de opción financiera conduce a un valor inflado del proyecto, porque se supone que todo el riesgo es el riesgo del mercado, que podría ser cubierto a través de un portafolio réplica. Esto subestima la incertidumbre, porque todo el proyecto puede ser descontado a la tasa libre de riesgo. Por otra parte la porción de riesgo privado debería ser descontado a una tasa más alta.

Desde esta perspectiva, Sick y Gamba²⁶ llaman la atención sobre el hecho de que, entre los aspectos que son frecuentemente ignorados por investigadores teóricos y prácticos con respecto a las opciones reales, están el tratamiento del riesgo y el apalancamiento. En relación al riesgo señalan que es realmente importante modelarlo, lo cual, por lo general, significa que deberán modelarse los procesos estocásticos y aspectos importantes como el *drift* o crecimiento de la variable estocástica, la volatilidad, y la correlación entre el proceso estocástico y la opción real; adicionalmente, con respecto a la correlación entre los procesos estocásticos que conducen la opción real y los procesos estocásticos que manejan el riesgo sistemático en la economía, dicen:

*The presence of the risk Premium distinguishes real options from operations research strategies, which typically do not model such a risk premium, and from financial option strategies, which sidestep the risk premium by using a replication strategy...Complexity of the risk model means that some of the standard approaches to analyzing financial derivatives will not work... For simple processes the numerical solution of differential equations or the use of lattices or trees to represent the risk is often adequate. For more complex processes, the solution may be to use simulation, which is difficult in a optimizing environment.*²⁷

En este mismo sentido, en el trabajo de Hodder, Mello y Sick²⁸ se explora la valoración de opciones reales mediante la utilización de árboles binomiales con

²⁶ SICK, Gordon y GAMBIA, Andrea. *Some Important Issues Involving Real Options: An Overview*. En: *Multinational Finance Journal*. 2010. Vol. 14. No. 1/2. p. 79.

²⁷ *Ibíd.*, p. 80.

²⁸ HODDER, James; MELLO, Antonio y SICK, Gordon. *Valuing Real Options: Can Risk - Adjusted Discounting made to work?* En: *Journal of Applied Corporate Finance*. Vol. 14. No. 2. 2001. p. 101

probabilidades neutrales al riesgo, utilizando una tasa de descuento ajustada por el riesgo y por la utilización del equivalente de certeza. Desde estas tres perspectivas Hodder, Mello y Sick afirman que, en el caso de opciones compuestas, es importante poder variar nodo a nodo la tasa de descuento ajustada por el riesgo o el equivalente de certeza, planteando que procedimientos como el de una tasa de descuento ajustada por el riesgo que fuerza a que el ajuste sea el mismo en cada nodo, puede ser potencialmente muy costoso para el desarrollo del proyecto.

De otra parte, Arnold y Crack²⁹, al abordar el tema de la tasa de descuento ajustada por el riesgo y la valoración de opciones en el mundo real, realizaron una serie de trabajos en los cuales formulan un modelo en el que se calcula el valor de las opciones considerando el mundo real. Dicho desarrollo consiste en la valoración de opciones con base en el árbol binomial propuesto por Cox, Ross y Rubinstein; siguiendo su modelación se deriva el siguiente modelo:

$$V_0 = \frac{1}{R} \left[[pV_u + (1-p)V_d] - \left(\frac{V_u - V_d}{u - d} \right) (K - R) \right] \quad [11]$$

Utilizando el WACC³⁰ y el VPN³¹ como alternativas ante la valoración neutral al riesgo, estos autores argumentan que aunque esto represente una mayor complejidad matemática, es una ventaja a la hora de mostrar los resultados a la gerencia.

[12]

$$p = \frac{K - d}{u - d}$$

²⁹ ARNOLD, Tom y CRACK, Timothy. *Option Pricing in the Real World: A Generalized Binomial Model with Applications to Real Options. Real options meets practice. Annual International Conference.* 2003. p. 6. Disponible en: http://www.realoptions.org/papers2003/ArnoldSSRN_ID240554.pdf

³⁰ ARNOLD, Tom y CRACK, Timothy. *Using the WACC to value Real Options.* 2004. p. 4

³¹ ARNOLD, Tom y CRACK, Timothy. *Real Option Valuation using NPV.* 2004. p. 7

Donde $K = e^{k(\Delta t)}$ k es el retorno esperado con composición continua, que en el caso específico de la aplicación es el WACC y para el caso del VPN es la tasa de crecimiento compuesta continuamente; $R = e^{r(\Delta t)}$ r es la tasa libre de riesgo de composición continua y p es la probabilidad de estado en el mundo real del activo subyacente.

1.4. Valoración de opciones utilizando simulación de Monte Carlo

Dentro de esta revisión se resaltan, de manera especial, las metodologías de valoración de opciones utilizando la simulación de Monte Carlo. Esta técnica ha sido empleada para la valoración de opciones desde Boyle³², quien demostró que la simulación puede ser utilizada como una herramienta efectiva en campos en los cuales otros métodos presentan falencias o son muy difíciles de implementar. Broadie & Glasserman³³ y Boyle, Broadie & Glasserman³⁴, realizan la valoración de opciones mediante simulación y reconocen que la simulación de Monte Carlo permite calcular el valor de la opción como el valor esperado de los pagos descontados; además utilizan métodos como el Quasi-Monte Carlo para la valoración de derivados que representan alta complejidad. Fernández³⁵, en tanto, aborda la valoración de opciones por simulación aplicada a opciones europeas con y sin dividendos, analizando los problemas que presenta la valoración de las opciones sobre acciones que reparten dividendos.

³² BOYLE, Paul. *Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly*, citado por BROADIE, Mark y GLASSERMAN, Paul. *Estimating Security Price Derivatives Using Simulation*. En: *Management Science*. Vol. 42, No. 2. 1996. p. 269

³³ BROADIE, Mark y GLASSERMAN, Paul. *Estimating Security Price Derivatives Using Simulation*. En: *Management Science*. Vol. 42, No. 2. 1996. p. 269-285.

³⁴ BOYLE, Phelim, BROADIE, Mark y GLASSERMAN, Paul. *Monte Carlo Methods for security pricing*. En: *Journal of Economic Dynamics and Control*. Vol. 21. 1997. P. 1267-1321. Disponible en: http://www.axelkind.com/teaching/financiam_derivatives/papers/boyle_broadie_glasserman_mc_overview_jedc.pdf

³⁵ FERNÁNDEZ, Pablo. Valoración de opciones por simulación. IESE. Universidad de Navarra. Documento de Investigación No. 309. 1996. Disponible en: <http://www.iese.edu/research/pdfs/DI-0309.pdf>

En la literatura se encuentran modelos que permiten la valoración de opciones americanas empleando la simulación de Monte Carlo. Autores como Tilley³⁶, Barraquand y Martineu³⁷, y Broadie y Glasserman³⁸, han combinado técnicas de programación dinámica superando lo que representaba una debilidad de la técnica de simulación de Monte Carlo.

Con respecto a la valoración de opciones reales Alonso, Azofra y Fuente³⁹ aseguran que la carencia de un precio de referencia del activo subyacente y el carácter multidimensional de las fuentes de incertidumbre de las inversiones en el entorno empresarial, impiden la valoración de las opciones de forma analítica y numérica; a este problema se le conoce como la maldición de la dimensionalidad⁴⁰. Sin embargo, el modelo de simulación presenta una ventaja, ya que los recursos requeridos en el cálculo aumentan de manera lineal con el número de variables de estado.

La simulación de Monte Carlo ha sido empleada para la valoración de opciones reales por autores como Cortázar y Schwartz⁴¹, a fin de evaluar la inversión en una reserva petrolífera y el tiempo óptimo de la inversión, y por Cortázar⁴² para evaluar las operaciones óptimas de una mina de cobre; este último autor señala, al respecto:

³⁶ TILLEY, James. *Valuing American Options in a Path Simulation Model*. En: *Investment Section Monograph*. En: *Transactions of the Society of Actuaries*. Vol. 45. pp. 83-104.

³⁷ BARRAQUAND, Jérôme y MARTINEAU, Didier. *Numerical Valuation of High Dimensional Multivariate American Securities*. En: *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. 1995. Vol. 30, No. 3. pp. 383-405. Disponible en: <http://ebookbrowse.com/barraquand-martineau-1995-jfqa-pdf-d41918311>

³⁸ BROADIE, Mark y GLASSERMAN, Paul. *A stochastic mesh method for pricing high dimensional American options*. En: *Journal of Computational Finance*. Vol. 7, No. 4. 2004. p. 35-72. Disponible en: http://www.columbia.edu/~mnb2/broadie/Assets/v7n4a3_Broadie.pdf

³⁹ ALONSO, Susana, AZOFRA, Valentín y DE LA FUENTE, Gabriel. *Las opciones reales y la simulación de Monte Carlo*. En: *Universia Business Review*. 2007. p. 55

⁴⁰ Se refiere a la inoperatividad del modelo, derivada del incremento del volumen de recursos consumidos en la resolución del problema.

⁴¹ CORTÁZAR, Gonzalo y SCHWARTZ, Eduardo. *Monte Carlo Evaluation Model of an Undeveloped Oil Field*. En: *Journal of Energy Finance and Development*. Vol. 3, No. 1. 1998. p. 73-84.

⁴² CORTÁZAR, Gonzalo. *Simulation and Numerical Methods in Real Options Valuation*. En: *Real Options and Investment Under Uncertainty*. p. 13

The main characteristic that makes simulation so attractive is its ability to cope with uncertainty in a very simple way. The recent trend in modeling price uncertainty using multi – factor models is much easier to implement using standard simulation than using other numerical approaches. Something similar can be said on the use of complex stochastic processes of modeling the dynamics of these risk factors, which are simpler to implement using simulation.

Entre otros trabajos se destaca la valoración de opciones reales vinculadas a patentes y proyectos de investigación y desarrollo en la industria farmacéutica realizada por Schwartz⁴³, además del desarrollo de un enfoque para la descomposición de opciones complejas en un conjunto de opciones simples mediante la utilización del Quasi – Monte Carlo desarrollado por Gamba⁴⁴.

⁴³ SCHWARTZ, Eduardo. *Patents and R&D as Real Options*. En: *Economics Notes*, vol. 33. 2004. p. 23-54.

⁴⁴ GAMBA, Andrea. *Real Options a Monte Carlo Approach*. 2003. p. 50.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Debido a los beneficios que las opciones financieras tienen para los inversionistas como instrumentos de cobertura y especulación, y las opciones reales tienen tanto en las decisiones operativas como en las decisiones estratégicas de las empresas, se han planteado distintos enfoques para su cálculo; sin embargo, en dichos enfoques se evidencia la poca o casi nula exploración de los autores con respecto a la valoración de opciones teniendo en cuenta una tasa de descuento ajustada al riesgo.

2.1. Descripción del problema de investigación

Los precios de los activos dependen de manera crucial de su riesgo, ya que los inversionistas suelen exigir más beneficios por el hecho de soportar más incertidumbre. Por ende, el precio actual reclamado por un inversionista sobre una cantidad arriesgada en el futuro habitualmente difiere de su valor esperado. Dicho de otra manera, los inversionistas tienen aversión al riesgo y el valor presente está por debajo de los pagos esperados. En contravía a lo expuesto anteriormente, en un mundo neutral al riesgo todos los individuos son indiferentes a éste; en ese mundo los inversionistas no requieren una compensación por el riesgo y el retorno esperado, los diferentes títulos valores, es la tasa libre de riesgo.

The principle states that we can with complete impunity assume that the world is risk neutral when pricing options. The result prices are correct not just in a risk neutral world, but in other words as well⁴⁵.

De esta manera es como el supuesto de valoración neutral al riesgo ha trascendido en el tiempo, ya que simplifica el análisis de derivados.

⁴⁵ HULL, Óp. cit. p. 252.

Para el caso de la valoración de opciones reales se extiende el contexto de valoración neutral al riesgo; partiendo de la base teórica, el precio del riesgo del mercado para una variable θ está dado por:

$$\lambda = \frac{\mu - r}{\sigma} \quad [13]$$

Donde r es la tasa libre de riesgo y μ es el retorno del activo transado que depende solo de θ y de σ la volatilidad.

La valoración neutral al riesgo dice que cualquier activo real que depende de muchas variables θ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), con m_i y s_i como la tasa de crecimiento y la volatilidad de θ_i respectivamente, entonces:

$$\frac{d\theta_i}{\theta_i} = m_i dt + s_i dz_i \quad [14]$$

Donde dz_i es un proceso de Wiener. Se puede definir λ_i como el precio del riesgo de mercado de θ_i (suponiendo que θ_i es el precio de una acción que no paga dividendos por lo tanto $m_i - \lambda_i s_i = r$).

Por lo tanto, para la valoración de un activo real se debe reducir la posible tasa de crecimiento de cada variable θ_i de m a $m - \lambda s$ y descontar los flujos a la tasa libre de riesgo.

Para calcular el precio del riesgo del mercado λ , se deben tener datos históricos disponibles de las variables estocásticas utilizando el modelo CAPM así:

$$\mu - r = \frac{\rho\sigma}{\sigma_m} (\mu_m - r)$$

$$\mu - r = \lambda\sigma$$

[15]

$$\lambda = \frac{\rho}{\sigma_m} (\mu_m - r)$$

Donde:

μ : Retorno esperado del activo de inversión

σ : Volatilidad del retorno del activo

λ : Precio del riesgo de mercado de la variable

ρ : Correlación instantánea entre los cambios porcentuales en la variable y el retorno en el índice del precio de acciones en el mercado

μ_m : Retorno esperado en el índice del precio de acciones en el mercado

σ_m : Volatilidad del retorno del activo

r : Tasa libre de riesgo a corto plazo

Con respecto al cálculo de λ , Hull sostiene:

When no historical data are available under consideration other similar variables can sometimes be used as proxies...In some cases the estimated of ρ must be based on subjective judgement. If an analyst is convinced that a particular variable is unrelated to the performance index, its market price should be zero⁴⁶

En este orden de ideas diversos autores han planteado metodologías en las que asumen el supuesto como una realidad, sin tener en cuenta que en el mundo real los inversionistas no son neutrales al riesgo.

2.2. Justificación del problema de investigación

Dentro de la función de presupuesto de capital es de vital importancia para las empresas seleccionar e identificar aquellos proyectos de inversión que maximicen el valor para los accionistas y grupos de interés. Existen diversos métodos para la valoración de proyectos de inversión que tienen como herramienta base el FCD,

⁴⁶ HULL, Óp. cit. p. 717

sin embargo, estos enfoques no consideran la flexibilidad que tiene la administración para tomar decisiones cuando el proyecto ya se encuentra en marcha; por su parte las opciones reales sí consideran dicha flexibilidad.

En el mundo real se utilizan dos formas para el cálculo del precio de un activo; una es calcular el valor presente de los flujos empleando una tasa de descuento ajustada por el riesgo, y la segunda es ajustar los flujos de caja con el equivalente de certeza y descontarlos con la tasa libre de riesgo.

Si bien hasta ahora se han desarrollado enfoques que permiten valorar proyectos de inversión que tienen inmersas opciones reales, éstos ignoran que la valoración del proyecto se lleva a cabo en el mundo real y que el mundo neutral al riesgo arroja resultados correctos bajo la premisa de existencia de activos financieros que permitan la conformación de portafolios réplica, en los que el riesgo no afecta su valoración. Premisa que es muy cuestionable en múltiples proyectos de inversión con características particulares a su entorno. Al tomar de las opciones financieras el supuesto de valoración neutral al riesgo sin asegurar la existencia potencial de portafolios réplica, se arriesga a que la valoración se aleje de la realidad, ya que los inversionistas racionales aversos al riesgo siempre esperan una prima por el riesgo que toman al invertir en un proyecto determinado.

Para acercarse a los parámetros requeridos en un mundo neutral al riesgo, los enfoques como el propuesto por Hull⁴⁷, muestran la forma de ajustar la tasa de crecimiento de las variables; sin embargo, el cálculo se realiza de una forma difusa y no se tiene claridad sobre cómo estimar los parámetros del precio del riesgo del mercado.

⁴⁷ HULL, Óp. cit. p. 716

No obstante los enfoques desarrollados por Smith et ál.,⁴⁸, Arnold et ál.,^{49 50} y Hodder, et. ál.⁵¹, en los que utilizan árboles binomiales, tienen en cuenta una tasa de descuento ajustada por el riesgo. Considerando que la discusión se encuentra abierta y que las opciones reales son un tema relativamente naciente y foco de investigación, es importante explorar la posibilidad de crear una metodología para el cálculo del precio de opciones en un entorno real, utilizando la simulación de Monte Carlo para simular procesos estocásticos como el movimiento browniano geométrico y, posiblemente, otros procesos diferentes a los que esté sometida la variable.

2.3. Delimitación del problema de investigación

La metodología se propone para la valoración de opciones financieras de compra y de alguna de las opciones reales más frecuentemente utilizadas, como por ejemplo, abandono, expansión y espera.

La herramienta utilizada será la simulación por medio de la utilización de *software* como *@Risk*®, *Cristal ball*® o *Risk simulator*®. La simulación se utiliza porque es de vital importancia para poder cumplir con los objetivos de esta investigación.

2.4. Reflexión crítica sobre el problema de investigación

Como punto de partida, en este trabajo se reconoce la importancia que tiene el desafío que plantea Triantis⁵² al reconocer que el precio del riesgo es un tema que ha sido ignorado y que debe ser tomado en cuenta a la hora de la valoración de opciones. Al respecto, y reconociendo la relevancia que tiene considerar la variable riesgo en la valoración de opciones, este trabajo toma en cuenta los

⁴⁸ SMITH, James y MCCARDLE, Kevin. Óp. cit, p. 212-213

⁴⁹ ARNOLD, et.ál. *Using the WACC to value Real Options*. Óp.cit., p. 4.

⁵⁰ ARNOLD, et.ál. *Real Options Valuation using NPV*. Óp. cit., p. 7.

⁵¹ HODDER, Óp. cit. p. 93.

⁵² TRIANTIS. Óp.cit., p. 12.

enfoques de autores como Arnold, et. ál. y Hodder, et. ál.,⁵³, quienes desarrollaron metodologías para la valoración de opciones en el mundo real, es decir considerando una tasa de descuento ajustada por el riesgo. En este sentido, los primeros autores sostienen

*Our method is appealing to researchers and practitioners faced with risk neutral pricing may only serve to create practical problems on the one hand or conceptual problems on the other*⁵⁴

Y agregan que

*At minimum, management prefers that risk adjusted rate be used as a discount rate. Management may also be interested in the probability of the success of a project being valued as a real option. A risk neutral option pricing model does not provide the probability of success in the real world economy.*⁵⁵

En este orden de ideas Arnold et. ál.⁵⁶ afirman que el uso de la tasa de descuento ajustada por el riesgo produce una valoración de opciones reales idéntica a la obtenida desde una valoración neutral al riesgo; sin embargo, aclaran que la tasa de descuento de la opción es mucho más grande que la tasa de descuento del activo por sí solo, debido a que la opción involucra una inversión apalancada, lo que significa, igualmente, que es mucho más riesgosa que el activo como tal.

Aunque la literatura asociada muestra evidencia importante que sugiere que se han generado enfoques que tienen en cuenta el uso de una tasa de descuento ajustada por el riesgo, también es evidente que los resultados presentados en estos estudios se han enfocado en la utilización de árboles binomiales y no se ha empleado la simulación de Monte Carlo para la valoración de las opciones. Adicionalmente, en el estudio realizado por Borison se analizan los resultados

⁵³ HODDER. Óp. cit., p. 93.

⁵⁴ ARNOLD, et. al., *Option Pricing in the Real World: A Generalized Binomial Model with Applications to Real Options*. Óp. cit., p. 1.

⁵⁵ Ibid., p. 16.

⁵⁶ ARNOLD, et.al. Using the WACC to value Real Options. Óp. cit., p. 6-8.

obtenidos por los enfoques planteados por diversos autores, lo cual plantea un importante desafío al comparar los resultados obtenidos en este estudio con el resultado del enfoque que pretende plantear este trabajo.

2.5. Hipótesis fundamental

La valoración de opciones en un entorno real mediante una tasa de descuento ajustada por el riesgo con una prima apalancada en función de la variabilidad relativa de los flujos esperados de la opción respecto a la variabilidad del activo subyacente, se erige como una alternativa a la valoración en un entorno neutral al riesgo.

2.6. Objetivos

2.6.1. Objetivo general

Proponer una metodología para la valoración de opciones considerando una tasa de descuento ajustada al riesgo.

2.6.2. Objetivos específicos

- Comparar analíticamente los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología con una tasa de descuento ajustada por el riesgo para el caso de activos financieros, con los resultados obtenidos para el mismo caso utilizando la valoración neutral al riesgo.
- Implementar la metodología para la valoración de inversiones con opciones reales.
- Sintetizar la metodología para la valoración de opciones mediante una tasa de descuento ajustada por el riesgo.

3. METODOLOGÍA

Para poder establecer una metodología para la valoración de opciones considerando una tasa de descuento ajustada por el riesgo, se realizará la aplicación como primera medida a las opciones financieras, con el fin de analizar el cambio del supuesto de valoración neutral al riesgo. Seguidamente se evaluará cambio en la valoración de opciones reales. En este sentido, como se desarrollan aplicaciones diferentes, se plantean igualmente metodologías diferentes.

3.1. Valoración de opciones financieras

Para el desarrollo de esta primera parte se plantea la comparación entre la valoración de opciones financieras con un enfoque neutral al riesgo, es decir utilizando una tasa libre de riesgo como resultado del modelo B&S, y un enfoque del mundo real, o sea con una tasa de descuento ajustada por el riesgo. Cabe aclarar que para esta parte del estudio se establece la valoración únicamente para opciones *call* europeas sin dividendos. El desarrollo metodológico, el cual se muestra en la ilustración 1, consiste en elaborar un modelo de simulación para poder encontrar el valor de la opción, tanto en el mundo neutral al riesgo como en el mundo real, en este planteamiento se encuentran involucrados aspectos importantes como los datos de entrada, los cálculos preliminares y los cálculos para el análisis, los cuáles se explican a continuación.

3.1.1. Datos de entrada

La fuente de los datos utilizados para el desarrollo de esta parte del estudio es la página de la CBOE⁵⁷ (*Chicago Board Options Exchange*); para este caso se escogieron las opciones sobre las acciones que se muestran en la tabla 2, las

⁵⁷ La consecución de la información se hizo por medio de la herramienta *Options Calculator*, que se alimenta con datos de *Ivolatility*. El recurso se encuentra en la siguiente ruta http://www.cboe.com/framed/IVolframed.aspx?content=http%3a%2f%2fcboe.ivolatility.com%2fcalc%2findex.j%3fcontract%3d8FBD1785-30D2-486D-8648-2786AD211BFE§ionName=SEC_TRADING_TOOLS&title=CBOE%20-%20IVolatility%20Services

cuales no pagan dividendos a sus accionistas. La escogencia de estas empresas se evidencia con mayor detalle en el anexo 1.

Tabla 2. Acciones seleccionadas para la valoración de opciones

Símbolo de la acción	Nombre	Sector industrial
F	<i>Ford Motor Co.</i>	Automotriz
YHOO	<i>Yahoo! Inc</i>	Internet
S	<i>Sprint Nextel Corp.</i>	Servicios de telecomunicaciones
AAPL	<i>Apple Computer Inc.</i>	Computadores y periféricos
MU	<i>Micron Technology Inc.</i>	Semiconductores

Fuente: Los Autores

Los datos necesarios son tasa libre de riesgo, volatilidad anual, número de subperiodos, precio inicial, *drift* anual, tiempo para el ejercicio de la opción y precio de ejercicio para una opción sobre una acción.

Los datos para las opciones sobre estas acciones se tomaron en los meses de mayo y junio de 2011; con el fin de evaluar el comportamiento de los cálculos se tomó la acción de Dell para los días 10 de mayo y 18 de mayo, evaluando la opción en las fechas de vencimiento del 21 de mayo y el 18 de junio respectivamente. Para evaluar posteriormente la totalidad de acciones el día 14 de junio para el vencimiento del 16 de julio de 2011.

De manera complementaria, se deben obtener los parámetros necesarios para el cálculo de la tasa de descuento ajustada por el riesgo, por tanto son necesarios los valores Beta y la prima de riesgo del mercado (PRM), requeridos para el modelo CAPM para cada una de las empresas seleccionadas.

Con respecto a la prima de riesgo del mercado, Fernández⁵⁸ sostiene que este concepto se ha malinterpretado, ya que bajo el mismo nombre se han englobado cuatro diferentes conceptos, de ahí que exista una PRM histórica (PRMH), que es

⁵⁸ FERNÁNDEZ, Pablo. Equity Premium: Historical, Expected, Required and Implied. En: IESE Business School. Universidad de Navarra. 2006. P. 3. Disponible en: <http://69.175.2.130/~finman/Barcelona/Papers/EquityPremiumHERI.pdf>

la diferencia histórica entre el retorno del mercado accionario y los bonos del tesoro; una PRM esperada (PRME), que es la diferencia esperada entre el retorno del mercado accionario y los bonos del tesoro; una PRM requerida (PRMR), que es el retorno incremental del portafolio del mercado sobre la tasa libre de riesgo requerido por un inversionista para tener el portafolio del mercado, y una PRM implícita (PRMI), la cual es la prima de riesgo requerida que surge de un modelo de precios, asumiendo que el precio del mercado es correcto. En el marco de estas consideraciones el autor explica que los cuatro conceptos son claramente diferentes; sin embargo, asegura que la PRMH es fácil de calcular y es igual para todos los inversionistas. Por otra parte, la PRME, la PRMR y la PRMI son diferentes para cada inversionista y no son magnitudes observables. Asimismo, en su trabajo Fernández concluye que es imposible determinar la PRM global.

En este mismo sentido, Graham y Harvey⁵⁹ y Fernández y Del Campo⁶⁰ condujeron estudios con respecto a la PRM para el año 2010; Graham y Harvey adelantaron un estudio que analizó la PRMH por medio de encuestas hechas a los directores financieros de Estados Unidos, realizadas cada trimestre entre junio de 2000 y junio de 2010; en este caso la PRM es la diferencia entre la rentabilidad del índice S&P500 en relación con el rendimiento de los bonos del tesoro. Luego de obtener 13668 respuestas del estudio, se estableció que la PRME promedio para los diez años es de 3,4%, con una desviación estándar de 3,25%. Por otra parte, Fernández y Del Campo realizaron un estudio en el cuál analizan la PRMR utilizada en 2010 por analistas y (compañías); para el caso específico de Estados Unidos esta es de 5,1% y 5,3%; en este estudio se obtuvieron 2460 respuestas con respecto a la PRM utilizada para calcular el retorno requerido del patrimonio.

⁵⁹ GRAHAM, Jhon y HARVEY, Campbell. The equity risk premium in 2010. 2010. Disponible en: http://faculty.fuqua.duke.edu/~charvey/Research/Working_Papers/W104_The_equity_risk.pdf

⁶⁰ FERNÁNDEZ, Pablo y DEL CAMPO, Javier. Market Risk Premium in 2010 by Analyst and Companies: A survey with 2400 answers. 2010. Disponible en: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1609563

Por su parte, Damodaran⁶¹, utilizando una gran base de datos en Estados Unidos, encontró que las acciones han ganado una prima promedio de 4,31% por encima de la tasa libre de riesgo entre 1928-2010, cifra cercana a la encontrada en el periodo de 1928-2009, cuando es del 4,29%; sin embargo, aunque es un periodo muy largo, tiene un error estándar en la estimación del 2,38%, de ahí que Damodaran afirme que esta es una forma de estimación muy poco confiable.

Debido a que no existe un acuerdo entre los autores con respecto a cuál es la prima de riesgo del mercado, para el cálculo de la tasa de descuento la autora considera que el concepto de PRMR es el que se ajusta de una mejor manera al cálculo de la tasa de descuento; por tanto, la PRM escogida es del 5,3%, valor promedio resultado del estudio hecho por Fernández a las compañías en 2010.

El dato del coeficiente Beta fue obtenido de la página de *Aswath Damodaran*⁶², en la cual se encuentran datos correspondientes a las compañías que son transadas en el mercado de valores; estos a su vez son obtenidos de *Value Line*⁶³ como fuente primaria.

3.1.2. Cálculos preliminares

Para realizar estos cálculos se procesan los parámetros necesarios para la valoración de la opción mediante el método analítico y para el cálculo del MBG. Dichos parámetros son *drift* periódico, volatilidad periódica y la media del *drift*. Para realizar estos cálculos es necesario aclarar que el número de periodos corresponde a 365, que es el número de días calendario.

[16]

⁶¹ DAMODARAN; Aswath. Equity Risk Premiums (ERP): Determinants, Estimation and Implications. 1
Edition. Stern School of Business. Disponible en:
http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1769064

⁶² Aswath Damodaran es autor de varios libros y profesor de finanzas en la Universidad de N [17] k.
<http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>

⁶³ *Value line* es proveedor de información del mercado de valores. Disponible en: <http://www.valueli>

$$\text{Drift periódico}(\mu) = \frac{r}{\text{número de periodos}}$$

$$\text{Volatilidad periódica} (\sigma') = \frac{\sigma}{\sqrt{\text{número de periodos}}}$$

Según Hull⁶⁴, el modelo del precio de las acciones usado por B&S asume que el porcentaje de cambio en el precio de una acción en un periodo de tiempo muy corto está normalmente distribuido; teniendo en cuenta la ecuación [1] de este trabajo, la media de este cambio estará dada por:

$$\text{Media del drift} = \mu - \frac{\sigma^2}{2} \quad [18]$$

Por último se realiza el cálculo del MBG para obtener los datos requeridos para el análisis, lo cual se hace con ayuda de @Risk para el desarrollo de la simulación. Por tanto, el cambio en el precio de la acción estará dado por la ecuación [17].

$$S_{t+1} = S_t * e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma}{\sqrt{365}}\right) * RiskNormal(0,1)} \quad [19]$$

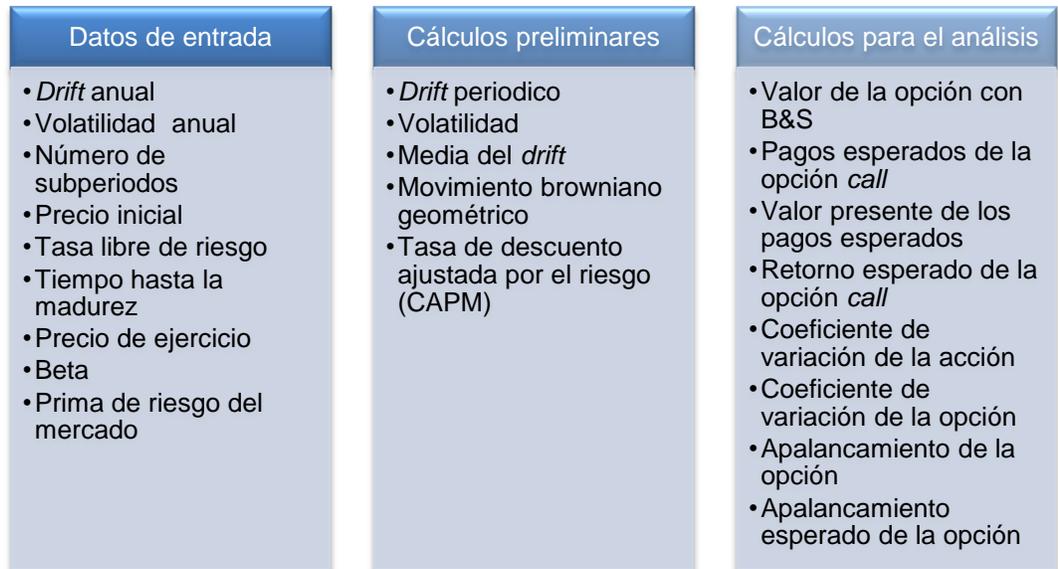
Para encontrar el valor de la tasa de descuento para las diferentes empresas escogidas se utiliza el modelo CAPM, cuya formulación permite relacionar el riesgo y la rentabilidad mediante la expresión:

$$r_i = r_f + \beta_i(E(r_m) - r_f) \quad [20]$$

Dónde $E(r_m)$ es la rentabilidad esperada del mercado, r_f es la rentabilidad libre de riesgo r_i es la rentabilidad esperada para el activo "i" y β_i es el riesgo sistemático del activo "i".

⁶⁴ HULL, Óp, cit. p. 281

Ilustración 2. Metodología de valoración de opciones siguiendo el MBG



Fuente: Los Autores

3.1.3. Cálculos para el análisis

Los cálculos objeto de análisis son el resultado del valor de la opción *call* determinado con el modelo de B&S, ecuación [3], [5] y [6]; los pagos esperados en el tiempo de ejercicio, y el valor presente de este pago esperado, el cuál se constituye en el precio de la opción (c'), estos valores se obtienen utilizando igualmente *@Risk*.

Con el fin de analizar su comportamiento, el valor de la opción se calculará para diferentes precios de ejercicio.

Partiendo de estos cálculos, se procede a realizar los restantes, que pretenden demostrar y cuantificar el riesgo de la opción, además de la posibilidad de valorarla con una tasa de descuento ajustada por el riesgo.

Teniendo en cuenta que el retorno requerido por el inversionista en una acción depende del riesgo de esta, cuánto más alto sea el riesgo, más alto es el retorno esperado (μ). Según Hull⁶⁵, cuánto más altas sean las tasas de interés, mayor es el retorno que se espera sobre cualquier acción; en este sentido asegura que afortunadamente no existe preocupación con respecto a cuáles son los determinantes del retorno esperado sobre la acción, ya que el retorno esperado compuesto continuamente (x) está dado por:

$$x = \frac{1}{T} \ln \frac{S_T}{S_0} \quad [21]$$

Teniendo en cuenta esta formulación, el retorno esperado de la opción se calcula como el logaritmo natural del cociente del pago esperado por la opción sobre el precio de la opción calculado con B&S.

$$\text{Retorno esperado de la opción} = \text{LN}(\text{Pago esperado opción} / \text{Precio de la opción B\&S}) \quad [22]$$

Operando las funciones de Riskstandev y Riskmean de @Risk como una división, se realiza el cálculo del coeficiente de variación de la acción (CV acción) con respecto al precio de la acción en el tiempo T; de la misma manera, pero con respecto al pago esperado, se calcula el coeficiente de variación de la opción (CV opción).

$$CV \text{ acción} = \text{Riskstandev}(\sigma) / \text{Riskmean}(\mu) \quad [23]$$

$$CV \text{ opción} = \text{Riskstandev}(\sigma) / \text{Riskmean}(\mu) \quad [24]$$

Posteriormente, se realiza el cálculo de apalancamiento de la opción como el cociente del coeficiente de variación de la opción sobre el coeficiente de variación de la acción. El concepto de apalancamiento se refiere a la posibilidad que tiene el inversionista de controlar las ganancias de la misma cantidad de acciones a un

⁶⁵ HULL. Óp. cit., p. 284

costo mucho menor. Teniendo en cuenta, el apalancamiento muestra cuanto más riesgosa es la opción con respecto a las acciones por sí solas.

$$\text{Apalancamiento opción} = CV_{\text{opción}}/CV_{\text{acción}}$$

Se puede definir la función de la de riesgo de la opción *call* como:

$$\text{Prima de riesgo opción} = f(\text{Prima del activo subyacente}, \text{Apalancamiento opción}) \quad [26]$$

Por la prima del activo subyacente se entiende la tasa de descuento ajustada por el riesgo resultante del modelo CAPM, y el nivel de apalancamiento como el resultado del apalancamiento de la opción.

A partir de esto se puede calcular el retorno apalancado esperado de la opción:

$$\begin{aligned} \text{Retorno Apalancado esperado opción} = \\ \text{Tasa libre de riesgo} + (\text{Apalancamiento opción} * \text{Tasa de descuento CAPM}) \end{aligned} \quad [27]$$

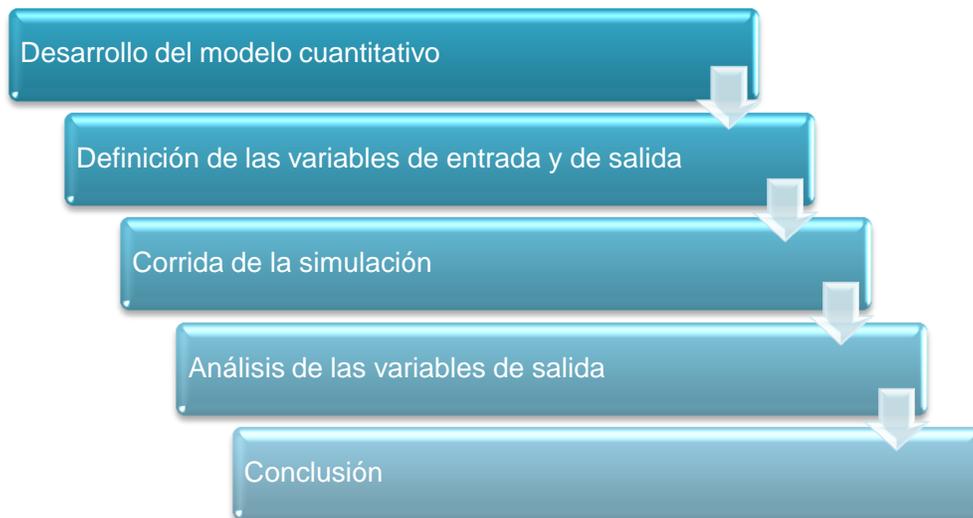
Con respecto a la técnica utilizada en el desarrollo metodológico, como ya se observó en la revisión de la literatura, es importante señalar que la simulación de Monte Carlo es una herramienta valiosa para la valoración de opciones, ya que permite el manejo de cualquier tipo de activo, cualquiera que sea el número y el tipo de comportamiento estocástico de las fuentes de incertidumbre de las que dependen sus resultados futuros, adicionalmente, debido al avance computacional, es de fácil implementación en el desarrollo de modelos complejos con y sin solución analítica. Para este fin se utiliza el *software @Risk*⁶⁶, y se corre un total de 10000 iteraciones en cada simulación.

⁶⁶ *Software* para la simulación y análisis de riesgo de *Palisade Corporation*. Disponible en: <http://www.palisade.com/risk/>

3.2. Valoración de opciones reales

Para realizar los cálculos de la opción se desarrolla un modelo de simulación en el que se deberá tener en cuenta la forma como normalmente se evalúa un proyecto de inversión, es decir, a través de un flujo de caja descontado. Básicamente, el modelo de simulación parte de un modelo matemático en el que se tienen una serie de variables de entrada, se procesan dentro del modelo y se obtiene una variable de salida. En la ilustración 4 se muestran los pasos a tener en cuenta en el desarrollo dicho modelo.

Ilustración 3. Metodología para la valoración de opciones reales.



Fuente: Los Autores

3.2.1. Desarrollo del modelo cuantitativo

Para ilustrar el desarrollo de la metodología se utilizará el ejemplo propuesto por Borison⁶⁷ para la comparación de diferentes metodologías de valoración de opciones reales. Este ejemplo, que es aplicado en la industria del petróleo y el gas, consiste en una inversión que está siendo considerada por una firma para la adquisición de un campo de gas no desarrollado en el oeste de los Estados Unidos. Teniendo en cuenta que este ejemplo ilustra el caso en el que se analiza

⁶⁷ BORISON. Óp. cit., p. 3.

el valor de una opción real de espera, se plantea un modelo en el cuál se evaluará el VPN del proyecto con y sin opción. Esto se hará mediante el planteamiento de los flujos de caja libres.

3.2.2. Variables de entrada y de salida

La incertidumbre del tamaño del negocio está representada por la cantidad de gas en el campo. Las reservas probadas actualmente por la firma son 100 BFC (billones de pies cúbicos). La incertidumbre en la rentabilidad del negocio está representada por el precio futuro del gas natural. La firma puede adquirir y desarrollar el campo por \$175 millones, decidir no adquirirlo nunca o adquirir una opción para comprarlo y desarrollarlo en dos años por \$20 millones. De esta manera este ejemplo se trata de una opción de espera.

Por simplicidad se asume el tiempo de desarrollo como cero, así que las ganancias comenzarán exactamente después de la decisión de adquisición y desarrollo. El derecho expirará si no se ejercita al final de los dos años. En el segundo año, el valor del campo podría cambiar de acuerdo a la incertidumbre correspondiente a la cantidad y al precio del gas natural. La información acerca de la cantidad se obtendrá mediante pruebas geológicas y de perforación.

Para el cálculo de la opción se utiliza parte del enfoque MAD; tomando los datos del artículo se aclara que las dos incertidumbres principales son la cantidad y el precio del gas natural. Se asume que los geólogos de la empresa han estudiado ampliamente la propuesta de adquisición. Se cree que la cantidad de gas que se distribuye con una distribución log normal con una media de 145 BCF y una desviación estándar de 30 BCF. El percentil 5% corresponde a 100 BCF (reservas probadas) y el 95% es 200 BCF. Se supone que esta incertidumbre se resuelve con eficacia después de un año de intensos estudios geológicos y pruebas de perforación. La segunda incertidumbre es el precio del gas. El precio que ofrece

Henry Hub es de \$5,25 por mil pies cúbicos, se cree que los cambios naturales del precio del gas son normalmente distribuidos con una media del 2% y una desviación estándar de 4%. Los costos variables de operación se estiman en \$2 por cada mil pies cúbicos. Adicionalmente se supone que la producción se lleva a cabo durante diez años.

Debido a que el ejemplo no otorga todos los datos necesarios para la construcción del flujo de caja libre se utilizarán los datos de los estados financieros de *Newfield*, compañía que Borison considera en el enfoque clásico como el activo que podría ser utilizado como portafolio réplica, ya que tiene similitud con la compañía en cuestión.

3.2.3. Corrida de la simulación

Mediante la utilización de programas como *@Risk*, *Crystal Ball* y *Risk simulator*, la simulación permite crear tantos escenarios como se desee para obtener el valor del VPN del proyecto sin opción y el valor de la opción, en este caso de la opción de espera, considerando una tasa de descuento ajustada por el riesgo.

3.2.4. Análisis de las variables de salida

Teniendo en cuenta el planteamiento de la metodología, las variables que se desea analizar son las distribuciones del VPN para el proyecto sin opción y el valor de la opción.

En este caso la decisión de llevar a cabo el proyecto se encuentra definido por:

$$VPN \text{ Proyecto} = VPN \text{ Flujos futuros} - Inversión$$

Es decir el proyecto base tiene un VPN, que para ser rentable debe ser:

$$VPN \text{ Flujos Futuros} > Inversión$$
$$VPN \text{ Proyecto} > 0$$

Cabe anotar que el cálculo del VPN se realiza con una tasa de descuento ajustada por el riesgo.

De manera similar el valor de la opción está dado por el valor esperado de los flujos futuros del proyecto descontados a presente:

$$VPN_{Opción} = VPN_{Flujos del proyecto con opción} - Costo_{opción}$$

$$Opción = E(Max(0, VPN > 0))$$

Por tanto el valor de la opción está dada por

$$Opción = E(Max(0, VPN > 0)) - VPN_{Proyecto}$$

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan los principales resultados de la investigación, evidenciando la diferenciación realizada en la metodología; por tanto se muestran los resultados de la valoración de opciones financieras y de la valoración de opciones reales de manera separada.

4.1. Valoración de Opciones Financieras:

Con el fin de conocer el desempeño de la modelación se evaluó la metodología para la valoración de las opciones sobre la acción de Dell escogida arbitrariamente para los días entre el 10 de mayo de 2011 y 20 de mayo de 2011 con vencimiento del 18 de junio de 2011 y el 18 de mayo de 2011 con vencimiento del 21 de mayo de 2011. Considerando que el desarrollo metodológico es largo para cada fecha se muestran los resultados únicamente para los días 10 de mayo de 2011 con vencimiento del 18 de junio de 2011 y 18 de mayo de 2011 con vencimiento del 21 de mayo de 2011.

Tabla 3. Datos de Entrada para Dell (10/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	10 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	18 de junio
Drift anual	0,2120%
Volatilidad anual	34,84%
Número de sub periodos	39
Precio Inicial	16,19
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,2120%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

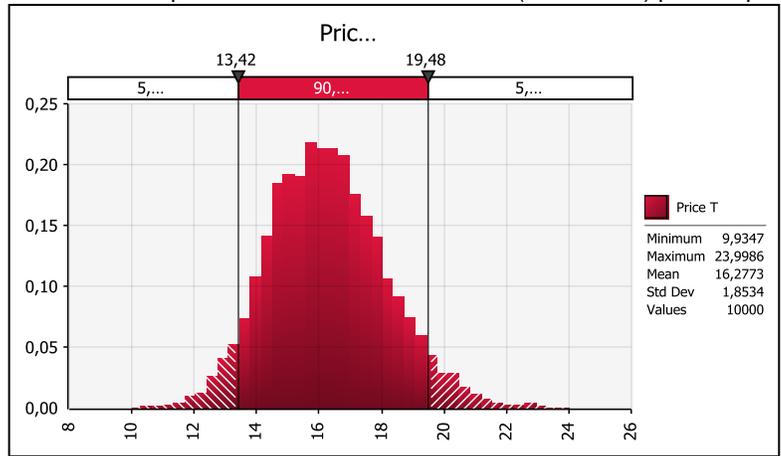
Adicionalmente se plantea la valoración para las 5 primeras acciones establecidas en la metodología para el día 14 de junio de 2011 con vencimiento del 16 de julio de 2011, estos resultados se muestran en el anexo 2.

Tabla 4. Cálculos preliminares para Dell (10/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)

Cálculos Preliminares	
Drift periódico	0,01382%
Volatilidad periódica	1,8236089%
Media del Drift	-0,0028042%
Tasa de Descuento CAPM	5,045600%

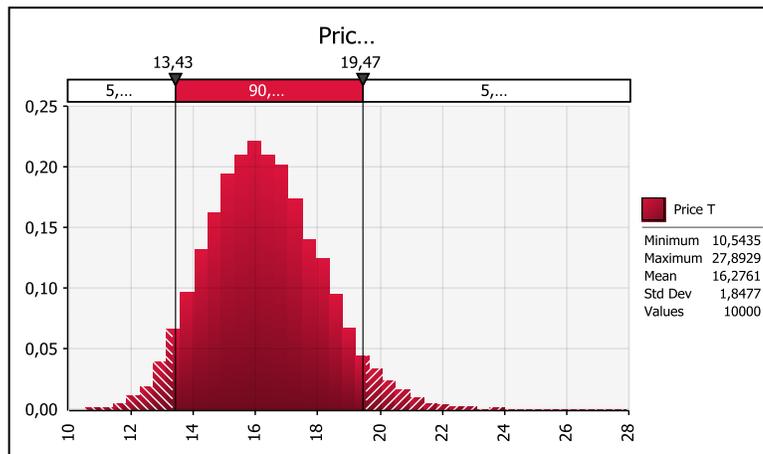
Como resultado preliminar se obtiene la distribución del precio de la acción de Dell en el vencimiento de la opción mediante la simulación del MBG para diferentes precios de ejercicio. Como se evidencia en las gráficas que se muestran a continuación la distribución de los precios tienen una aparente tendencia log normal, como es de esperarse para la caminata aleatoria.

Gráfica 2. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (18/06/2011) para un precio de \$15.



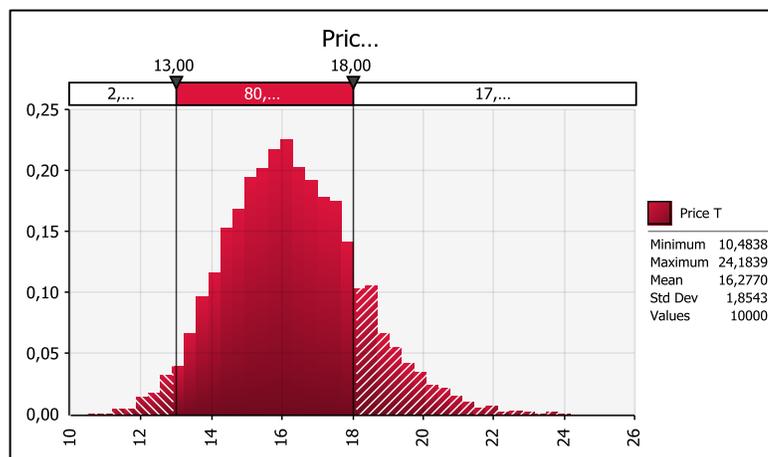
Fuente: Los Autores

Gráfica 3. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (18/06/2011) para un precio de \$16.



Fuente: Los Autores

Gráfica 3. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (18/06/2011) para un precio de \$18.



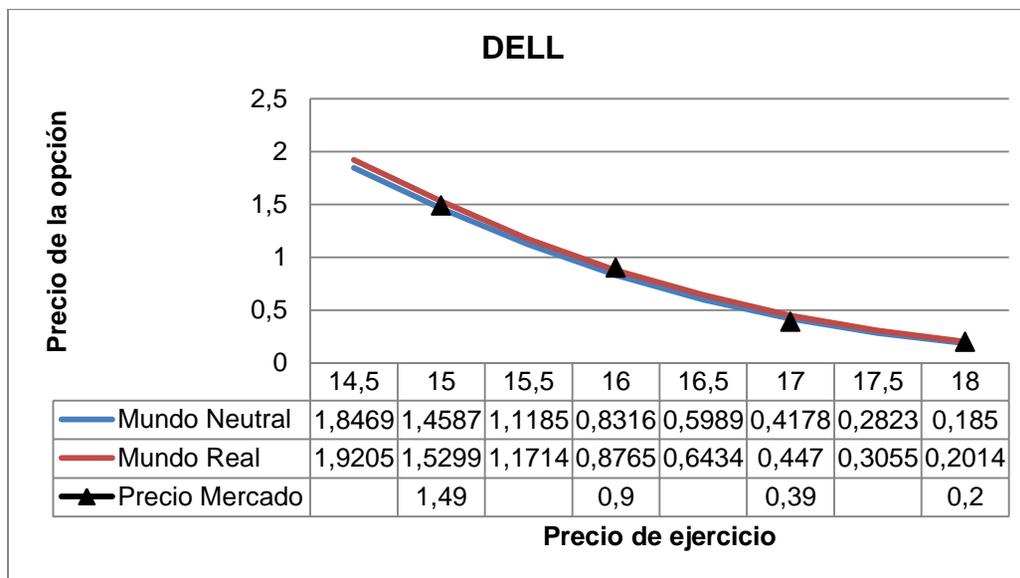
Fuente: Los Autores

Con respecto a los cálculos para el análisis se obtienen los parámetros para los diferentes precios de ejercicio, se compara el precio de las opciones con una valoración neutral, (es decir mediante el modelo de B&S); con el valor de la opción calculada como el valor presente de los pagos esperados para la acción y los precios del mercado.

Además de la distribución de los pagos esperados y su valor presente, se calculan el coeficiente de variación de la acción, el coeficiente de variación de la opción, el apalancamiento de la opción y el retorno esperado apalancado de la opción. Teniendo en cuenta que se desea encontrar una tendencia en el comportamiento de los cálculos para el análisis para las diferentes simulaciones de las acciones seleccionadas, los resultados se mostrarán luego de analizar cada una de las tablas y gráficas de comparación para las diferentes acciones.

Cálculos para el Análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,49		0,9		0,39		0,2
Precio Call B&S	1,8469	1,4587	1,1185	0,8316	0,5989	0,4178	0,2823	0,1850
Pago Esperado	1,9209	1,5304	1,1716	0,8768	0,6436	0,4473	0,3055	0,2016
Valor Presente	1,9205	1,5299	1,1714	0,8765	0,6434	0,4470	0,3055	0,2014
Coficiente Variación Acción	0,1152	0,1139	0,1144	0,1125	0,1148	0,1145	0,1142	0,1135
Coficiente Variación Opción	0,8697	1,0058	1,2088	1,4133	1,6888	2,0130	2,4957	3,1121
Apalancamiento Opción	7,5523	8,8334	10,5636	12,5586	14,7044	17,5754	21,8589	27,4146
Retorno Esperado	3,93%	4,33%	4,64%	4,26%	7,19%	7,94%	7,90%	6,06%
Retorno Apalancado Esperado	69,87%	38,32%	44,78%	53,51%	63,58%	74,40%	88,89%	110,50%

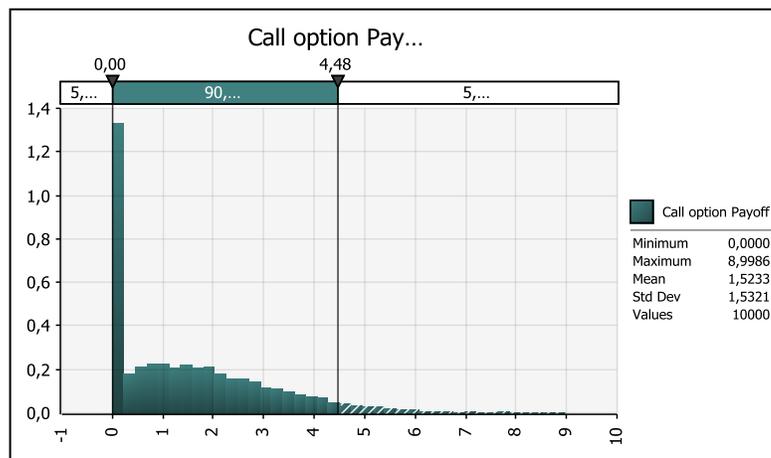
Tabla 5. Cálculos para el análisis para Dell (10/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)



Gráfica 4. Comparación de los precios de las opciones para Dell (18/06/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

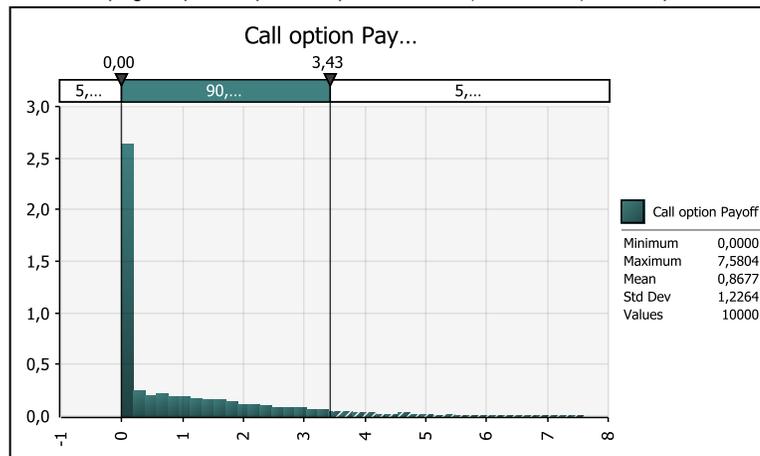
Como complemento a los cálculos para el análisis se obtienen las distribuciones para los pagos esperados de las opciones para diferentes precios de ejercicio, como se evidencia en las gráficas 6 y 7, que se muestran a continuación en las distribuciones de los pagos esperados se puede observar la probabilidad de obtener ganancias con el ejercicio de la opción, de manera clara se identifica que existe una frecuencia importante en el 0, esta es la cantidad de veces que no se ejerce la opción. En el caso de la opción call esta se ejerce en los casos en que el precio del activo en el tiempo de vencimiento de la opción es menor al precio de ejercicio.

Gráfica 5. Distribución del pago esperado para la opción de Dell(18/06/2011) con un precio de ejercicio de US\$15.



Fuente: Los Autores

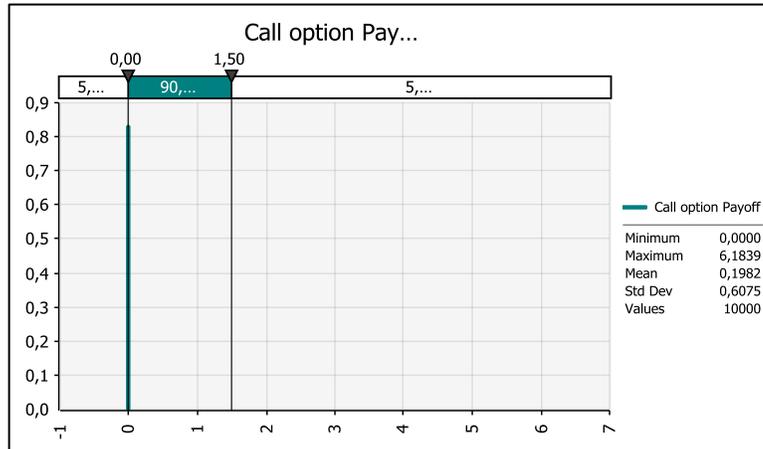
Gráfica 6. Distribución del pago esperado para la opción de Dell (18/06/2011) con un precio de ejercicio de US\$16.



Fuente: Los Autores

Como se evidencia en la gráfica 8 para un precio de ejercicio de US\$18, la probabilidad de ejercer la opción es casi nula, debido que la probabilidad de que el precio del activo sea mayor al precio de ejercicio es aproximadamente del 17% como se evidencia en la gráfica 4. Por tanto no debería esperarse un pago, para precios de ejercicio altos.

Gráfica 7. Distribución del pago esperado para la opción de Dell (18/06/2011) con un precio de ejercicio de US\$18



. Fuente: Los Autores

Como se planteó inicialmente se realiza la simulación adicionalmente para la opción sobre la acción de Dell para el día 18 de Mayo de 2011 con vencimiento del 21 de Mayo de 2011. Por tanto se sigue de igual manera la metodología para la valoración de la opción, con la característica especial de que son tres periodos para el vencimiento.

Tabla 6. Datos de Entrada para Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)

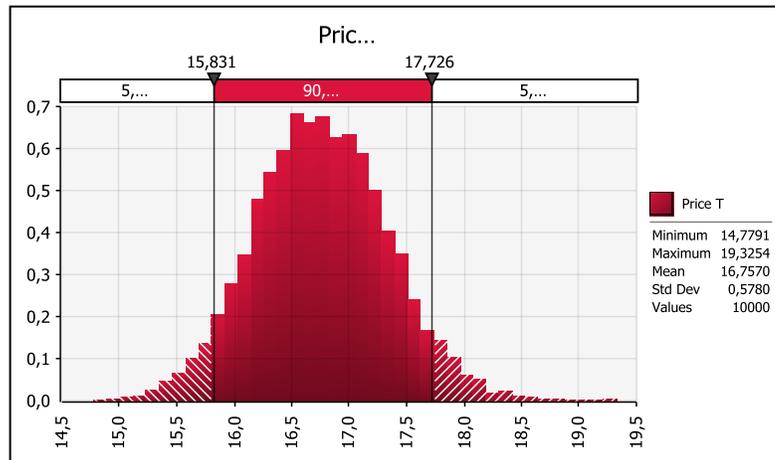
Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	18 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	21 de mayo
Drift anual	0,1957%
Volatilidad anual	37,99%
Número de sub periodos	3
Precio Inicial	16,75
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1957%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 7. Cálculos preliminares para Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)

Cálculos Preliminares	
Drift periódico	0,01382%
Volatilidad periódica	1,9884875%
Media del Drift	-0,0059491%
Tasa de Descuento CAPM	5,044785%

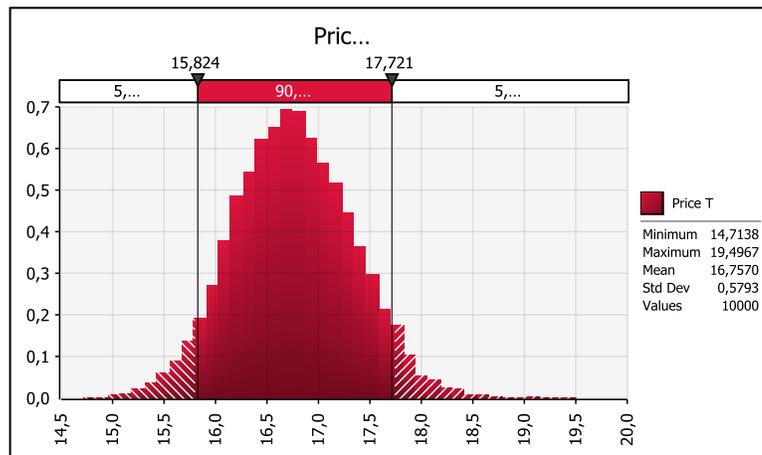
Así como se hizo en la simulación anterior se muestra la distribución del precio del activo para el vencimiento de la opción.

Gráfica 8. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (21/05/2011) para un precio de US\$15.



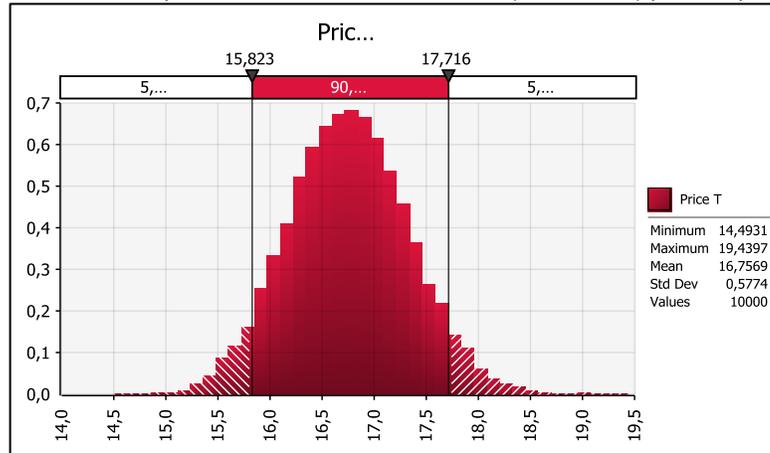
Fuente: Los Autores

Gráfica 9. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (21/05/2011) para un precio de US\$16.



Fuente: Los Autores

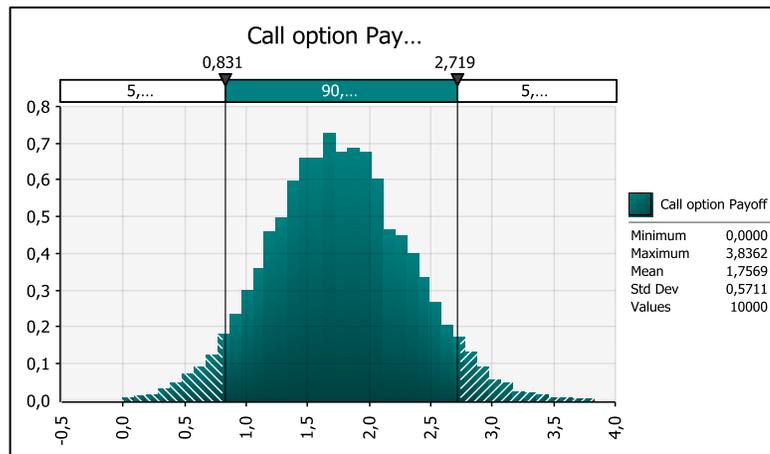
Gráfica 10. Distribución del precio de Dell en el vencimiento (21/05/2011) para un precio de US\$18.



Fuente: Los Autores

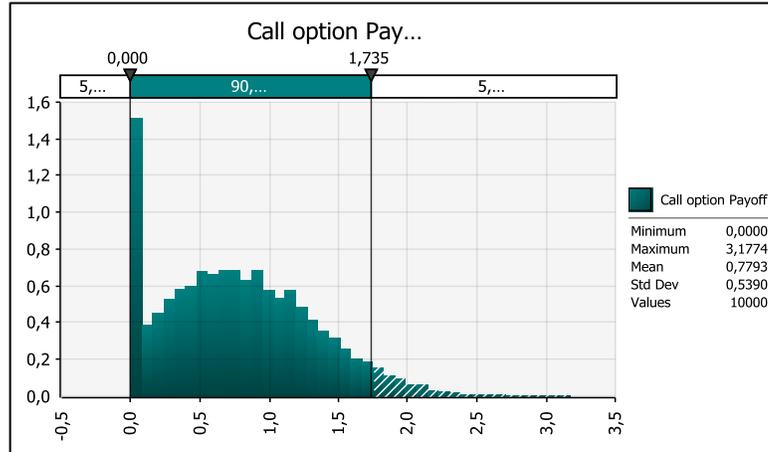
Como se evidencia en la gráfica 12, para un precio de ejercicio de US\$15 se observa que existe un 100% de probabilidad de que se obtengan pagos, esto debido a que la distribución del precio que se puede ver en la gráfica 8 que muestra que el precio de la acción para el vencimiento que es próximo será mayor al precio de ejercicio.

Gráfica 11. Distribución del pago esperado para la opción de Dell (21/05/2011) con un precio de ejercicio de \$15



. Fuente: Los Autores

Gráfica 12. Distribución del pago esperado para la opción de Dell (21/05/2011) con un precio de ejercicio de \$16

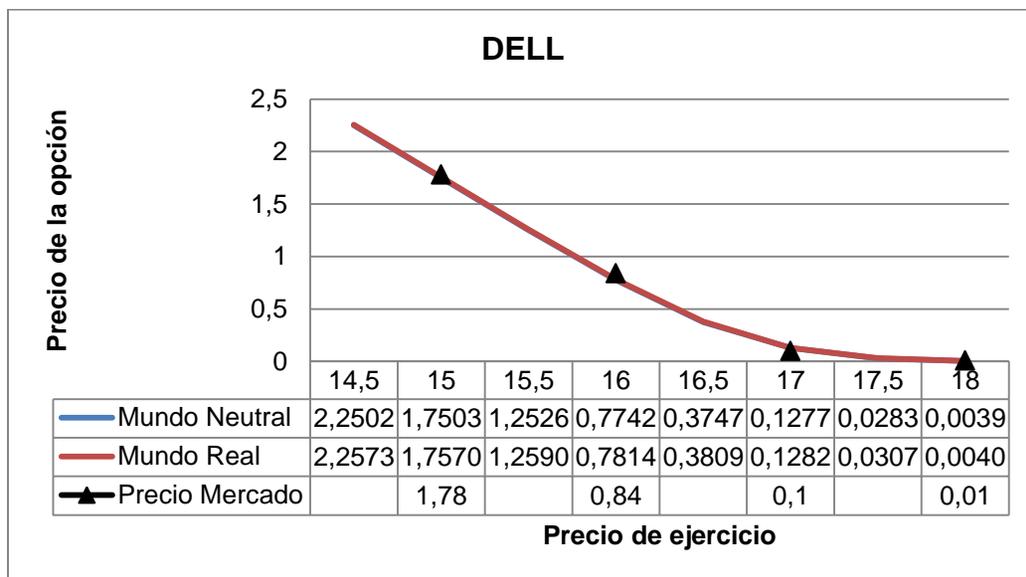


. Fuente: Los Autores

Por otra parte se evidencia nuevamente el comportamiento observado, para la valoración de la opción sobre la acción de Dell para el vencimiento del 18 de Junio de 2011, para los precios de ejercicios altos en el caso de US\$17 y US\$18 no se observa una distribución positiva para los pagos esperados.

Cálculos para el Análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,78		0,84		0,1		0,01
Precio Call B&S	2,2502	1,7503	1,2526	0,7742	0,3747	0,1277	0,0283	0,0039
Pago Esperado	2,2573	1,7570	1,2590	0,7815	0,3809	0,1282	0,0307	0,0040
Valor Presente	2,2573	1,7570	1,2590	0,7814	0,3809	0,1282	0,0307	0,0040
Coficiente Variación Acción	0,0350	0,0342	0,0344	0,0347	0,0346	0,0342	0,0346	0,0343
Coficiente Variación Opción	0,2598	0,3263	0,4543	0,6875	1,1225	2,0120	4,1247	10,8309
Apalancamiento Opción	0,0350	0,0342	0,0344	0,0347	0,0346	0,0342	0,0346	0,0343
Retorno Esperado	0,31%	0,38%	0,51%	0,94%	1,63%	0,36%	7,87%	1,99%
Retorno Apalancado Esperado	37,65%	48,27%	66,75%	100,28%	163,70%	296,75%	601,39%	1591,25%

Tabla 8. Cálculos para el análisis para Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)



Gráfica 13. Comparación de los precios de las opciones para Dell (21/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

De forma general los resultados para el precio de la opción con una tasa de descuento ajustada por el riesgo con respecto al precio de la opción calculada como una valoración neutral al riesgo para las evaluaciones realizadas en diferentes vencimientos, son muy cercanos para los diferentes precios de ejercicio, incluso la valoración ajustada al riesgo presenta valores más parecidos al precio del mercado en repetidas oportunidades.

Considerando los resultados de los pagos esperados para la opción, se puede observar en todos los casos de valoración que el coeficiente de variación de la opción es mucho mayor que el coeficiente de variación de la acción y de forma consecuente el valor de apalancamiento de la opción dimensiona el mayor nivel de riesgo que por naturaleza tiene la opción. De esta manera al evaluar el retorno esperado se puede analizar que existe una prima por el riesgo asociado a los pagos esperados de la opción, sin embargo si se considera el efecto de apalancamiento, el retorno esperado aumenta de una forma considerable.

Se puede observar que el nivel de apalancamiento aumenta conforme el precio de ejercicio es mayor, ya que al aumentar la probabilidad de ejercicio de la opción disminuye. Por tanto el retorno esperado aumenta, reflejando el nivel de riesgo mayor al que se encuentra expuesto el inversionista.

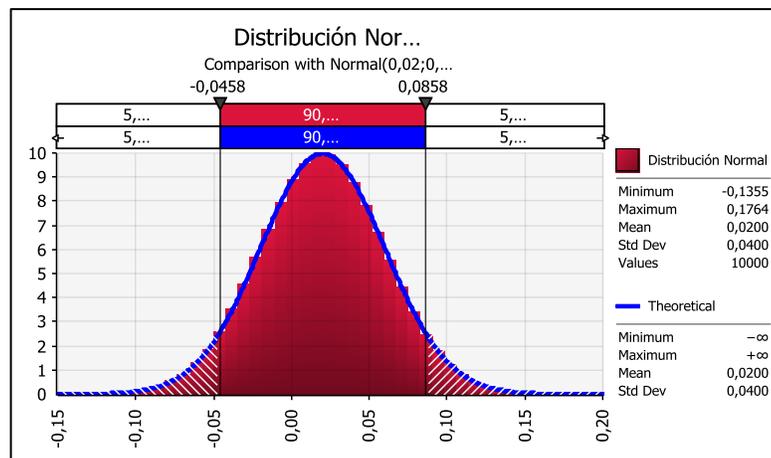
4.2. Valoración de Opciones Reales

Con la utilización del ejemplo propuesto por Borison se llevó a cabo el cálculo del valor del proyecto y el cálculo de la opción de espera para la adquisición de un campo de gas. Para esta valoración se desarrolla el cálculo de los flujos de caja del proyecto sin opción y el proyecto con opción, enfoque de valoración que toma elementos del MAD (Marketed Asset Disclaimer).

Debido a que se trata de la aplicación de la metodología para la evaluación financiera de dichos flujos de caja, se consideran únicamente los datos propuestos por el ejemplo. Las variables a modelar con incertidumbre son:

El precio del gas, que según Henry Hub es de 5,25 USD/KCF y este precio puede variar con una distribución normal con media de 2% y desviación estándar del 4%. Esta es una variable cuya incertidumbre se modela y se muestra en la gráfica 15.

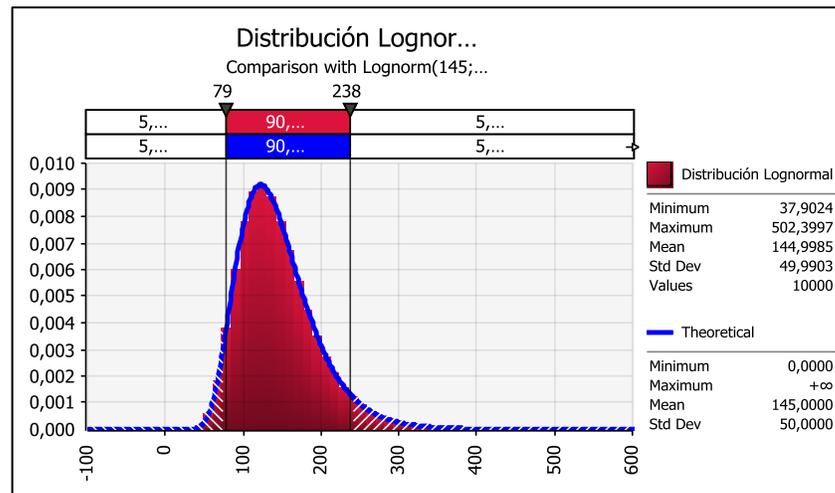
Gráfica 14. Distribución normal para la variación de los precios del gas.



Fuente: Los Autores

La siguiente variable a modelar es la incertidumbre técnica del yacimiento, referente a la cantidad de reservas de gas que posee el campo, esta se modela como una distribución log normal con media de 145 BCF y desviación estándar de 30 BCF, como se muestra en la gráfica 16.

Gráfica 15. Distribución log normal para las reservas probadas del campo de gas.



Fuente: Los Autores

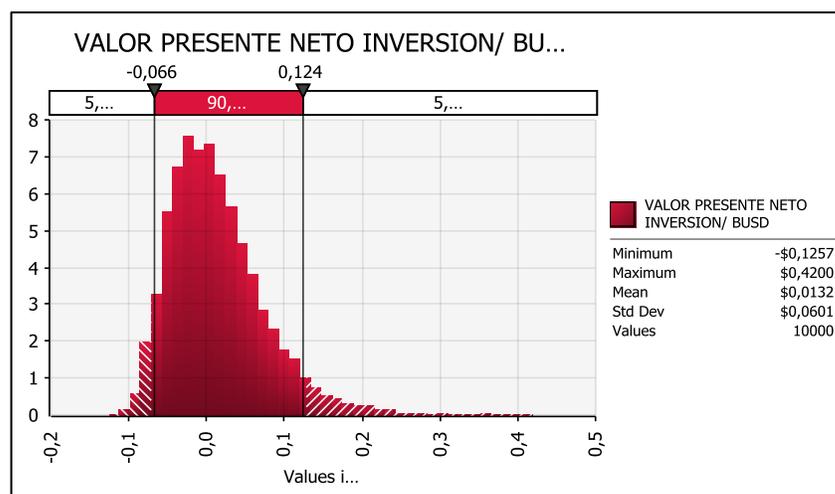
Otras variables que entrega el ejemplo son el costo de 2 USD/KCF, la tasa de descuento es del 13% y la producción anual es un 10% del valor de las reservas durante 10 años. Se asume que la depreciación se realiza en línea recta y que el valor de los impuestos es del 35%.

De esta manera se define igualmente las variables de salida para el cálculo de la opción. Estas corresponden al valor presente de los flujos de caja de la ejecución de la inversión, el valor presente de los flujos de caja del proyecto al tomar la opción de espera y el valor de la opción.

Luego de tener estructurado el flujo de caja descontado, haber definido las variables de entrada y las variables de salida, se procede a correr la simulación con 10000 iteraciones y se analizan los resultados de la simulación:

La primera variable a analizar es el valor del proyecto base, es decir el valor del proyecto sin considerar la opción de espera; de esta manera se puede observar en la gráfica 17 ver que existe una probabilidad de obtener valores negativos en el proyecto de 47,3% y el valor esperado del proyecto es de \$0,0132 BUSD.

Gráfica 16. Valor presente neto del proyecto (BUSD)



Fuente: Los Autores

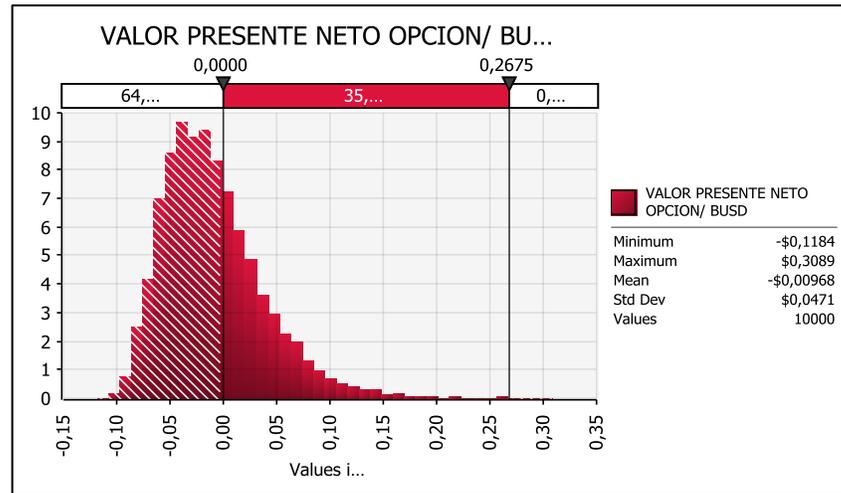
Tabla 9. Resumen estadístico para la valoración del VPN del Proyecto

Summary Statistics for VALOR PRESENTE NETO INVERSION/ BUSD			
Statistics		Percentile	
Minimum	(\$ 0,13)	25%	(\$ 0,03)
Maximum	\$ 0,42	30%	(\$ 0,02)
Mean	\$ 0,01	35%	(\$ 0,02)
Std Dev	\$ 0,06	40%	(\$ 0,01)
Variance	0,0036158	45%	(\$ 0,00)
Skewness	1,077087115	50%	\$ 0,00
Kurtosis	5,04282304	55%	\$ 0,01
Median	\$ 0,00	60%	\$ 0,02
Mode	(\$ 0,00)	65%	\$ 0,03
Left X	(\$ 0,07)	70%	\$ 0,04
Left P	5%	75%	\$ 0,04
Right X	\$ 0,12	80%	\$ 0,06
Right P	95%	85%	\$ 0,07
Diff X	\$ 0,19	90%	\$ 0,09
Diff P	90%	95%	\$ 0,12

Fuente: Los Autores

Como segunda medida se analiza el valor del proyecto con la adquisición de una opción de espera. Analizando la distribución del valor presente neto se puede ver en la gráfica 18 que existe una probabilidad de 64,4% de obtener valores negativos, el valor presente neto esperado del proyecto con opción es de \$- 0,009 BUSD.

Gráfica 17. Valor presente neto del proyecto con opción



Fuente: Los Autores

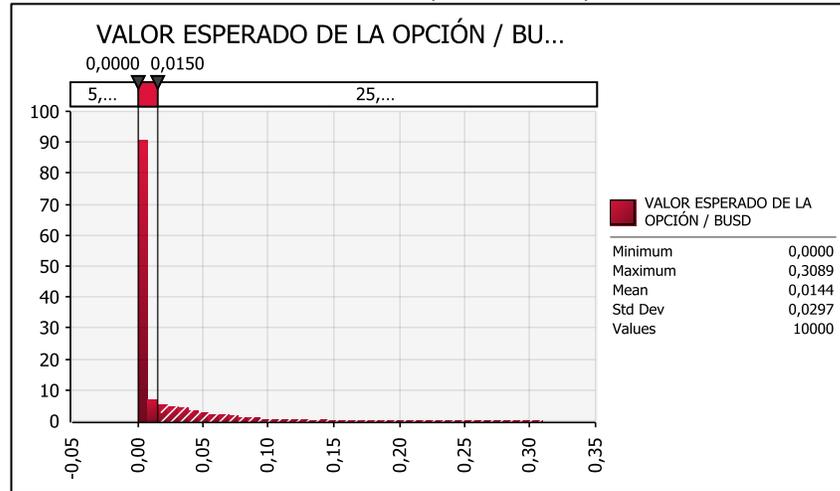
Tabla 10. Resumen estadístico para la valoración del VPN del Proyecto con opción

Summary Statistics for VALOR PRESENTE NETO OPCION/ BUSD			
Statistics		Percentile	
Minimum	(\$ 0,12)	20%	(\$ 0,04)
Maximum	\$ 0,31	30%	(\$ 0,04)
Mean	(\$ 0,01)	35%	(\$ 0,03)
Std Dev	\$ 0,05	40%	(\$ 0,03)
Variance	0,002217638	45%	(\$ 0,02)
Skewness	1,077087115	50%	(\$ 0,02)
Kurtosis	5,04282304	55%	(\$ 0,01)
Median	(\$ 0,02)	60%	(\$ 0,01)
Mode	(\$ 0,02)	65%	\$ 0,00
Left X	(\$ 0,07)	70%	\$ 0,01
Left P	5%	75%	\$ 0,02
Right X	\$ 0,08	80%	\$ 0,02
Right P	95%	85%	\$ 0,04
Diff X	\$ 0,15	90%	\$ 0,05
Diff P	90%	95%	\$ 0,08

Fuente: Los Autores

Si se analiza el valor de los pagos generados por la opción puede verse en la gráfica 19 que la probabilidad acumulada de no ejercicio es del 60%. El valor esperado del proyecto con opción será 0,0144 BUSD, por tanto el valor de la opción será .\$.00108 BUSD.

Gráfica 18. Valor esperado de la opción



Fuente: Los Autores

Tabla 11. Resumen estadístico para la valoración del VPN del Proyecto con opción

Summary Statistics for VALOR ESPERADO DE LA OPCIÓN / BUSD			
Statistics		Percentile	
Minimum	0	25%	0
Maximum	0,308890957	30%	0
Mean	0,014355749	35%	0
Std Dev	0,02971967	40%	0
Variance	0,000883259	45%	0
Skewness	2,991352258	50%	0
Kurtosis	14,52546408	55%	0
Median	0	60%	0
Mode	0	65%	0,000833907
Left X	0	70%	0,007647933
Left P	5%	75%	0,015236004
Right X	0,077071189	80%	0,024710197
Right P	95%	85%	0,036297532
Diff X	0,077071189	90%	0,052370591
Diff P	90%	95%	0,077071189

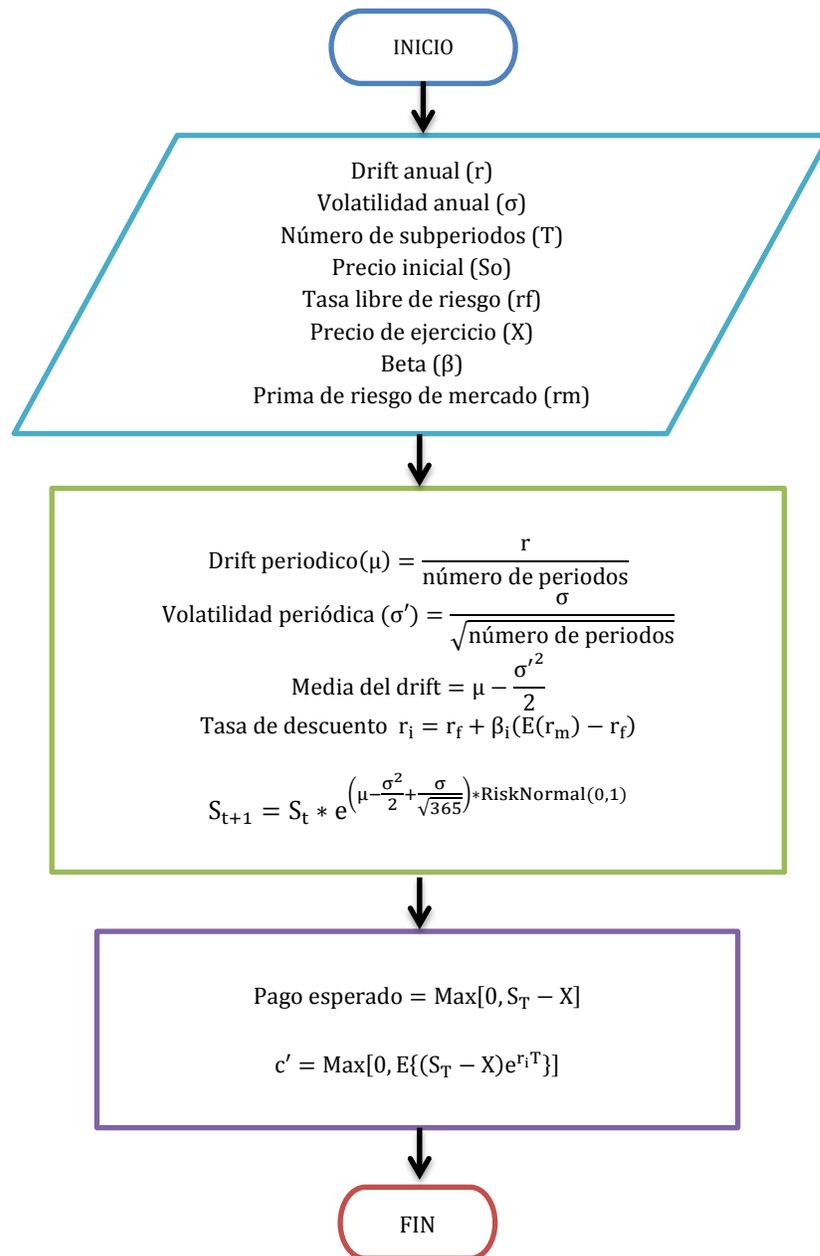
Fuente: Los Autores

Considerando el resultado para las variables de salida analizadas, se toma la decisión de realizar el proyecto, ya que el valor de la opción es \$0,00108 BUSD que corresponde únicamente a un 8% del valor del proyecto base cuyo valor presente neto es \$0,0132 BUSD, lo que significa que el valor de esperar dos años para ver cómo evolucionan las incertidumbres tanto de precio como de cantidad de gas, no es significativo para el proyecto.

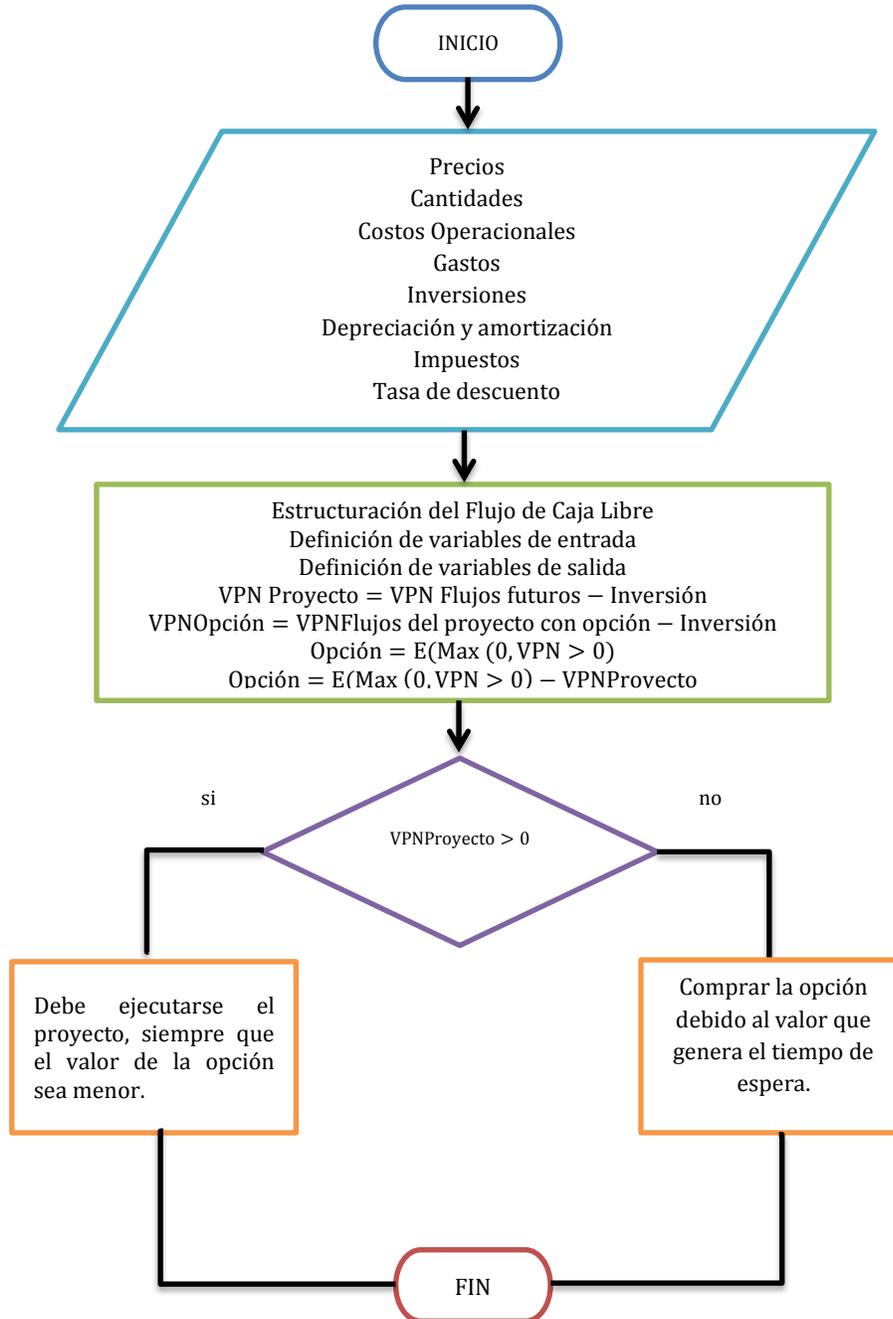
4.3. Metodología para la valoración de opciones con una tasa de descuento ajustada por el riesgo.

Luego de realizar la aplicación de la valoración tanto de las opciones financieras como reales, se procede a definir la metodología de valoración como resultado de este estudio.

4.3.1. Valoración de opciones financieras



4.3.2. Valoración de opciones reales



5. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Dentro de la revisión de la literatura se estudia la valoración de opciones financieras y reales generalmente utilizando el supuesto de valoración neutral al riesgo, sin embargo en el mundo real un inversionista espera recibir una prima por el riesgo al que se enfrenta. Este trabajo planteó una metodología para la valoración de opciones con una tasa de descuento ajustada por el riesgo.

En primera instancia se valoraron las opciones financieras, para este caso específico se observa que al evaluar el precio de las mismas con una visión intuitiva, es decir como el valor presente de los pagos esperados descontados con una tasa de descuento ajustada por el riesgo, da como resultado valores que son muy cercanos al precio del modelo de B&S que utiliza valoración neutral al riesgo; incluso en ocasiones el precio ajustado por el riesgo, tiene valores más cercanos al valor del mercado que la solución analítica en cuestión que es ampliamente reconocida y utilizada. Evidentemente el cálculo del valor de la opción mediante la metodología presentada, representa un mayor esfuerzo para obtener un resultado, en comparación con el modelo analítico de B&S.

En el caso de aplicación de la metodología y con el fin de evaluar el comportamiento del valor de las opciones financieras, se observa que el apalancamiento de estas aumenta, debido a que el nivel de riesgo crece al disminuir la probabilidad de ejercicio de la opción, en el caso de la opción *call* esto sucede para precios de ejercicio altos. De esta manera a mayor nivel de riesgo asociado, el valor del retorno apalancado crece considerablemente.

Como segunda medida el valor de la opción real se ve altamente influenciado por la construcción de los flujos de caja y el modelamiento de las variables de entrada; de la rigurosidad con que se modelen estos aspectos, depende que el resultado obtenido sea confiable para la toma de decisiones. Para el caso específico de

aplicación de la metodología se evaluó la opción de espera, sin embargo esta podría ser utilizada para la valoración de otras opciones, considerando que de acuerdo a la clase de opción la toma de la decisión cambia.

Dentro de los resultados obtenidos es importante hacer énfasis, en la utilidad que tiene para el decisor poder analizar las distribuciones de probabilidad que tienen las variables de salida y determinar el VAR (*Value at risk*), es decir la pérdida esperada del proyecto; lo que le permite evaluar los escenarios y tomar la decisión que se ajuste a su nivel de riesgo.

El desarrollo de las metodologías esta soportado en el uso de la simulación de Monte Carlo, esta herramienta es muy valiosa al momento de evaluar procesos estocásticos como el movimiento browniano geométrico caso específico de aplicación; no obstante puede ser utilizado para otros modelamientos diferentes de los cuáles se pueda obtener los parámetros, lo que permite evaluar comportamientos sin importar que exista o no una solución analítica. La desventaja que presenta esta herramienta específicamente es la dificultad que representa la valoración de opciones americanas.

Finalmente y no obstante las limitaciones que pueda tener las metodologías, considerando los resultados presentados tanto para las opciones financieras y reales, se puede concluir que la valoración de opciones con una tasa de descuento ajustada por el riesgo, se puede erigir como una alternativa ante la valoración neutral al riesgo.

Para el desarrollo de posibles estudios futuros sería interesante considerar la valoración de opciones *put* bajo la misma metodología y adicionalmente modelar procesos estocásticos diferentes al movimiento browniano geométrico, como el

modelo de saltos difusos de Merton y saltos de Poisson que pueden ser modelados igualmente a través de simulación de Monte Carlo.

En relación con la metodología de valoración de opciones reales, se podría analizar la evaluación de otros tipos de opciones como expansión, ampliación por etapas y abandono.

6. BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, Susana, AZOFRA, Valentín y DE LA FUENTE, Gabriel. Las opciones reales y la simulación de Monte Carlo. En: *Universia Business Review*. 2007. p.53-63

AMRAM, Martha. y KULATILAKA, Nalin. *Strategy and Shareholder value creation: The real options frontier*. En: *Journal of applied corporate finance*. 2000. Vol. 13, No p 2. 8-21

ARNOLD, Tom y CRACK, Timothy. *Using the WACC to value Real Options*. 2004. p.1-13

ARNOLD, Tom y CRACK, Timothy. *Option Pricing in the Real World: A Generalized Binomial Model with Applications to Real Options. Real options meets practice. Annual International Conference*. 2003. p.1-55. Disponible en: http://www.realoptions.org/papers2003/ArnoldSSRN_ID240554.pdf

ARNOLD, Tom y CRACK, Timothy. *Real Option Valuation using NPV*. 2004. 16 p
BARRAQUAND, Jérôme y MARTINEAU, Didier. *Numerical Valuation of High Dimensional Multivariate American Securities*. En: *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. 1995. Vol. 30, No. 3. p. 383-405. Disponible en: <http://ebookbrowse.com/barraquand-martineau-1995-jfqa-pdf-d41918311>

BARRIA, Carlos. Inversiones bajo incertidumbre en generación eléctrica: aplicación de opciones reales y modelos de precios. Chile. 2008. 170.p. Tesis de Grado de Magíster en Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería.

BLACK, Fisher y SCHOLLES, Myron. *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*. En: *The Journal of Political Economics*. Vol. 81, No. 3. 1973. p. 637-654.

BORISON, Adam. *Real Options analysis: Where are the Emperor's Clothes?* Stanford University. 2003. 30 p.

BOYLE, Paul. *Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly*, citado por BROADIE, Mark y GLASSERMAN, Paul. *Estimating Security Price Derivatives Using Simulation*. En: *Management Science*. Vol. 42, No. 2. 1996. p.269-285

BOYLE, Phelim, BROADIE, Mark y GLASSERMAN, Paul. *Monte Carlo Methods for security pricing*. En: *Journal of Economic Dynamics and Control*. Vol. 21. 1997. p. 1267-1321. Disponible en:
http://www.axelkind.com/teaching/financial_derivatives/papers/boyle_broadie_glasglasgl_mc_overview_jedc.pdf

BRANDAO, Luis; DYER, James y WARREN, Hanh. *Using binomial decision trees to solve real option valuation problems*. En: *Decision Analysis*. 2005. Vol, 2. No. 2. p. 69

BREALEY, Richard y MYERS, Stewart. *Principles of Corporate Finance*. 7 ed. Mc Graw Hill. 2003. p.634

BRENNAN, Michael y SHWARTZ, Eduardo. *Evaluating Natural Resource Investments*. En: *The Journal of Business*. Vol. 58, No. 2. 1985. p. 135-157.

BROADIE, Mark y GLASSERMAN, Paul. *A stochastic mesh method for pricing high dimensional American options*. En: *Journal of Computational Finance*. Vol. 7, No. 4. 2004. p. 35-72. Disponible en:
http://www.columbia.edu/~mnb2/broadie/Assets/v7n4a3_Broadie.pdf

BROADIE, Mark y GLASSERMAN, Paul. *Estimating Security Price Derivatives Using Simulation*. En: Management Science. Vol. 42, No. 2. 1996. p. 269-285.

COPELAND, Tom y TUFANO, Peter. *A Real World Way to Manage Real Options*. En: Harvard Business Review. 1998. p. 13 p..

CORTÁZAR, Gonzalo y SCHWARTZ, Eduardo. *Monte Carlo Evaluation Model of an Undeveloped Oil Field*. En: *Journal of Energy Finance and Development*. Vol. 3, No. 1. 1998. p. 73-84.

CORTÁZAR, Gonzalo. *Simulation and Numerical Methods in Real Options Valuation*. En: *Real Options and Investment Under Uncertainty*. 24 p.

COSS, Jhon. ROSS, Stephen y RUBINSTEIN, Mark. *Options Valuation: A Simplified Approach*. En: The Journal of Financial Economics. Vol.7. 1979. P. 229-263

DAMODARAN, Aswath. *The Promise and Perils of Real Options*. New York University Working Paper. 2005. P. 3. Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=1295849>

DAMODARAN; Aswath. *Equity Risk Premiums (ERP): Determinants, Estimation and Implications. The 2011 Edition*. Stern School of Bussines. Disponible en: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1769064

FERNÁNDEZ, Pablo y DEL CAMPO, Javier. *Market Risk Premium in 2010 by Analyst and Companies: A survey with 2400 answers*. 2010. 15 p. Disponible en: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1609563

FERNÁNDEZ, Pablo. *Equity Premium: Historical, Expected, Required and Implied*. En: IESE Business School. Universidad de Navarra. 2006. P. 3. Disponible en: <http://69.175.2.130/~finman/Barcelona/Papers/EquityPremiumHERI.pdf>

FERNÁNDEZ, Pablo. Valoración de opciones por simulación. IESE. Universidad de Navarra. Documento de Investigación No. 309. 1996. 52 p. Disponible en: <http://www.iese.edu/research/pdfs/DI-0309.pdf>

GAMBA, Andrea. *Real Options a Monte Carlo Approach*. 2003. p. 50.

GRAHAM, Jhon y HARVEY, Campbell. *The equity risk premium in 2010*. 2010. 21 p. Disponible en: http://faculty.fuqua.duke.edu/~charvey/Research/Working_Papers/W104_The_equi_eq_risk.pdf

HODDER, James; MELLO, Antonio y SICK, Gordon. *Valuing Real Options: Can Risk - Adjusted Discounting made to work?* En: Journal of Applied Corporate Finance. Vol. 14. No. 2. 2001. p. 90-101

HULL, John. *Options, futures, and other derivatives*. Sixth Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall .2006. p. 245

LUEHRMAN, Timothy. *Investments Opportunities as Real Options: Getting started in the numbers*. En: *Harvard Business Review*. 2004. 16 p.

MUN, Johnathan. *Real Options and Monte Carlo Simulation versus traditional DCF Valuation in Layman's Terms*. 41 p

MYERS, Stewart. *Determinants of Corporate Borrowing*. En: Journal of Financial Economics. Vol 5. 1977. p. 147-175.

SCHWARTZ, Eduardo. *Patents and R&D as Real Options*. En: Economics Notes, vol. 33. 2004. p. 23-54.

SICK, Gordon y GAMBÀ, Andrea. *Some Important Issues Involving Real Options: An Overview*. En: Multinational Finance Journal. 2010. Vol. 14. No. 1/2. p. 73-123.

SMITH, James y MCCARDLE, Kevin. *Valuing oil properties: Integrating option pricing and decision analysis approaches*. En: Operation Research. 1998. Vol. 46, No. 2. p. 198-217

SMITH, James y NAU, Robert. *Valuing Risky Projects: Option pricing theory and decision analysis*. En: Management Science. 1995. Vol. 41, No. 5. p. 812.

TILLEY, James. *Valuing American Options in a Path Simulation Model*. En: Investment Section Monograph. En: Transactions of the Society of Actuaries. Vol. 45. pp. 83-104.

TRIANI, Alex y BORISON, Adam. *Real Options: State of Practice*. En: *Journal of Applied Corporate Finance*. Vol. 14, No. 2. 2001. p. 8-24.

TRIANI, Alexander. *Realizing the potential of real options: Does theory meet practice?* En: *Journal of Applied Corporate Finance*. 2005. Vol. 17. No. 2. p. 8-16

ANEXO A. Selección de las acciones para la valoración

Considerando que los criterios que se establecieron para la selección de las acciones para la valoración de las opciones fueron el no pago de dividendos y la liquidez. Se seleccionaron aquellas acciones del S&P 500 con dividendos iguales a cero, para el momento de comenzar con la valoración la información se consiguió en la página de internet <http://indexarb.com/dividendYieldSortedsp.html> de esta manera se procedió a ordenar las acciones sin dividendos por su nivel de liquidez considerando la cantidad de contratos de opción abiertos (*Open Interest*), este ordenamiento se puede ver en la tabla a continuación.

Tabla 12. Acciones que no pagan dividendos

	Índice de la opción	Nombre	Contratos Abiertos
1	F	FORD MOTOR CO	714711,00
2	YHOO	YAHOO! INC	419002,00
3	S	SPRINT NEXTEL CORP	327874,00
4	AAPL	APPLE COMPUTER INC	285659,00
5	MU	MICRON TECHNOLOGY INC	259113,00
6	AMD	ADVANCED MICRO DEVICES	236883,00
7	DELL	DELL INC	158572,00
8	EBAY	EBAY INC	121990,00
9	NVDA	NVIDIA CORP	113324,00
10	EMC	EMC CORP/MASS	112133,00
11	GNW	GENWORTH FINANCIAL INC-CL A	86517,00
12	SYMC	SYMANTEC CORP	83428,00
13	AMZN	AMAZON.COM INC	75151,00
14	MHS	MEDCO HEALTH SOLUTIONS INC	61655,00
15	FSLR	FIRST SOLAR INC	58661,00
16	WFR	MEMC ELECTRONIC MATERIALS	53766,00
17	JDSU	JDS UNIPHASE CORP	51695,00
18	NBR	NABORS INDUSTRIES LTD	48520,00
19	LSI	LSI LOGIC CORP	47514,00
20	ADBE	ADOBE SYSTEMS INC	46796,00
21	APOL	APOLLO GROUP INC-CL A	44819,00
22	DTV	DIRECTV GROUP INC/THE	44035,00
23	BIG	BIG LOTS INC	43830,00
24	CELG	CELGENE CORP	43452,00
25	SNDK	SANDISK CORP	41789,00
26	CRM	SALESFORCE.COM INC	37143,00

27	NFLX	NETFLIX INC	34654,00
28	FFIV	F5 NETWORKS INC	33716,00
29	MYL	MYLAN LABORATORIES INC	31583,00
30	GT	GOODYEAR TIRE & RUBBER CO	30837,00
31	ERTS	ELECTRONIC ARTS INC	30795,00
32	GOOG	GOOGLE INC-CL A	29880,00
33	GILD	GILEAD SCIENCES INC	28883,00
34	BSX	BOSTON SCIENTIFIC CORP	28508,00
35	SWN	SOUTHWESTERN ENERGY CO	27690,00
36	AMT	AMERICAN TOWER CORP-CL A	27304,00
37	GME	GAMESTOP CORP-CL A	26632,00
38	TDC	TERADATA CORP	25993,00
39	URBN	URBAN OUTFITTERS INC	21077,00
40	LIFE	LIFE TECHNOLOGIES CORP	21062,00
41	BBBY	BED BATH & BEYOND INC	20227,00
42	AKAM	AKAMAI TECHNOLOGIES	19260,00
43	CMG	CHIPOTLE MEXICAN GRILL-CL A	19110,00
44	SHLD	SEARS HOLDINGS CORP	18502,00
45	CEPH	CEPHALON INC	18419,00
46	NRG	NRG ENERGY INC	18140,00
47	ANR	ALPHA NATURAL RESOURCES INC	17814,00
48	ESRX	EXPRESS SCRIPTS INC	17690,00
49	MMI	MOTOROLA MOBILITY HOLDINGS INC	16641,00
50	ETFC	E*TRADE FINANCIAL CORP	15602,00
51	INTU	INTUIT INC	14322,00
52	MWW	MONSTER WORLDWIDE INC	14108,00
53	JNPR	JUNIPER NETWORKS INC	13556,00
54	WDC	WESTERN DIGITAL CORP	13280,00
55	FRX	FOREST LABORATORIES INC	13052,00
56	CERN	CERNER CORP	13016,00
57	NFX	NEWFIELD EXPLORATION CO	12393,00
58	AZO	AUTOZONE INC	11690,00
59	MSI	MOTOROLA SOLUTIONS INC	10941,00
60	TMO	THERMO FISHER SCIENTIFIC INC	10847,00
61	CTXS	CITRIX SYSTEMS INC	10460,00
62	PCLN	PRICELINE.COM INC	10303,00
63	AES	AES CORP	9522,00
64	DNR	DENBURY RESOURCES INC	9291,00
65	ADSK	AUTODESK INC	9019,00
66	NVLS	NOVELLUS SYSTEMS INC	8670,00
67	ZMH	ZIMMER HOLDINGS INC	8600,00
68	RDC	ROWAN COMPANIES INC	8498,00
69	HSP	HOSPIRA INC	8463,00
70	DVA	DAVITA INC	8445,00
71	VRSN	VERISIGN INC	8180,00
72	BMC	BMC SOFTWARE INC	7480,00

73	FTI	FMC TECHNOLOGIES INC	6945,00
74	TSO	TESORO CORP	6614,00
75	ISRG	INTUITIVE SURGICAL INC	6605,00
76	CBG	CB RICHARD ELLIS GROUP INC-A	6126,00
77	KMX	CARMAX INC	6023,00
78	RHT	RED HAT INC	5969,00
79	VAR	VARIAN MEDICAL SYSTEMS INC	5582,00
80	A	AGILENT TECHNOLOGIES INC	5468,00
81	BIIB	BIOGEN IDEC INC	5382,00
82	TER	TERADYNE INC	5355,00
83	WPI	WATSON PHARMACEUTICALS INC	5314,00
84	LXK	LEXMARK INTERNATIONAL INC-A	5309,00
85	FISV	FISERV INC	5072,00
86	CAM	CAMERON INTERNATIONAL CORP	4965,00
87	STZ	CONSTELLATION BRANDS INC-A	4800,00
88	PWR	QUANTA SERVICES INC	4113,00
89	PCS	METROPCS COMMUNICATIONS, INC	3908,00
90	OI	OWENS-ILLINOIS INC	3832,00
91	SRCL	STERICYCLE INC	3553,00
92	SAI	SAIC INC	3072,00
93	JEC	JACOBS ENGINEERING GROUP INC	2840,00
94	CVH	COVENTRY HEALTH CARE INC	2682,00
95	CFN	CAREFUSION CORP	2425,00
96	EW	EDWARDS LIFESCIENCES CORP	2392,00
97	AN	AUTONATION INC	1351,00
98	WAT	WATERS CORP	1155,00
99	ORLY	O'REILLY AUTOMOTIVE INC	902,00
100	CPWR	COMPUWARE CORP	772,00
101	TLLP	TESORO LOGISTICS LP	22,00

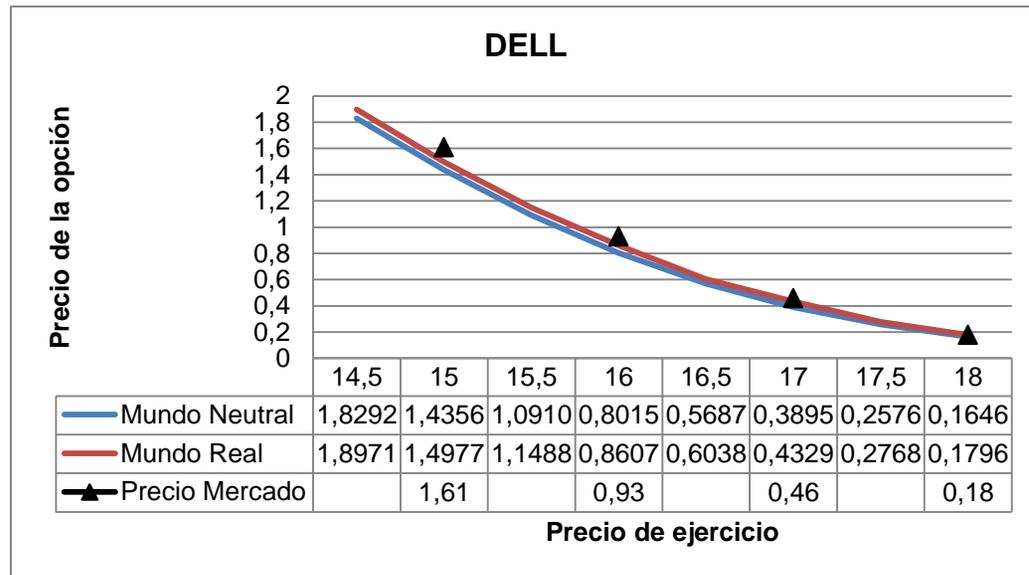
ANEXO B. Resultados obtenidos del valor de las opciones para las acciones escogidas.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	11 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	18 de junio
Drift anual	0,2076%
Volatilidad anual	33,84%
Número de sub periodos	38
Precio Inicial	16,41
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,2076%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 13. Datos de entrada para las Dell (11/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,61		0,93		0,46		0,18
Precio Call B&S	1,8292	1,4356	1,0910	0,8015	0,5687	0,3895	0,2576	0,1646
Pago Esperado	1,8975	1,4980	1,1491	0,8609	0,6039	0,4330	0,2769	0,1796
Valor Presente	1,8971	1,4977	1,1488	0,8607	0,6038	0,4329	0,2768	0,1796
Coeficiente Variación Acción	0,1089	0,1097	0,1095	0,1113	0,1093	0,1112	0,1088	0,1087
Coeficiente Variación Opción	0,8380	0,9980	1,1771	1,4117	1,6861	2,0249	2,5030	3,0920
Apalancamiento Opción	7,6931	9,1018	10,7489	12,6845	15,4300	18,2174	22,9973	28,4400
Retorno Esperado	3,66%	4,26%	5,19%	7,14%	6,01%	10,58%	7,23%	8,76%
Retorno Apalancado Esperado	39,02%	46,13%	54,44%	64,21%	78,06%	92,12%	116,24%	143,70%

Tabla 14. Cálculos para el análisis para Dell (11/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)



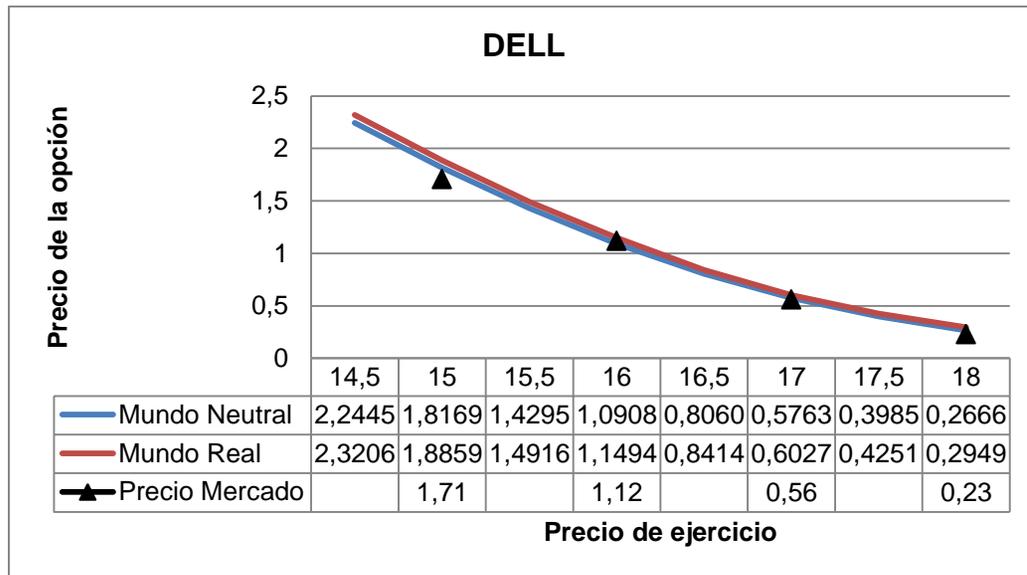
Gráfica 19. Comparación de los precios de las opciones para Dell (11/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	12 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	18 de junio
Drift anual	0,2057%
Volatilidad anual	34,28%
Número de sub periodos	37
Precio Inicial	16,66
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,2057%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 15. Datos de entrada para las Dell (12/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,71		1,12		0,56		0,23
Precio Call B&S	2,2445	1,8169	1,4295	1,0908	0,8060	0,5763	0,3985	0,2666
Pago Esperado	2,3206	1,8859	1,4916	1,1494	0,8414	0,6028	0,4251	0,2949
Valor Presente	2,3206	1,8859	1,4916	1,1494	0,8414	0,6027	0,4251	0,2949
Coeficiente Variación Acción	0,1099	0,1096	0,1095	0,1096	0,1082	0,1087	0,1091	0,1106
Coeficiente Variación Opción	0,7411	0,8656	1,0170	1,1935	1,4322	1,7424	2,0877	2,5262
Apalancamiento Opción	6,7410	7,9014	9,2875	10,8923	13,2407	16,0233	19,1289	22,8412
Retorno Esperado	3,34%	3,73%	4,25%	5,23%	4,30%	4,49%	6,47%	10,11%
Retorno Apalancado Esperado	34,22%	40,07%	47,06%	55,16%	67,01%	81,05%	96,72%	115,45%

Tabla 16. Cálculos para el análisis para Dell(12/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)



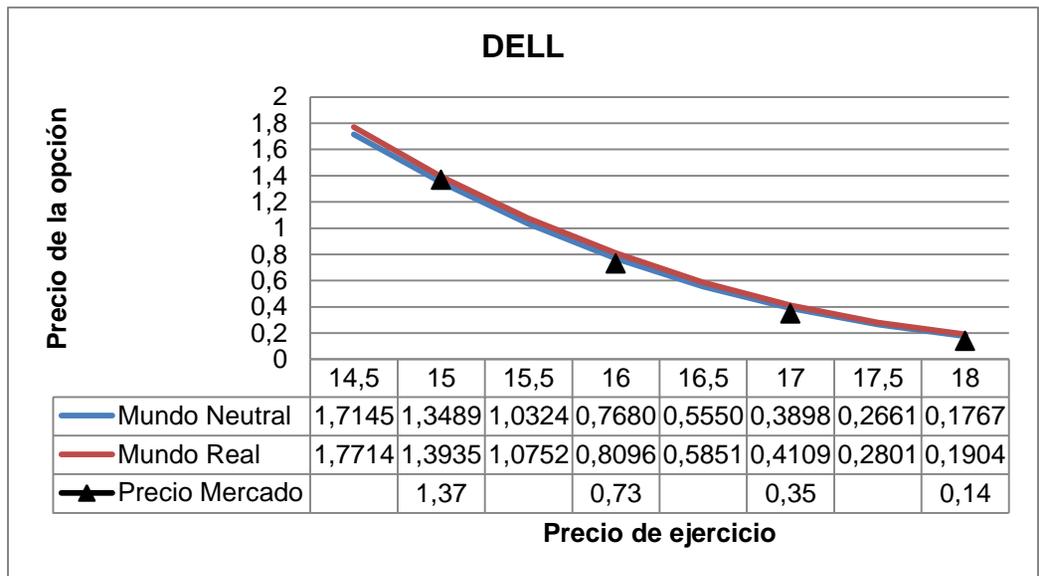
Gráfica 20. Comparación de los precios de las opciones para Dell(12/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	16 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	18 de junio
Drift anual	0,1992%
Volatilidad anual	39,97%
Número de sub periodos	33
Precio Inicial	16
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1992%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 17. Datos de entrada para las Dell (16/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)

Cálculos para el Análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,37		0,73		0,35		0,14
Precio Call B&S	1,7145	1,3489	1,0324	0,7680	0,5550	0,3898	0,2661	0,1767
Pago Esperado	1,7714	1,3935	1,0752	0,8096	0,5851	0,4109	0,2801	0,1904
Valor Presente	1,7714	1,3935	1,0752	0,8096	0,5851	0,4109	0,2801	0,1904
Coeficiente Variación Acción	0,1199	0,1200	0,1211	0,1211	0,1209	0,1203	0,1199	0,1212
Coeficiente Variación Opción	0,9352	1,1061	1,3139	1,5371	1,8275	2,2035	2,6715	3,1649
Apalancamiento Opción	7,7968	9,2171	10,8532	12,6951	15,1168	18,3202	22,2894	26,1216
Retorno Esperado	3,27%	3,25%	4,06%	5,28%	5,27%	5,26%	5,12%	7,44%
Retorno Apalancado Esperado	39,53%	46,70%	54,95%	64,25%	76,46%	92,62%	112,65%	131,98%

Tabla 18. Cálculos para el análisis para Dell (16/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)



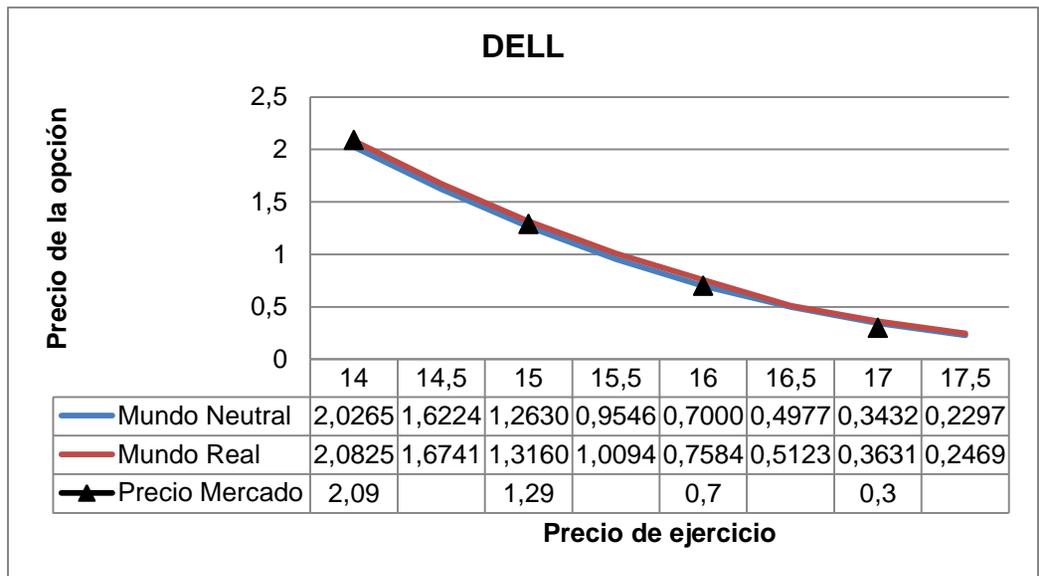
Gráfica 21. Comparación de los precios de las opciones para Dell(16/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	17 de Mayo
Fecha de vencimiento del contrato	18 de Junio
Drift anual	0,1981%
Volatilidad anual	39,71%
Número de sub periodos	32
Precio Inicial	15,9
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1981%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 19. Datos de entrada para las Dell (17/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)

Cálculos para el Análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5
Precio del Mercado	2,09		1,29		0,7		0,3	
Precio Call B&S	2,0265	1,6224	1,2630	0,9546	0,7000	0,4977	0,3432	0,2297
Pago Esperado	2,0825	1,6742	1,3160	1,0094	0,7584	0,5123	0,3631	0,2469
Valor Presente	2,0825	1,6741	1,3160	1,0094	0,7584	0,5123	0,3631	0,2469
Coeficiente Variación Acción	0,1172	0,1188	0,1185	0,1201	0,1209	0,1166	0,1179	0,1179
Coeficiente Variación Opción	0,8170	0,9750	1,1262	1,3427	1,5805	1,9298	2,2970	2,7577
Apalancamiento Opción	6,9683	8,2044	9,5059	11,1832	13,0739	16,5454	19,4786	23,3908
Retorno Esperado	2,73%	3,14%	4,11%	5,58%	8,02%	2,88%	5,64%	7,21%
Retorno Apalancado Esperado	35,35%	41,59%	48,15%	56,62%	66,15%	83,67%	98,47%	118,20%

Tabla 20. Cálculos para el análisis para Dell (17/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)



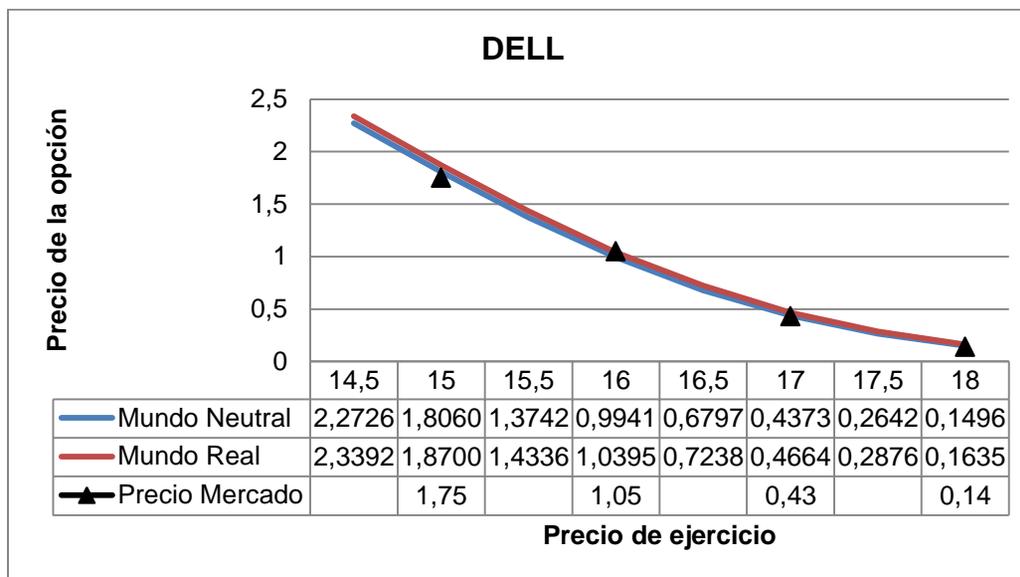
Gráfica 22. Comparación de los precios de las opciones para Dell (17/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	18 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	18 de junio
Drift anual	0,1969%
Volatilidad anual	28,16%
Número de sub periodos	31
Precio Inicial	16,75
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1969%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 21. Datos de entrada para las Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)

Cálculos para el Análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,75		1,05		0,43		0,14
Precio Call B&S	2,2726	1,8060	1,3742	0,9941	0,6797	0,4373	0,2642	0,1496
Pago Esperado	2,3392	1,8701	1,4336	1,0396	0,7238	0,4664	0,2876	0,1635
Valor Presente	2,3392	1,8700	1,4336	1,0395	0,7238	0,4664	0,2876	0,1635
Coeficiente Variación Acción	0,0822	0,0825	0,0826	0,0816	0,0827	0,0817	0,0825	0,0819
Coeficiente Variación Opción	0,5769	0,6980	0,8552	1,0543	1,3156	1,6755	2,1618	2,8108
Apalancamiento Opción	7,0138	8,4597	10,3576	12,9278	15,9163	20,5065	26,2034	34,3248
Retorno Esperado	2,89%	3,48%	4,24%	4,48%	6,29%	6,43%	8,49%	8,86%
Retorno Apalancado Esperado	35,58%	42,87%	52,45%	65,42%	80,49%	103,65%	132,39%	173,36%

Tabla 22. Cálculos para el análisis para Dell (18/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)



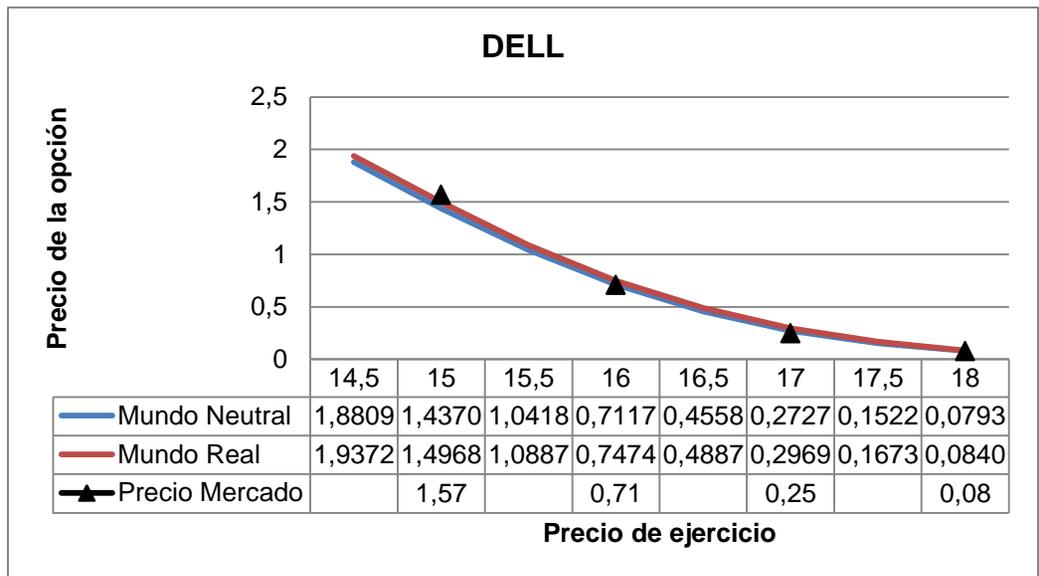
Gráfica 23. Comparación de los precios de las opciones para Dell (18/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	19 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	18 de junio
Drift anual	0,1953%
Volatilidad anual	28,28%
Número de sub periodos	30
Precio Inicial	16,34
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1953%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 23. Datos de entrada para las Dell (19/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,57		0,71		0,25		0,08
Precio Call B&S	1,8809	1,4370	1,0418	0,7117	0,4558	0,2727	0,1522	0,0793
Pago Esperado	1,9372	1,4968	1,0887	0,7474	0,4887	0,2969	0,1673	0,0840
Valor Presente	1,9372	1,4968	1,0887	0,7474	0,4887	0,2969	0,1673	0,0840
Coeficiente Variación Acción	0,0806	0,0813	0,0804	0,0803	0,0818	0,0813	0,0809	0,0804
Coeficiente Variación Opción	0,6546	0,7989	0,9895	1,2465	1,6203	2,0958	2,7575	3,8485
Apalancamiento Opción	8,1209	9,8307	12,3148	15,5135	19,7979	25,7838	34,0761	47,8592
Retorno Esperado	2,95%	4,08%	4,40%	4,89%	6,96%	8,50%	9,46%	5,79%
Retorno Apalancado Esperado	41,16%	49,79%	62,32%	78,46%	100,07%	130,27%	172,10%	241,63%

Tabla 24. Cálculos para el análisis para Dell (19/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)



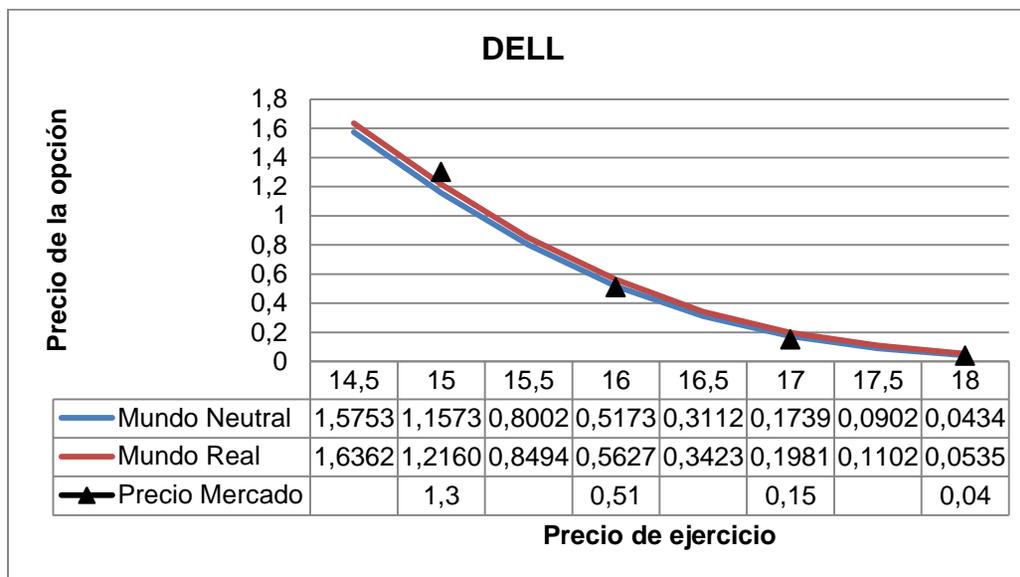
Gráfica 24. Comparación de los precios de las opciones para Dell (19/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	20 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	18 de junio
Drift anual	0,1947%
Volatilidad anual	28,41%
Número de sub periodos	29
Precio Inicial	16,01
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1947%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 25. Datos de entrada para las Dell (20/05/2011) con una fecha de vencimiento (18/06/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,3		0,51		0,15		0,04
Precio Call B&S	1,5753	1,1573	0,8002	0,5173	0,3112	0,1739	0,0902	0,0434
Pago Esperado	1,6362	1,2160	0,8494	0,5628	0,3423	0,1981	0,1102	0,0535
Valor Presente	1,6362	1,2160	0,8494	0,5627	0,3423	0,1981	0,1102	0,0535
Coeficiente Variación Acción	0,0814	0,0815	0,0812	0,0818	0,0815	0,0821	0,0826	0,0820
Coeficiente Variación Opción	0,7403	0,9184	1,1562	1,4716	1,9330	2,5009	3,4211	4,7950
Apalancamiento Opción	9,0897	11,2621	14,2364	17,9928	23,7306	30,4616	41,4189	58,4668
Retorno Esperado	3,79%	4,95%	5,97%	8,43%	9,52%	13,02%	20,01%	20,85%
Retorno Apalancado Esperado	46,05%	57,01%	72,01%	90,96%	119,91%	153,87%	209,14%	295,14%

Tabla 26. Cálculos para el análisis para Dell (20/05/2011) con una fecha de vencimiento del (18/06/2011)



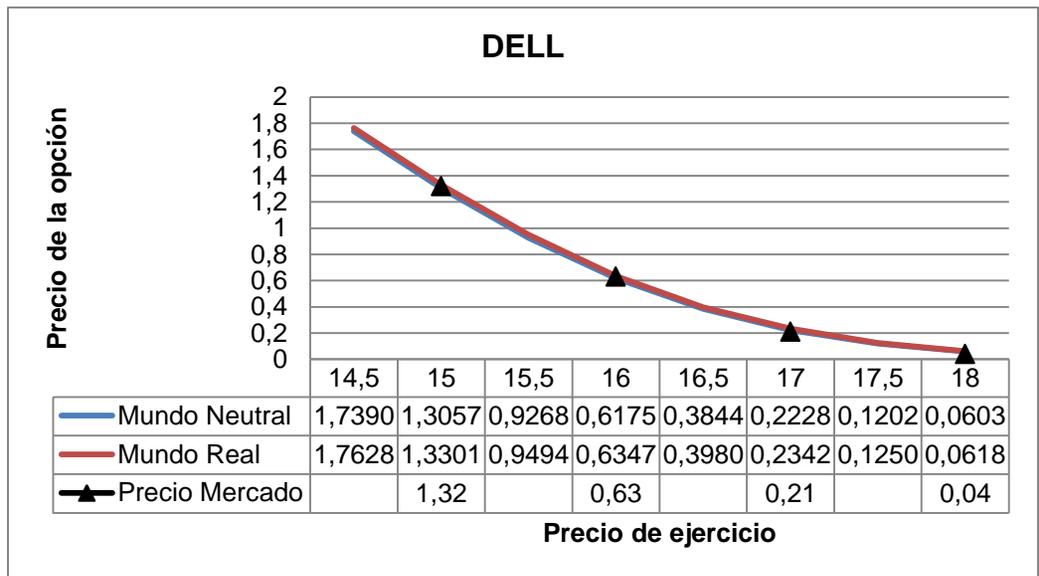
Gráfica 25. Comparación de los precios de las opciones para Dell (20/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	10 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	21 de mayo
Drift anual	0,2018%
Volatilidad anual	46,36%
Número de sub periodos	11
Precio Inicial	16,19
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,2018%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 27. Datos de entrada para las Dell (10/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,32		0,63		0,21		0,04
Precio Call B&S	1,7390	1,3057	0,9268	0,6175	0,3844	0,2228	0,1202	0,0603
Pago Esperado	1,7628	1,3301	0,9494	0,6347	0,3980	0,2342	0,1250	0,0618
Valor Presente	1,7628	1,3301	0,9494	0,6347	0,3980	0,2342	0,1250	0,0618
Coeficiente Variación Acción	0,0811	0,0809	0,0812	0,0813	0,0811	0,0813	0,0810	0,0802
Coeficiente Variación Opción	0,7003	0,8584	1,0793	1,3920	1,7803	2,3374	3,1674	4,2620
Apalancamiento Opción	8,6298	10,6095	13,2981	17,1232	21,9521	28,7641	39,0930	53,1531
Retorno Esperado	1,36%	1,85%	2,41%	2,74%	3,47%	4,98%	3,93%	2,47%
Retorno Apalancado Esperado	95,67%	43,74%	53,73%	67,29%	86,59%	110,95%	145,32%	197,43%

Tabla 28. Cálculos para el análisis para DELL (10/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)



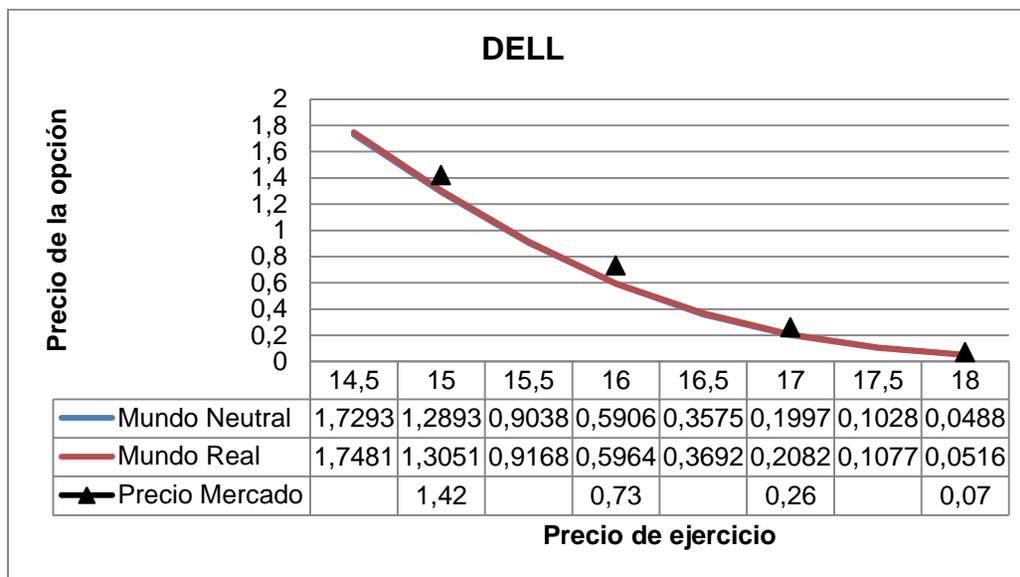
Gráfica 26. Comparación de los precios de las opciones para DELL(10/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	11 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	21 de mayo
Drift anual	0,1988%
Volatilidad anual	46,06%
Número de sub periodos	10
Precio Inicial	16,41
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1988%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 29. Datos de entrada para las Dell (11/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,42		0,73		0,26		0,07
Precio Call B&S	1,7293	1,2893	0,9038	0,5906	0,3575	0,1997	0,1028	0,0488
Pago Esperado	1,7481	1,3051	0,9168	0,5964	0,3692	0,2082	0,1077	0,0516
Valor Presente	1,7481	1,3051	0,9168	0,5964	0,3692	0,2082	0,1077	0,0516
Coeficiente Variación Acción	0,0758	0,0763	0,0767	0,0755	0,0768	0,0768	0,0768	0,0765
Coeficiente Variación Opción	0,6657	0,8412	1,0773	1,3637	1,7978	2,3822	3,3425	4,5374
Apalancamiento Opción	0,0758	0,0763	0,0767	0,0755	0,0768	0,0768	0,0768	0,0765
Retorno Esperado	1,08%	1,22%	1,43%	0,99%	3,21%	4,19%	4,68%	5,60%
Retorno Apalancado Esperado	44,50%	55,85%	71,04%	91,37%	118,30%	156,77%	219,71%	299,36%

Tabla 30. Cálculos para el análisis para Dell (11/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)



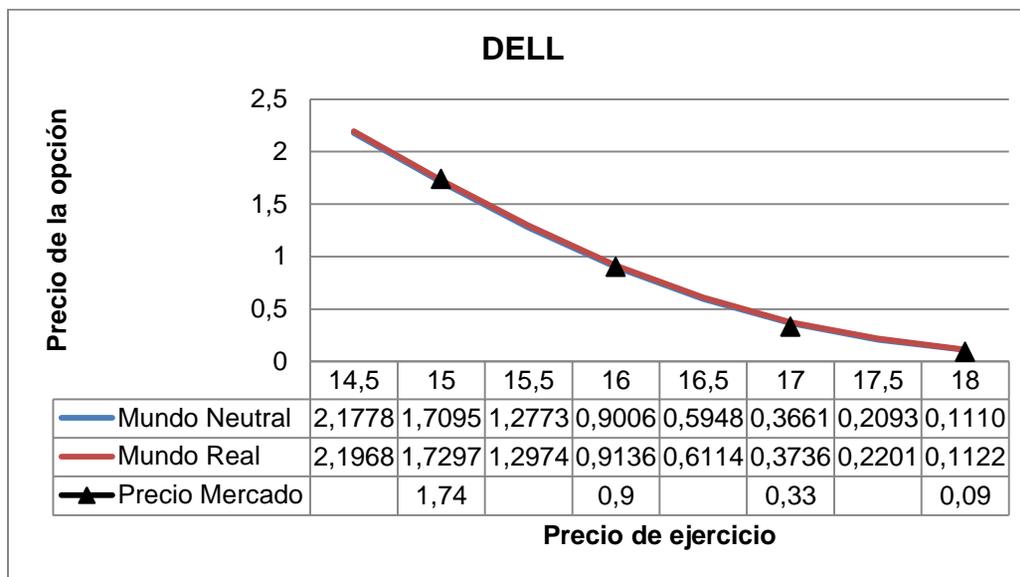
Gráfica 27. Comparación de los precios de las opciones para Dell (11/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	12 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	21 de mayo
Drift anual	0,2057%
Volatilidad anual	34,28%
Número de sub periodos	37
Precio Inicial	16,66
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1980%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 31. Datos de entrada para las Dell (12/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,74		0,9		0,33		0,09
Precio Call B&S	2,1778	1,7095	1,2773	0,9006	0,5948	0,3661	0,2093	0,1110
Pago Esperado	2,1968	1,7297	1,2974	0,9136	0,6114	0,3736	0,2201	0,1122
Valor Presente	2,1968	1,7297	1,2974	0,9136	0,6114	0,3736	0,2201	0,1122
Coficiente Variación Acción	0,0776	0,0769	0,0787	0,0770	0,0781	0,0769	0,0786	0,0771
Coficiente Variación Opción	0,5751	0,6922	0,8854	1,0905	1,3939	1,8106	2,3987	3,2708
Apalancamiento Opción	0,0776	0,0769	0,0787	0,0770	0,0781	0,0769	0,0786	0,0771
Retorno Esperado	0,87%	1,17%	1,56%	1,43%	2,75%	2,04%	5,05%	1,16%
Retorno Apalancado Esperado	37,57%	45,58%	56,97%	71,65%	90,26%	118,94%	154,24%	214,27%

Tabla 32. Cálculos para el análisis para Dell (12/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)



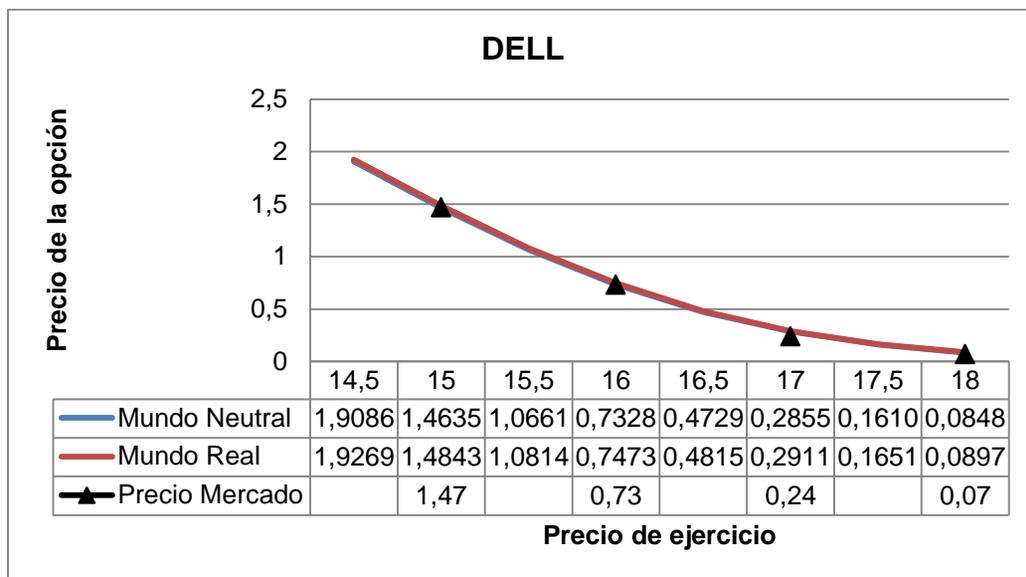
Gráfica 28. Comparación de los precios de las opciones para Dell (12/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	13 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	21 de mayo
Drift anual	0,1971%
Volatilidad anual	55,15%
Número de sub periodos	8
Precio Inicial	16,37
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1971%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 33. Datos de entrada para las Dell (13/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,47		0,73		0,24		0,07
Precio Call B&S	1,9086	1,4635	1,0661	0,7328	0,4729	0,2855	0,1610	0,0848
Pago Esperado	1,9269	1,4843	1,0814	0,7473	0,4815	0,2911	0,1651	0,0897
Valor Presente	1,9269	1,4843	1,0814	0,7473	0,4815	0,2911	0,1651	0,0897
Coeficiente Variación Acción	0,0821	0,0831	0,0822	0,0822	0,0820	0,0817	0,0819	0,0822
Coeficiente Variación Opción	0,6622	0,8214	1,0158	1,2754	1,6211	2,0995	2,7990	3,8052
Apalancamiento Opción	0,0821	0,0831	0,0822	0,0822	0,0820	0,0817	0,0819	0,0822
Retorno Esperado	0,96%	1,41%	1,42%	1,95%	1,81%	1,94%	2,49%	5,64%
Retorno Apalancado Esperado	40,90%	50,08%	62,51%	78,43%	99,97%	129,90%	172,62%	233,80%

Tabla 34. Cálculos para el análisis para DELL (13/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)



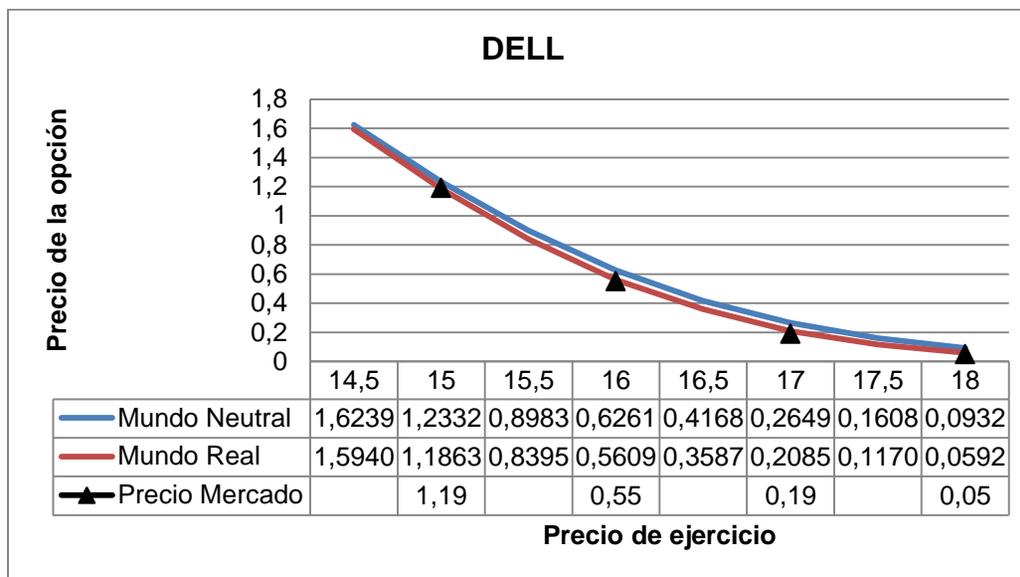
Gráfica 29. Comparación de los precios de las opciones para Dell (13/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	16 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	21 de mayo
Drift anual	0,1970%
Volatilidad anual	83,83%
Número de sub periodos	5
Precio Inicial	16
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1970%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 35. Datos de entrada para las Dell (16/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,19		0,55		0,19		0,05
Precio Call B&S	1,6239	1,2332	0,8983	0,6261	0,4168	0,2649	0,1608	0,0932
Pago Esperado	1,5940	1,1863	0,8395	0,5609	0,3587	0,2085	0,1170	0,0592
Valor Presente	1,5940	1,1863	0,8395	0,5609	0,3587	0,2085	0,1170	0,0592
Coeficiente Variación Acción	0,0878	0,0883	0,0878	0,0875	0,0885	0,0877	0,0876	0,0870
Coeficiente Variación Opción	0,7979	0,9942	1,2264	1,5364	1,9431	2,6023	3,3467	4,5796
Apalancamiento Opción	0,0878	0,0883	0,0878	0,0875	0,0885	0,0877	0,0876	0,0870
Retorno Esperado	-1,86%	-3,88%	-6,77%	-11,00%	-15,01%	-23,97%	-31,79%	-45,49%
Retorno Apalancado Esperado	46,06%	56,98%	70,68%	88,73%	111,01%	149,94%	192,87%	265,62%

Tabla 36. Cálculos para el análisis para Dell (16/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)



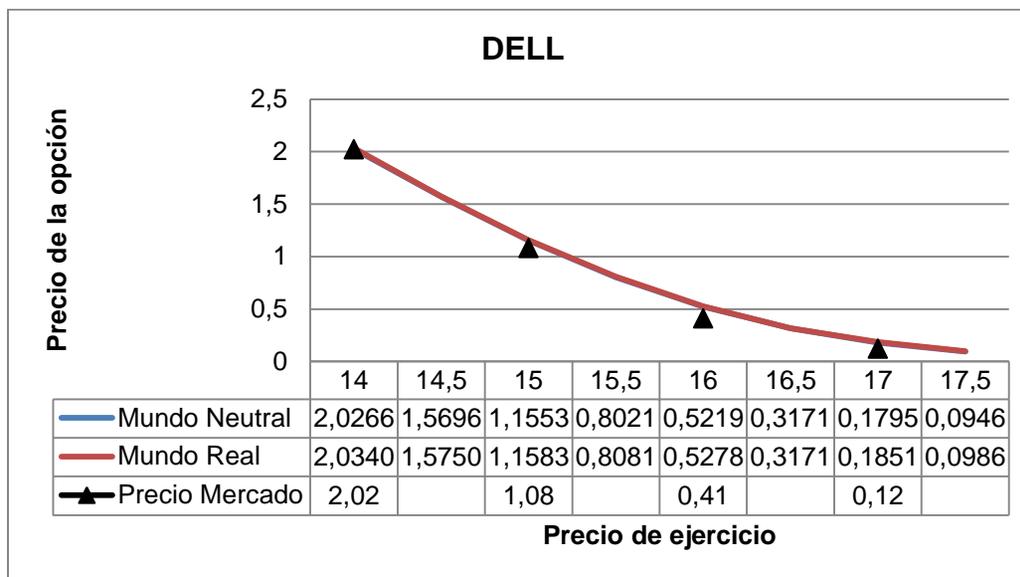
Gráfica 30. Comparación de los precios de las opciones para Dell (16/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	17 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	21 de mayo
Drift anual	0,1970%
Volatilidad anual	78,13%
Número de sub periodos	4
Precio Inicial	16
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1970%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 37. Datos de entrada para las Dell (17/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5
Precio del Mercado	2,02		1,08		0,41		0,12	
Precio Call B&S	2,0266	1,5696	1,1553	0,8021	0,5219	0,3171	0,1795	0,0946
Pago Esperado	2,0340	1,5750	1,1583	0,8081	0,5278	0,3171	0,1851	0,0986
Valor Presente	2,0340	1,5750	1,1583	0,8081	0,5278	0,3171	0,1851	0,0986
Coeficiente Variación Acción	0,0819	0,0815	0,0814	0,0817	0,0819	0,0816	0,0821	0,0824
Coeficiente Variación Opción	0,6216	0,7601	0,9486	1,1911	1,5294	2,0208	2,6505	3,5487
Apalancamiento Opción	0,0819	0,0815	0,0814	0,0817	0,0819	0,0816	0,0821	0,0824
Retorno Esperado	0,37%	0,35%	0,26%	0,76%	1,11%	-0,02%	3,08%	4,13%
Retorno Apalancado Esperado	38,48%	47,25%	59,00%	73,74%	94,44%	125,12%	163,06%	217,53%

Tabla 38. Cálculos para el análisis para Dell (17/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)



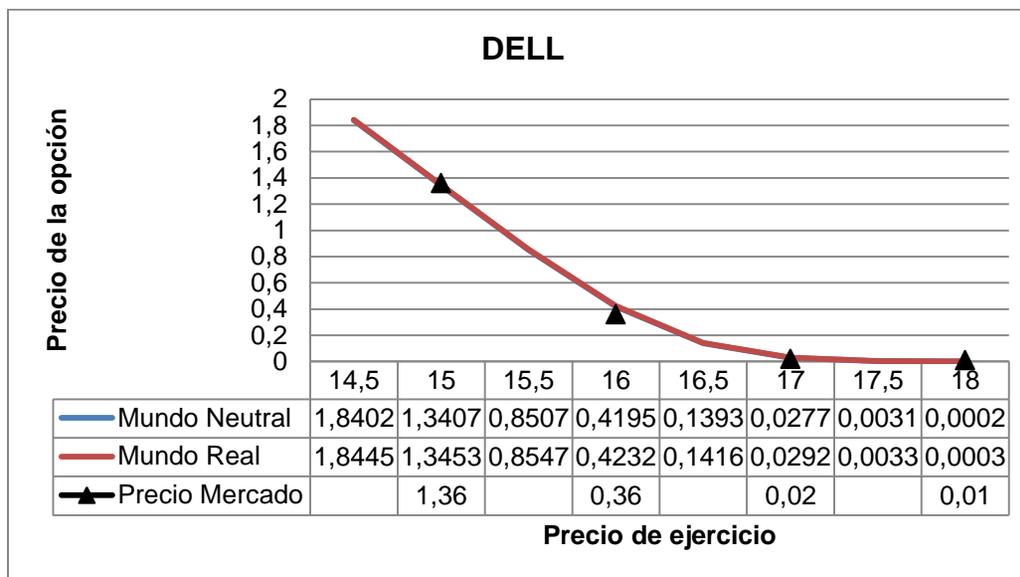
Gráfica 31. Comparación de los precios de las opciones para Dell (17/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	19 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	21 de mayo
Drift anual	0,1953%
Volatilidad anual	43,30%
Número de sub periodos	2
Precio Inicial	16,34
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1953%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 39. Datos de entrada para las Dell (19/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,36		0,36		0,02		0,01
Precio Call B&S	1,8402	1,3407	0,8507	0,4195	0,1393	0,0277	0,0031	0,0002
Pago Esperado	1,8445	1,3453	0,8547	0,4232	0,1416	0,0292	0,0033	0,0003
Valor Presente	1,8445	1,3453	0,8547	0,4232	0,1416	0,0292	0,0033	0,0003
Coeficiente Variación Acción	0,0319	0,0324	0,0321	0,0321	0,0320	0,0321	0,0320	0,0318
Coeficiente Variación Opción	0,2829	0,3919	0,5908	0,9910	1,8057	3,9504	10,7622	36,2932
Apalancamiento Opción	0,0319	0,0324	0,0321	0,0321	0,0320	0,0321	0,0320	0,0318
Retorno Esperado	0,23%	0,34%	0,47%	0,88%	1,63%	5,32%	4,90%	34,91%
Retorno Apalancado Esperado	44,89%	61,29%	92,97%	155,74%	284,99%	621,12%	1696,33%	5748,77%

Tabla 40. Cálculos para el análisis para Dell (19/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)



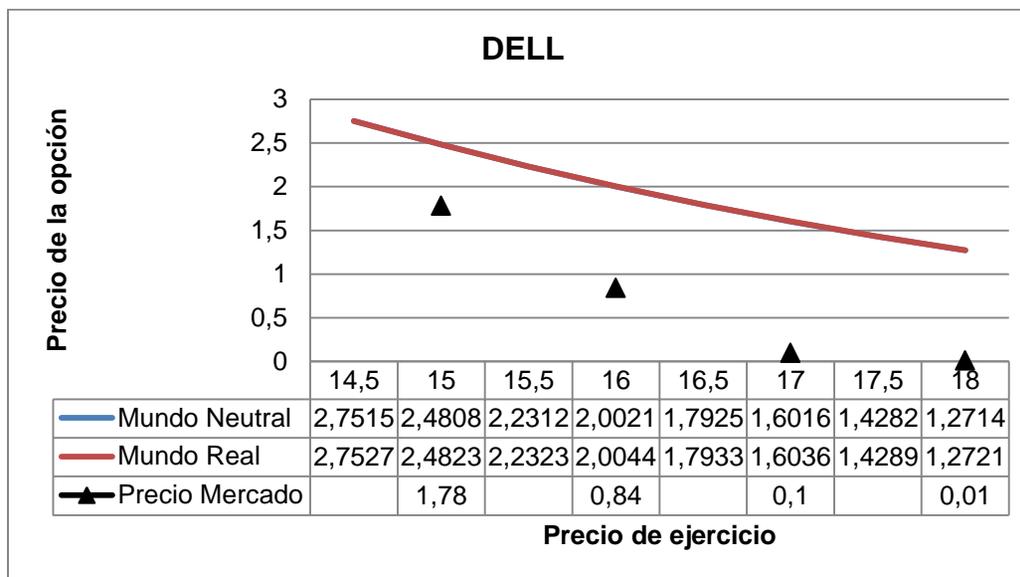
Gráfica 32. Comparación de los precios de las opciones para Dell(19/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada	
Nombre de la acción	Dell
Fecha de simulación	20 de mayo
Fecha de vencimiento del contrato	21 de mayo
Drift anual	0,1947%
Volatilidad anual	600,00%
Número de sub periodos	1
Precio Inicial	16,01
Número de periodos	365
Tasa libre de riesgo	0,1947%
Prima de riesgo del mercado	5,3%
Beta	0,95

Tabla 41. Datos de entrada para las Dell (20/05/2011) con una fecha de vencimiento (21/05/2011)

Cálculos para el análisis								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
Precio del Mercado		1,78		0,84		0,1		0,01
Precio Call B&S	2,7515	2,4808	2,2312	2,0021	1,7925	1,6016	1,4282	1,2714
Pago Esperado	2,7527	2,4823	2,2323	2,0044	1,7933	1,6036	1,4289	1,2721
Valor Presente	2,7527	2,4823	2,2323	2,0044	1,7933	1,6036	1,4289	1,2721
Coeficiente Variación Acción	0,3218	0,3220	0,3219	0,3225	0,3218	0,3224	0,3218	0,3219
Coeficiente Variación Opción	1,4583	1,5573	1,6605	1,7782	1,8901	2,0240	2,1517	2,2965
Apalancamiento Opción	0,3218	0,3220	0,3219	0,3225	0,3218	0,3224	0,3218	0,3219
Retorno Esperado	0,04%	0,06%	0,05%	0,12%	0,04%	0,13%	0,05%	0,06%
Retorno Apalancado Esperado	23,05%	24,59%	26,22%	28,01%	29,82%	31,86%	33,92%	36,19%

Tabla 42. Cálculos para el análisis para Dell (20/05/2011) con una fecha de vencimiento del (21/05/2011)



Gráfica 33. Comparación de los precios de las opciones para DELL (20/05/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Datos de Entrada					
Nombre de la acción	F	YHOO	S	APPL	MU
Fecha de simulación	14 de Junio				
Fecha de vencimiento del contrato	16 de Julio				
Drift anual	0,1892%	0,1892%	0,1892%	0,1892%	0,1892%
Volatilidad anual	31,53%	37,17%	41,03%	23,35%	52,70%
Número de sub periodos	32	32	32	32	32
Precio Inicial	13,14	15,16	5,26	326,6	8,29
Número de periodos	365	365	365	365	365
Tasa libre de riesgo	0,1892%	0,1892%	0,1892%	0,1892%	0,1892%
Prima de riesgo del mercado	5,3%	5,3%	5,3%	5,3%	5,3%
Beta	1,55	1	1,3	1,05	1,25

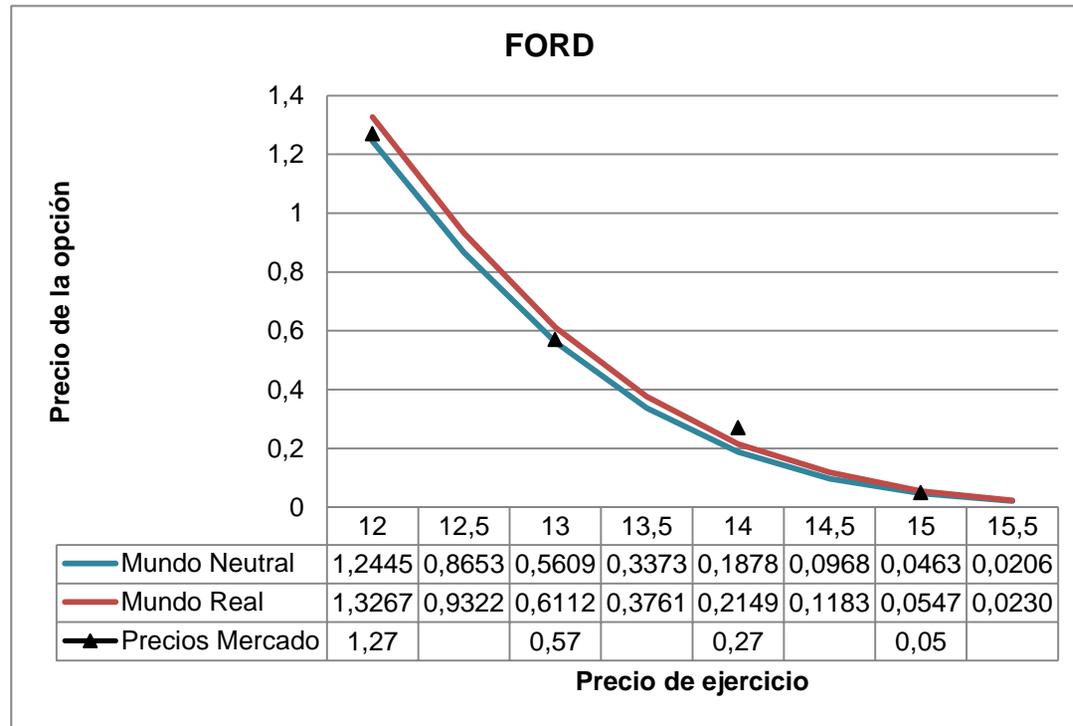
Tabla 43. Datos de entrada para las acciones escogidas (14/06/2011) con una fecha de vencimiento (16/07/2011)

Cálculos Preliminares					
Nombre de la acción	F	YHOO	S	APPL	MU
Drift periódico	0,02222%	0,0005184%	0,01872%	0,01522%	0,01802%
Volatilidad periódica	1,6503556%	1,9455667%	2,1476084%	1,2221949%	2,7584441%
Media del Drift	0,0086034%	-0,0184078%	-0,0043399%	0,0077519%	-0,0200240%
Tasa de Descuento CAPM	8,110940%	5,300000%	6,833240%	5,555540%	6,577700%

Tabla 44. Cálculos preliminares para las acciones escogidas (14/06/2011) con una fecha de vencimiento (16/07/2011)

Cálculos para el Análisis FORD								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5
Precio del Mercado	1,27		0,57		0,27		0,05	
Precio Call B&S	1,2445	0,8653	0,5609	0,3373	0,1878	0,0968	0,0463	0,0206
Pago Esperado	1,3267	0,9322	0,6112	0,3761	0,2149	0,1183	0,0547	0,0230
Valor Presente	1,3267	0,9322	0,6112	0,3761	0,2149	0,1183	0,0547	0,0230
Coefficiente Variación Acción	0,0942	0,0933	0,0931	0,0936	0,0940	0,0950	0,0933	0,0927
Coefficiente Variación Opción	0,8364	1,0575	1,3598	1,7897	2,3907	3,2847	4,6105	7,0122
Apalancamiento Opción	8,8811	11,3309	14,6014	19,1295	25,4460	34,5668	49,4243	75,6547
Retorno Esperado	6,40%	7,45%	8,59%	10,88%	13,48%	20,02%	16,75%	10,88%
Retorno Apalancado Esperado	72,22%	92,09%	118,62%	155,35%	206,58%	280,56%	401,07%	613,82%

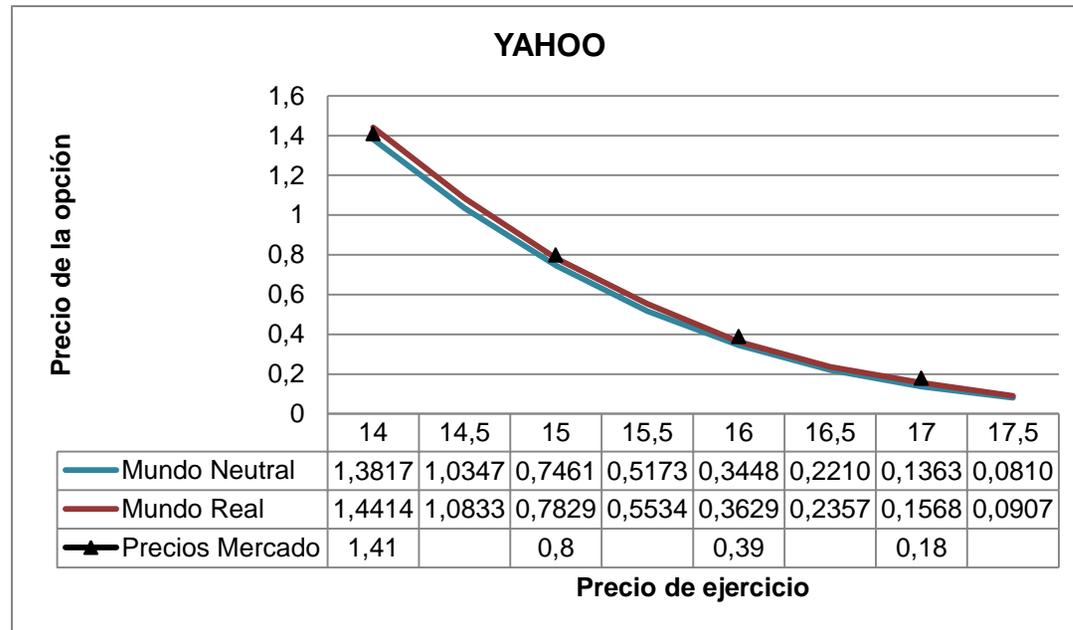
Tabla 45. Cálculos para el análisis para Ford (14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011)



Gráfica 34. Comparación de los precios de las opciones para Ford (16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Cálculos para el Análisis YAHOO								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5
Precio del Mercado	1,41		0,8		0,39		0,18	
Precio Call B&S	1,3817	1,0347	0,7461	0,5173	0,3448	0,2210	0,1363	0,0810
Pago Esperado	1,4270	1,0739	0,7854	0,5464	0,3635	0,2417	0,1486	0,0915
Valor Presente	1,4270	1,0739	0,7854	0,5464	0,3635	0,2417	0,1486	0,0915
Coefficiente Variación Acción	0,1091	0,1097	0,1107	0,1101	0,1098	0,1109	0,1103	0,1107
Coefficiente Variación Opción	0,9797	1,1865	1,4315	1,7359	2,1597	2,6644	3,3432	4,2377
Apalancamiento Opción	8,9833	10,8114	12,9365	15,7711	19,6646	24,0347	30,2973	38,2804
Retorno Esperado	3,23%	3,72%	5,14%	5,47%	5,29%	8,96%	8,61%	12,14%
Retorno Apalancado Esperado	47,80%	57,49%	68,75%	83,78%	104,41%	127,57%	160,76%	203,08%

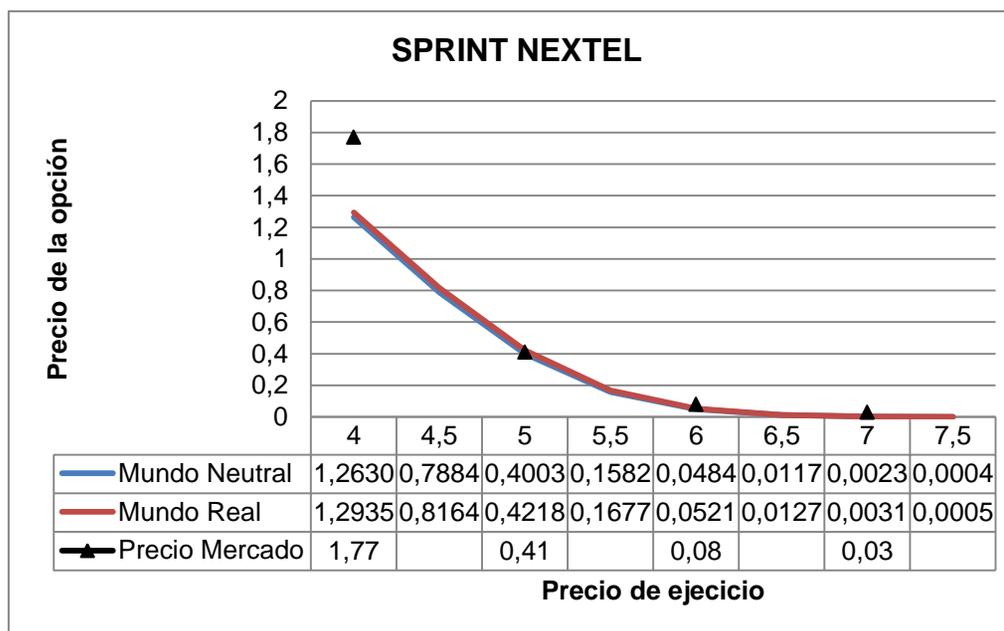
Tabla 46. Cálculos para el análisis para Yahoo (14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011)



Gráfica 35. Comparación de los precios de las opciones para Yahoo(16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Cálculos para el Análisis SPRINT NEXTEL Corp								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
Precio del Mercado	1,77		0,41		0,08		0,03	
Precio Call B&S	1,2630	0,7884	0,4003	0,1582	0,0484	0,0117	0,0023	0,0004
Pago Esperado	1,2935	0,8164	0,4218	0,1677	0,0521	0,0127	0,0031	0,0005
Valor Presente	1,2935	0,8164	0,4218	0,1677	0,0521	0,0127	0,0031	0,0005
Coeficiente Variación Acción	0,1216	0,1216	0,1221	0,1210	0,1216	0,1229	0,1222	0,1219
Coeficiente Variación Opción	0,4938	0,7381	1,1754	1,9762	3,5446	6,6668	13,7449	33,2134
Apalancamiento Opción	4,0602	6,0709	9,6227	16,3325	29,1574	54,2662	112,5176	272,4645
Retorno Esperado	2,39%	3,48%	5,25%	5,84%	7,33%	7,67%	29,74%	25,44%
Retorno Apalancado Esperado	27,93%	41,67%	65,94%	111,79%	199,43%	371,00%	769,05%	1862,00%

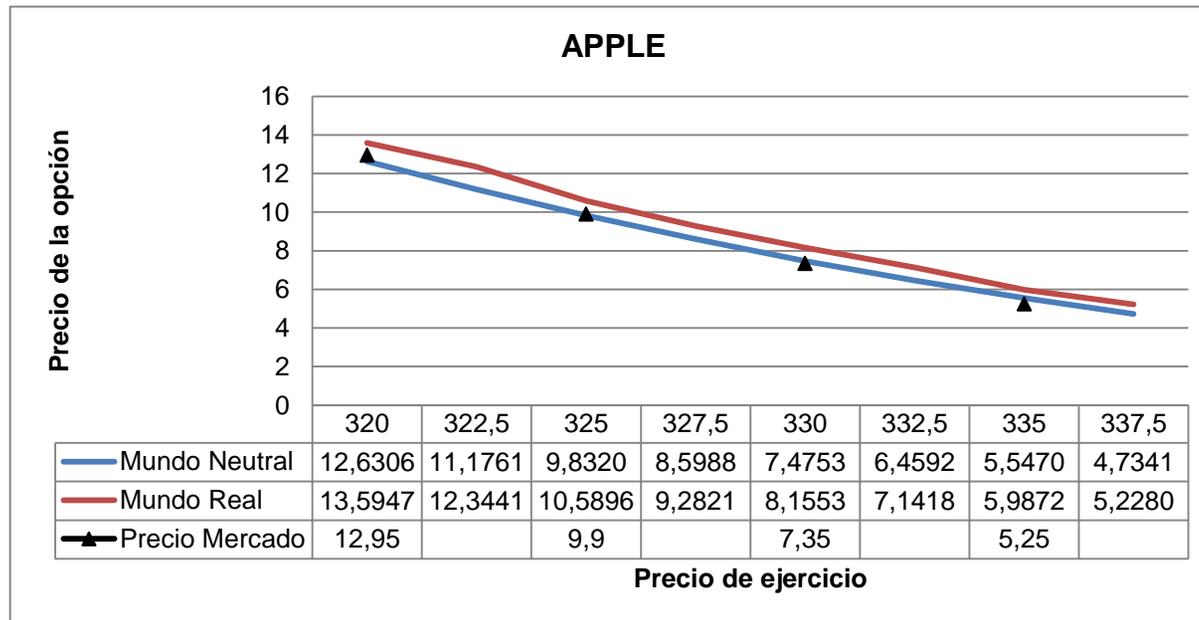
Tabla 47. Cálculos para el análisis para Sprint Nextel (14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011)



Gráfica 36. Comparación de los precios de las opciones para Sprint Nextel (16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Cálculos para el Análisis APPLE COMPUTER Inc.								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	320	322,5	325	327,5	330	332,5	335	337,5
Precio del Mercado	12,95		9,9		7,35		5,25	
Precio Call B&S	12,6306	11,1761	9,8320	8,5988	7,4753	6,4592	5,5470	4,7341
Pago Esperado	13,5949	12,3442	10,5897	9,2822	8,1554	7,1419	5,9873	5,2281
Valor Presente	13,5947	12,3441	10,5896	9,2821	8,1553	7,1418	5,9872	5,2280
Coefficiente Variación Acción	0,0685	0,0706	0,0685	0,0683	0,0695	0,0695	0,0678	0,0690
Coefficiente Variación Opción	1,1907	1,2848	1,3936	1,4854	1,6265	1,7569	1,8475	2,0167
Apalancamiento Opción	17,3897	18,1874	20,3373	21,7360	23,3877	25,2770	27,2368	29,2312
Retorno Esperado	7,36%	9,94%	7,42%	7,65%	8,71%	10,05%	7,64%	9,92%
Retorno Apalancado Esperado	96,80%	101,23%	113,17%	120,94%	130,12%	140,62%	151,50%	162,58%

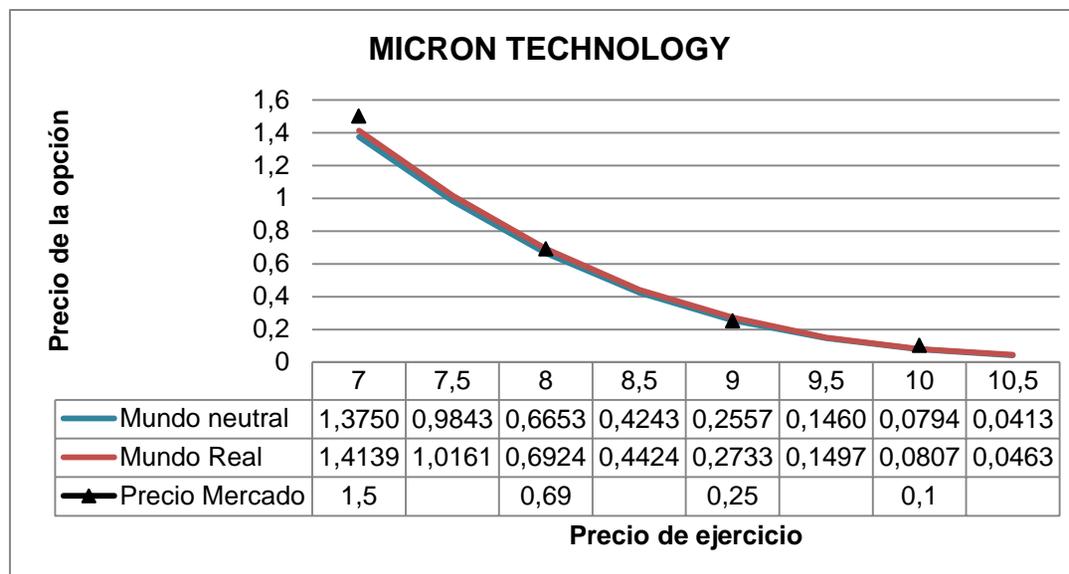
Tabla 48. Cálculos para el análisis para Apple (14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011)



Gráfica 37. Comparación de los precios de las opciones para Apple (16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.

Cálculos para el Análisis MICRON TECHNOLOGY Inc.								
Escenarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Precio de Ejercicio	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5
Precio del Mercado	1,5		0,69		0,25		0,1	
Precio Call B&S	1,3750	0,9843	0,6653	0,4243	0,2557	0,1460	0,0794	0,0413
Pago Esperado	1,4139	1,0161	0,6924	0,4424	0,2733	0,1497	0,0807	0,0463
Valor Presente	1,4139	1,0161	0,6924	0,4424	0,2733	0,1497	0,0807	0,0463
Coefficiente Variación Acción	0,1561	0,1554	0,1568	0,1562	0,1572	0,1549	0,1553	0,1572
Coefficiente Variación Opción	0,8409	1,0573	1,3614	1,7510	2,2591	2,9565	4,1172	5,4897
Apalancamiento Opción	5,3881	6,8059	8,6832	11,2091	14,3738	19,0912	26,5081	34,9140
Retorno Esperado	2,79%	3,18%	3,98%	4,19%	6,69%	2,45%	1,68%	11,54%
Retorno Apalancado Esperado	35,63%	44,96%	57,30%	73,92%	94,74%	125,77%	174,55%	229,84%

Tabla 49. Cálculos para el análisis para Micron Technology(14/06/2011) con una fecha de vencimiento del (16/07/2011)



Gráfica 38. Comparación de los precios de las opciones para Micron Technology (16/07/2011) en el mundo neutral, real y precio del mercado.