

# Desarrollo de metodología para cubrir el riesgo residual generado en compraventa de dos opciones con subyacente en diferentes monedas\*

Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 2. p.23-38 Medellín, junio de 2008

Jorge Papadimitriu Pyrovolaki\*\*/ Liz Maribel Múnica Gil\*\*\*  
y Liliana María Flórez Aristizábal\*\*\*\*

\* Artículo basado en el trabajo de grado exigido como requisito para obtener el título de Especialista en Finanzas Corporativas de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Director del proyecto: Jorge Papadimitriu Pyrovolaki, 2007.

\*\* Ingeniero Eléctrico de MIT. [jpapadimitriu@serfinco.com.co](mailto:jpapadimitriu@serfinco.com.co)

\*\*\* Administradora de Negocios. [Immunera@suvalor.com](mailto:Immunera@suvalor.com)

\*\*\*\* Ingeniera Química, Especialista en Finanzas Corporativas de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, [lmflorez@avansoft.com](mailto:lmflorez@avansoft.com)

# DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA CUBRIR EL RIESGO RESIDUAL GENERADO EN COMPRAVENTA DE DOS OPCIONES CON SUBYACENTE EN DIFERENTES MONEDAS

Jorge Papadimitriu Pyrovolaki, Liz Maribel Múnera Gil y Liliana María Flórez Aristizábal

## **Resumen**

El objetivo general de este estudio consiste en desarrollar una metodología para cubrir el riesgo residual generado en la compraventa de opciones con el mismo activo subyacente, pero en diferentes monedas. Esto se realiza para facilitar el desarrollo del negocio de opciones sobre acciones en Colombia, usando como cobertura opciones sobre el ADR de Bancolombia (American Depositary Receipts, por su sigla en inglés), que ya existen en el exterior. El procedimiento utilizado para lograr los resultados consistió en identificar el diseño actual de la operatividad de la compraventa de opciones sobre acciones y compraventa de opciones sobre el ADR, identificar el riesgo residual de efectuar la compra de la opción *call* sobre el ADR y la venta de la opción *call* sobre la acción de Bancolombia Preferencial y proponer una serie de operaciones en el mercado Forex que permitan cubrir el riesgo residual generado.

**Palabras clave:** opción *call*, opción *put*, ADR, riesgo residual, volatilidad, cobertura.

## **Abstract**

The goal of this study is to develop a methodology to identify and hedge the residual risk generated in buying and selling options with the same underlying asset, but that asset in each option traded in different currencies. This study is done to facilitate the development of the equity option business in Colombia, using the existing options on the Bancolombia ADR (American Depositary Receipts) as a hedge. The steps followed were researching the details of the options on the ADR, identifying the appropriate framework to use for hedging and valuation, identifying the residual risk remaining in buying a call option on ADRs and the selling a call option on the Bancolombia shares, and setting a series of forex operations that hedge the residual risk that is generated.

**Key words:** call option, put option, ADR, residual risk, volatility, hedge.

# Desarrollo de metodología para cubrir el riesgo residual generado en compraventa de dos opciones con subyacente en diferentes monedas

Jorge Papadimitriou Pyrovolaki, Liz Maribel Múnera Gil  
y Liliana María Flórez Aristizábal

---

Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 2, p. 23-38. Medellín, junio de 2008

## Introducción

A raíz de la crisis vivida por el mercado accionario colombiano entre mayo y junio de 2006, los inversionistas se enfrentaron a altas pérdidas en sus inversiones y a la decisión de retirar, parcial o totalmente, sus inversiones del mercado. Actualmente, el mercado accionario colombiano no cuenta con un instrumento de inversión en acciones que limite las pérdidas ante altas volatilidades de precios como las que se experimentaron en el año 2006 y que, por lo tanto, le brinde cierto nivel de seguridad al inversionista.

El abanico de instrumentos de inversión en acciones es relativamente limitado. Una alternativa de inversión diferente a la compra directa de acciones sería la compra de opciones bien sea *call* o *put*

sobre una acción. Sin embargo, si una entidad financiera vendiera opciones *call* u opciones *put* sobre acciones, quedaría descubierta ante la volatilidad del activo.

La acción de Bancolombia preferencial es la única acción colombiana que tiene presencia en la Bolsa de Nueva York. También existe un mercado de opciones *call* y *put* sobre el ADR de Bancolombia.

Este estudio intenta establecer cómo podría una entidad financiera mitigar el riesgo residual que se genera al venderle a un inversionista una opción *call* sobre acciones de Bancolombia preferencial cubriéndose con la compra de opciones *call* sobre el ADR.

Una institución financiera podría intentar cubrir el riesgo de opciones vendidas al inversionista con opciones compradas sobre el ADR, siguiendo la lógica de que cuatro acciones de Bancolombia preferencial son financieramente iguales a un ADR. Sin embargo, una opción sobre el ADR no es financieramente igual a una opción sobre cuatro acciones de Bancolombia preferencial.

Para determinar el riesgo residual generado por las operaciones de venta de opciones de Bancolombia preferencial y compra de opciones sobre ADR, se requiere valorar cada una de estas opciones. Para la valoración de estas opciones se utilizaron los modelos de Black-Scholes y Margrabe (expuestos por Willmott, 1999: 154 y John Hull, 1996: 293).

## Método del proyecto

Para el desarrollo de este artículo se evaluó la acción de Bancolombia preferencial y su equivalente en ADR, desde su operatividad hasta el cálculo del residuo generado por la combinación de las opciones sobre estos activos, se estudió el diseño actual de la operatividad de la compraventa de opciones sobre el ADR, se identificó que una opción sobre el ADR y una opción sobre cuatro acciones de Bancolombia preferencial no es financieramente la misma opción, así el activo subyacente sea igual por dinámica de arbitraje.

Ya que la opción sobre el ADR y la opción sobre las cuatro acciones de Ban-

colombia no son iguales, se buscó el marco teórico que más se ajustara para unir ambas opciones por vía matemática. Después de considerar varias alternativas se creyó que el marco teórico más apropiado es el uso de la opción de intercambiar un activo por otro, que se podría entender como la opción de un trueque o la opción Margrabe.

El marco teórico permitió seleccionar las siguientes variables: precios de acciones de Bancolombia preferencial, precio del ADR y precio del dólar en pesos (tasa de cambio). Se tomó una muestra de 180 días, desde el 2 de noviembre de 2006 al 1° de mayo de 2007, para el cálculo de volatilidades y correlaciones de las variables en estudio y se halló la volatilidad implícada en el precio de la acción de Bancolombia preferencial por la fórmula de Margrabe, con base en:

- La volatilidad implícita de la opción sobre el ADR (volatilidad de mercado).
- La volatilidad implícita de la tasa de cambio (volatilidad de mercado).
- La correlación histórica entre el precio del ADR y la tasa de cambio (correlación histórica).

Para los parámetros de valoración que tenían un precio de mercado se utilizó ese valor. Se calculó un parámetro histórico solo cuando no se le pudo hallar un precio de mercado.

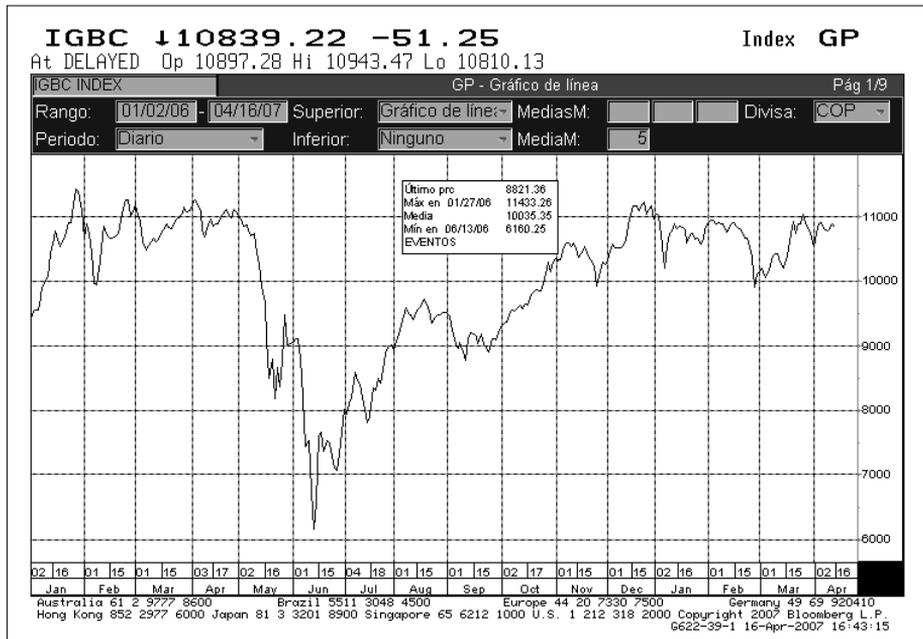
Se modeló en Excel la opción de intercambiar un activo por otro, con los

parámetros anteriormente encontrados. Se simuló el comportamiento de la valoración de las opciones, tanto para el estudio de un subyacente o el intercambio de dos subyacentes, haciendo variar el precio *spot* para el dólar y la acción de Bancolombia preferencial y se identificó puntualmente el residuo que se genera en la compraventa de las opciones para buscar un posible cubrimiento.

## Contexto

Como consecuencia de la fuerte caída que sufrió el mercado accionario colombiano en el período comprendido entre mayo y junio de 2006, según

Bloomberg (figura1), se generaron temporalmente grandes pérdidas por parte de algunos inversionistas del mercado, produciendo en muchos casos temor y abandono del mercado por parte de algunos de ellos, antes de su eventual recuperación. El mercado accionario colombiano no cuenta con herramientas que respalden las inversiones ante escenarios de alta volatilidad que podrían ocasionar una pérdida mayor de capital de los inversionistas que la inicialmente considerada como aceptable. Como resultado de esta situación se identificaron tres problemas, a los que se les buscó una solución.



**Figura 1.** Comportamiento del mercado accionario en Colombia en mayo y junio de 2006.

Fuente: Bloomberg, página IGBC INDEX, enero 2 de 2006 a abril 16 de 2007.

## Primer problema

Cuando un inversionista compra una acción está expuesto a que la volatilidad de su inversión sea tan alta o tan baja que se pueda llegar a perder incluso el capital invertido si tiene una posición apalancada.

Una solución a este problema sería la compra por parte del inversionista de opciones bien sean *call* o *put*. Una entidad financiera podría ofrecer al inversionista las opciones *put* sobre estas acciones como instrumento de cobertura. De esta forma, queda limitada la pérdida, pero la ganancia puede ser ilimitada para el inversionista. Otra solución podría ser que el inversionista compre a la entidad financiera las opciones *call* sobre las acciones directamente, sin tener las acciones.

Las justificaciones para la elección de esta herramienta financiera (opciones) son:

Para un inversionista que desea seguir participando en el mercado de renta variable, pero limitando una posible pérdida a niveles cómodos, definiría con precisión su perfil de riesgo (nivel de pérdida), lo cual no es posible ni con inversiones directas en acciones y menos con inversiones apalancadas en acciones, debido a la posible iliquidez temporal del mercado y otras razones.

Para una entidad financiera que quiera aprovechar la oportunidad de que una

empresa colombiana esté cotizando y compitiendo en precio (acción y opción) con iguales condiciones en el mercado bursátil internacional y que al trabajar en diferentes monedas, se podrían aprovechar oportunidades de arbitraje. No solo el arbitraje de la acción contra el ADR, sino también en las volatilidades, aunque estadísticamente.

También se pretende una optimización de los recursos, se busca plantear una alternativa innovadora, utilizando las oportunidades del mercado –existencia de acciones de Bancolombia preferencial y ADR– para minimizar el riesgo al realizar transacciones con este activo.

## Segundo problema

Al ofrecer la alternativa de compra de opciones a los inversionistas, la entidad financiera queda expuesta a la misma volatilidad que el inversionista acaba de cubrir con la compra de las opciones. La operación realizada por la entidad financiera fue la venta descubierta de opciones *call* en acciones de Bancolombia preferencial.

Una posible solución a este nuevo problema, para el caso específico en que el inversionista compre opciones *call* sobre acciones de Bancolombia preferencial, es que la entidad financiera compre opciones *call* sobre el ADR, limitando parcialmente su exposición.

## Tercer problema

La compra de una opción sobre el ADR (4 acciones de Bancolombia preferencial) no es equivalente a la compra de una opción sobre 4 acciones de Bancolombia preferencial. Las opciones no son iguales, porque la relación entre los *strikes* de las dos opciones varía cuando varíe la tasa de cambio, ya que el *strike* se establece en monedas distintas: pesos y dólares. Este es el origen de la diferencia entre las opciones.

Ejemplo:

Una opción call sobre el ADR con strike 30 USD

Tasa de cambio \$2.000/USD

Una opción sobre cuatro acciones de Bancolombia preferencial a un strike de  $(30 \text{ USD} * \$2.000/\text{USD}) = \$60.000$ .

Mientras la tasa de cambio sea de \$2.000/USD, los *strikes* son iguales y, por lo tanto, la opción que le vendió la entidad financiera al inversionista es igual a la opción que compró sobre el ADR. Pero si la tasa de cambio varía, por ejemplo a \$2.200/USD, los *strikes* ya no serían iguales y la opción vendida por la entidad financiera y la opción comprada por la institución financiera ahora no son iguales y se genera un riesgo que hay que manejar.

El hecho de que los *strikes* no sean iguales significa que una opción en pesos puede ser ejercida, mientras que

la opción en dólares no se ejerce; esto implicaría una pérdida para la entidad financiera.

Se considera el escenario en la fecha de vencimiento de las opciones, en que las cuatro acciones de Bancolombia preferencial suben a un precio de \$65.000 y la tasa de cambio sube a \$2.500/USD. Sus efectos se describen a continuación.

- Opción sobre Bancolombia preferencial: el tenedor de esta opción *call* la ejerce, porque el precio *spot* (\$65.000) es mayor que el precio de ejercicio (\$60.000), es decir, compra a \$60.000.
- Opción sobre el ADR: el tenedor de esta opción no la ejerce, porque el precio *spot* en dólares, que por arbitraje es  $\$65.000/\$2.500/\text{USD} = 26 \text{ USD}$ , es inferior al precio strike de 30 USD.

Ante el escenario de una institución que venda la opción en pesos y compre la opción en dólares, se realizaría una pérdida cuando le ejercen la opción en pesos y la institución no realiza una ganancia de cobertura, por cuanto no ejerce la opción en dólares, debido a que ha variado la tasa de cambio, modificando la relación entre los *strikes*.

En la compraventa de las dos opciones descritas, se hace latente la exposición a un riesgo residual en la tasa de cambio relacionado con el *strike*, ya que el activo subyacente de las opciones es, en

teoría, el mismo: acciones de Bancolombia preferencial.

El problema en el que se centra este artículo es la identificación de la solución del valor residual producto de dos operaciones de opciones en el mismo activo subyacente en diferentes monedas.

Para determinar el valor residual generado por las operaciones de venta de opciones Bancolombia preferencial y compra de opciones sobre ADR, se requiere valorar cada una de estas opciones.

Después de considerar varias rutas de valoración, se concluyó que el modelo que más se ajusta al problema en cuestión es la opción de intercambiar un activo por otro (Margrabe) (citado por Willmott, 1999:154).

**Paso 1. Identificación del modelo de valoración de opciones que más se ajusta**

Una opción de intercambio da al tenedor el derecho de intercambiar un activo por otro, en alguna proporción. El pago de este contrato al vencimiento es:

$$\text{Max}(q_1 S_1 - q_2 S_2, 0)$$

Donde  $q_1$  y  $q_2$  son constantes.

$$V(S_1, S_2, t) = q_1 S_1 e^{-D_1(T-t)} N(d'_1) - q_2 S_2 e^{-D_2(T-t)} N(d'_2)$$

Donde

$$d'_1 = \frac{\log(q_1 S_1 / q_2 S_2) + (D_2 - D_1 + \frac{1}{2} \sigma^2)(T - t)}{\sigma \sqrt{T - t}} \quad \text{y} \quad d'_2 = d'_1 - \sigma \sqrt{T - t}.$$

A continuación se presenta el desarrollo de la solución de la ecuación diferencial de Margrabe. El desarrollo sigue las mismas líneas de la ecuación de Black-Scholes (citado por Hull, 1996: 293).

La ecuación diferencial satisfecha por esta opción es:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sigma_i \sigma_j \rho_{ij} S_i S_j \frac{\partial^2 V}{\partial S_i \partial S_j} + \sum_{i=1}^2 (r - D_i) S_i \frac{\partial V}{\partial S_i} - rV = 0.$$

La ecuación incluye el rendimiento para ambos activos. Como sólo se tienen dos activos, la sumatoria va hasta dos.

La solución toma la siguiente forma:

$$V(S_1, S_2, t) = q_1 S_2 H(\xi, t),$$

Donde la nueva variable es:

$$\xi = \frac{S_1}{S_2}$$

Si este es el caso, entonces en lugar de encontrar una función V de tres variables, apenas necesitamos encontrar una función H de dos variables, que es una tarea mucho más fácil.

Para cambiar las variables  $S_1, S_2$  a  $\xi$ , se debe usar la siguiente ecuación para derivadas parciales:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial S_1} &= \frac{1}{S_2} \frac{\partial}{\partial \xi}, & \frac{\partial}{\partial S_2} &= -\frac{\xi}{S_2} \frac{\partial}{\partial \xi}, \\ \frac{\partial^2}{\partial S_1^2} &= \frac{1}{S_2^2} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2}, & \frac{\partial^2}{\partial S_2^2} &= \frac{\xi^2}{S_2^2} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \frac{2\xi}{S_2^2} \frac{\partial}{\partial \xi}, & \frac{\partial^2}{\partial S_1 \partial S_2} &= -\frac{\xi}{S_2^2} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} - \frac{1}{S_2^2} \frac{\partial}{\partial \xi}. \end{aligned}$$

La derivada del tiempo es constante. La ecuación diferencial parcial ahora se convierte en:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma'^2 \xi^2 \frac{\partial^2 H}{\partial \xi^2} + (D_2 - D_1) \xi \frac{\partial H}{\partial \xi} - D_2 H = 0.$$

Donde

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - 2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}.$$

Se reconocerá esta ecuación como Black-Scholes para una acción con  $D_2$  en lugar de  $r$ ,  $D_1$  en lugar del rendimiento del dividendo en una sola acción y con volatilidad  $\sigma'$ . Partiendo de esto, se obtiene:

$$V(S_1, S_2, t) = q_1 S_1 e^{-D_1(T-t)} N(d'_1) - q_2 S_2 e^{-D_2(T-t)} N(d'_2)$$

Donde:

$$d'_1 = \frac{\log(q_1 S_1 / q_2 S_2) + (D_2 - D_1 + \frac{1}{2} \sigma'^2)(T-t)}{\sigma' \sqrt{T-t}} \quad \text{y} \quad d'_2 = d'_1 - \sigma' \sqrt{T-t}.$$

Donde:

Activo 1 = acción de Bancolombia preferencial

Activo 2 = dólar

$q_1$  = cantidad del activo 1

$q_2$  = cantidad del activo 2

$S_1$  = precio *spot* del activo 1 el día de cotización

$S_2$  = precio *spot* del activo 2 el día de cotización

$D_1$  = *yield* del dividendo del activo 1

$D_2$  = *yield* del dividendo del activo 2

$\sigma'$  = volatilidad conjunta de los activos

$T - t$  = fracción de año al vencimiento

El modelo de valoración de opciones de intercambiar un activo por otro se escogió con base en:

- La opción sobre el ADR vista en EE.UU., donde la moneda de valoración de activos es el dólar, es una opción europea (o americana) normal. Si bien las opciones sobre el ADR son de estilo americano (se pueden ejercer en cualquier momento antes del vencimiento), suponemos por simplicidad que son opciones europeas. El valor adicional de una opción americana se presenta en una opción *put*, y no en la *call*, y en este caso estamos desarrollando las opciones *call*.
- La misma opción sobre el ADR vista desde Colombia (donde la moneda de valoración es el peso) es una opción de intercambiar un activo (dólares) por otro (ADR = 4 acciones de Bancolombia preferencial).
- Ambos activos (ADR y dólares) tienen un valor en la moneda de valoración de Colombia (pesos).

- El precio del ADR en Colombia es equivalente al precio de 4 acciones preferenciales en pesos.
- Este modelo de valoración relaciona la tasa de cambio, la opción sobre el ADR y la volatilidad de la acción de Bancolombia preferencial en pesos.

## Paso 2. Cálculo de la volatilidad implícita de las acciones Bancolombia preferencial

Se aplica la fórmula para valoración de una opción de intercambio de dos activos subyacentes: dólar y acción preferencial de Bancolombia.

Supuestos:

- $D_1 = D_2 = 0\%$ . Por efecto de simplicidad este dato se supone cero, además no es el estudio que compete a este artículo.
- $T - t = 0,5$  años

Datos reales:

- $q_1 = 4$  acciones de Bancolombia preferencial constantes
- $q_2$  = Valor de un ADR en el día de la cotización. Dato constante = 30 dólar/ADR. (Yahoo Finance, octubre 2007, en línea).
- Un ADR equivale siempre a cuatro acciones de Bancolombia preferencial.
- Volatilidad implícita del dólar = 10%, consultado en Bancolombia.

- $V$  (prima de opción de intercambio de dos activos; dólar y acción Bancolombia preferencial) = 2 dólares = 2 USD \* 2.110,67 \$/USD = 4.221,34\$. (Yahoo Finance, octubre 2007, en línea).

Todas las fórmulas para la valoración de opciones se basan en el modelo de Black-Scholes. La anterior fórmula (Margrabe) permite valorar opciones cuando hay intercambio de dos activos subyacentes.

Con el objetivo de cotizar la venta de la opción *call* sobre las acciones de Bancolombia preferencial, se requiere conocer la volatilidad implicada por la fórmula de Margrabe ( $\sigma'$ ). Este valor se halla usando la correlación histórica entre los activos, la volatilidad implícita del dólar y el valor de la prima de la opción de intercambio de activos. Se utilizó la correlación histórica por facilidad y para no entrar en la predicción de correlaciones, ya que no es el tema central del artículo. Al generar un precio para una opción *call* sobre acciones preferenciales, se está generando inmediatamente

un mercado para correlaciones implícitas entre el precio de la acción y la tasa de cambio.

Para el cálculo de la correlación, se tomaron datos históricos de la acción de Bancolombia preferencial y el dólar desde noviembre 2 de 2006 hasta mayo 2 de 2007. La correlación fue 0,776758687.

Con el objetivo de calcular la volatilidad implicada de la acción de Bancolombia preferencial, se realizaron iteraciones en la fórmula de Margrabe, variando el parámetro volatilidad de la acción, buscando igualar el valor de la opción de Margrabe a \$4.221,34 que es el precio de la opción sobre el ADR. Se iniciaron las iteraciones con el valor de la volatilidad histórica de Bancolombia preferencial, que fue calculada como 19,09%.

El resultado fue el siguiente:

Volatilidad implicada acción Bancolombia preferencial 40,62%. Este resultado fue corroborado con datos históricos reportados por Bloomberg (figura 2). La volatilidad conjunta fue 0,3345.



**Figura 2.** Volatilidad histórica acción Bancolombia preferencial.

Fuente Bloomberg, página PFBCOLO CB EQUITY HVG, noviembre 28 de 2006 a mayo 28 de 2007.

Con la nueva volatilidad implicada de la acción Bancolombia preferencial de 40,62% y la volatilidad implícita del dólar dada por Bancolombia del 10%, se calculó la nueva volatilidad conjunta.

**Paso 3. Cálculo de la prima de opciones call sobre acciones de Bancolombia preferencial.**

Se utilizó la fórmula de Black-Scholes para un solo activo subyacente

$$c = S_0 N(d_1) - Ke^{-R_f T} N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + R_f T + \frac{1}{2} \sigma^2 T}{\sigma \sqrt{T}} \quad d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T}$$

Donde:

$S_0$  = precio *spot* acción de Bancolombia preferencial para el día de cotización

$K$  = *strike*

$R_f$  = tasa de interés libre de riesgo

$T$  = fracción de año al vencimiento

$\sigma$  = volatilidad implícita acción de Bancolombia preferencial

Supuesto:

$R_f = 0\%$ , por efecto de simplicidad esta tasa se supone cero, además no es el estudio que atañe a este artículo.

Datos reales:

Día de cotización: 2 de mayo de 2007

Precio *spot* acción de Bancolombia preferencial al día de cotización = \$14.960/acción

T = 0,5 años

K = 4 acciones Bancolombia preferencial = 1 ADR multiplicado por el precio del ADR, el 2 de mayo de 2007 (30 dólares por acción), multiplicado por el precio *spot* del dólar del día de la cotización (2110,67 pesos/dólar) = \$15.830,03/acción.

$\sigma$  = (volatilidad implicada acción de Bancolombia preferencial) = 40,62% (estimada).

Reemplazando estos valores en la fórmula de Black-Scholes, se obtuvo el valor de la prima para opciones de Bancolombia preferencial.

$c = 1.356,72$

#### Paso 4. Validación de las fórmulas anteriores para el cálculo de la prima de opciones

Es necesario validar las fórmulas para corroborar que el cálculo de la prima de las opciones sea el mismo, ya que se trata de la compraventa de un mismo activo subyacente (acciones de Bancolombia preferencial y ADR), pero en diferentes monedas.

Supuesto:

Se supone volatilidad del dólar y correlación entre la acción de Bancolombia preferencial y el dólar como cero para trabajar sólo con el activo subyacente, acción Bancolombia preferencial, y corroborar que al utilizar las dos fórmulas anteriores sin el efecto de la tasa de cambio el costo de la opción es el mismo (tabla 1).

**Tabla 1.** Comparación de modelos Margrabe y Black-Scholes

| <i>Modelo</i>                            | $d_1$   | $Nd_1$ | $d_2$   | $Nd_2$ | $V(S1,S2,t) / C(S1)$ |
|--|---------|--------|---------|--------|----------------------|
| <i>Margrabe</i>                          | -0,0532 | 0,4788 | -0,3404 | 0,3668 | 5.426,92             |
| <i>Black-Scholes</i>                     | -0,05   | 0,48   | -0,34   | 0,37   | -5.426,92            |
| <i>Valor del Intercambio de opciones</i> |         |        |         |        | 0                    |

#### Paso 5. Cálculo del valor residual generado en la combinación de opciones:

Para el cálculo del valor residual, se suman los valores de ambas opciones (Bancolombia preferencial e intercambio de activos Bancolombia preferencial-dólar) con su respectivo signo.

Siguiendo con los pasos 1 y 2, se obtuvo el valor residual.

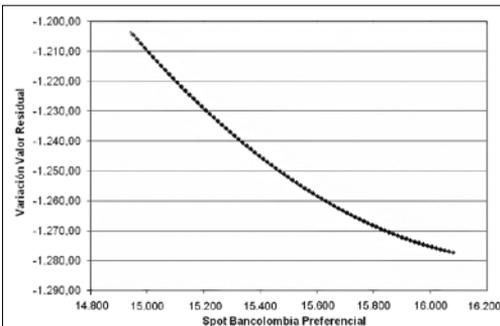
Valor residual generado en el intercambio de opciones \$ **2.864,61**

**Paso 6. Comportamiento del valor residual con la variación del precio spot de la acción Bancolombia preferencial**

Se supone el precio del dólar constante.

Para presentar el comportamiento del valor residual generado en la compraventa de opciones en diferentes monedas se graficó con respecto a la variación del precio spot de la acción Bancolombia preferencial, manteniendo constante el precio spot del dólar (figura 3)

Se inició con un valor de \$14.950/acción.



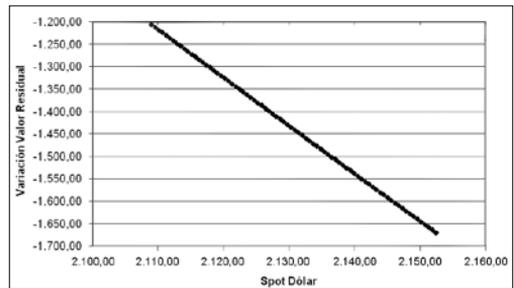
**Figura 3.** Variación del valor residual contra precio spot Bancolombia preferencial.

**Paso 7. Comportamiento del valor residual con la variación del precio spot del dólar**

Se acepta que el precio spot de la acción Bancolombia preferencial sea constante.

Para presentar el comportamiento del valor residual generado en la compraventa de opciones en diferentes monedas, se graficó con respecto a la variación del precio spot del dólar, manteniendo constante el precio spot de la acción Bancolombia preferencial (figura 4).

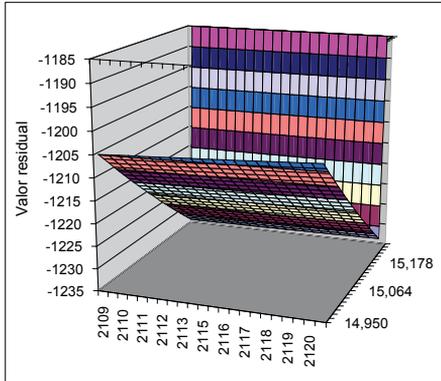
Se empezó con un precio spot del dólar de \$2.109.



**Figura 4.** Variación del valor residual contra precio spot dólar.

**Paso 8. Comportamiento del valor residual con respecto a la variación del precio spot de la acción Bancolombia preferencial y del precio spot del dólar**

Para presentar el comportamiento del riesgo residual generado en la compraventa de opciones en diferentes monedas se graficó con respecto a la variación del precio spot de ambos activos subyacentes, el dólar y la acción Bancolombia preferencial (figura 5). Se empezó con un precio spot del dólar de \$2.109.



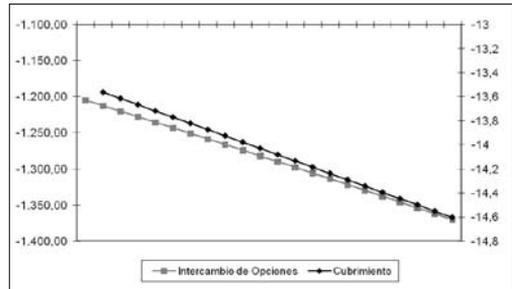
**Figura 5.** Comportamiento del valor residual contra la variación del precio *spot* de Bancolombia preferencial y el precio *spot* del dólar

**Paso 9. Cubrimiento del valor residual producto de la compraventa de opciones en diferentes monedas con respecto al mismo activo subyacente (acción de Bancolombia preferencial)**

Para cubrir el valor residual generado en la compraventa de opciones en diferentes monedas (peso y dólar) con respecto al mismo activo subyacente (acción de Bancolombia preferencial), la entidad financiera deberá realizar una compra de dólares y venta de una opción *put* sobre dólar.

La cantidad de dólares que se deben comprar y que se deben vender por medio de una opción *put* para cubrir el valor residual generado en la compraventa de opciones con el mismo activo subyacente se obtiene de hallar la pendiente entre el valor del intercambio de

opciones con el precio *spot* del dólar (figura 6).



**Figura 6.** Valor residual contra cubrimiento.

## Conclusiones

- La existencia de acciones colombianas en el mercado internacional ofrece la oportunidad de generación de nuevas alternativas de inversión; una de ellas es la oferta de opciones *call* sobre las acciones de Bancolombia preferencial, que facilitaría la venta de inversiones con riesgo limitado y ganancia ilimitada en un mercado tan volátil como el mercado accionario colombiano.
- El modelo de Margrabe se ajusta al cálculo del valor de una opción de intercambio de dos activos, ya que al estimar la volatilidad implicada del activo Bancolombia preferencial su resultado (40,62%) se acercó al histórico presentado por Bloomberg para la volatilidad de la acción.
- Al combinar la opción *call* sobre acciones de Bancolombia preferencial

y la opción *call* sobre el ADR se evidencia claramente que el valor residual es generado por la influencia de la variación de la tasa de cambio, lo que implica tácitamente que se debe emplear un instrumento financiero que esté correlacionado con la acción de Bancolombia preferencial y su diferencial en la tasa de cambio (dólar).

- El valor de una opción *call* sobre acciones de Bancolombia preferencial es equivalente al valor de una opción sobre ADR (intercambio de activos) obtenido al emplear las fórmulas de Black-Scholes y Margrabe, suponiendo la volatilidad del dólar y la correlación entre dólar y acción Bancolombia preferencial como cero.
- Cuando las entidades financieras ofrecen cobertura mediante la compra de opciones *call* sobre ADR, éstas quedan descubiertas. Para poder cubrir el valor residual generado por la operación, la entidad financiera debe comprar dó-

lares y vender opciones *put* sobre dólar.

- La cantidad de dólares que la entidad financiera debe comprar y el monto de la venta de una opción *put* sobre dólares para cubrir su valor residual es equivalente a la pendiente existente entre el valor residual y la variación del precio *spot* del dólar.

## Recomendaciones

- Para materializar la alternativa de inversión “Oferta de opciones sobre acciones de Bancolombia preferencial” descrita en el desarrollo de este artículo, se debe inscribir este producto en el Registro Nacional de Valores y Emisores.
- Para inscribir en el Registro Nacional de Valores y Emisores esta alternativa de inversión, se recomienda consultar la Circular 1200/94 de la Superintendencia Financiera y seguir los pasos para la aprobación por parte de esta entidad para su debido registro.

## BIBLIOGRAFÍA

- DIEZ, Luis y MASCAREÑAS, Juan. Ingeniería financiera: la gestión en los mercados financieros internacionales. Madrid: McGraw-Hill, 1994. 467 p.
- HULL, John C. Futuros y opciones. Madrid: Prentice Hall, 1996. 484 p.
- JOSHI, M. S. The concepts and practice of mathematical finance. New York : Cambridge, 2003. 473 p.
- WILMOTT, Paul. Derivatives: The theory and practice of financial engineering. England: John Wiley & Sons, 1999. 739 p.