XXV Jornadas Nacionales de Profesores Universitarios de Matemática Financiera

Universidad Nacional de Misiones

Facultad de Ciencias Económicas

VALUACIÓN DE OPCIONES FINANCIERAS CONSIDERANDO LA INCERTIDUMBRE

Autores:

Dr. Paulino Eugenio Mallo

CPN Maria Antonia Artola

CPN/LA Marcelo Javier Galante

CPN/LA Mariano Morettini

CPN/LA Mariano Enrique Pascual

Sr. Adrián Busetto

Facultad de Ciencias Económicas y Sociales

Universidad Nacional de Mar del Plata

paulinomallo@uolsinectis.com.ar

Posadas 28, 29 y 30 de octubre de 2004

VALUACIÓN DE OPCIONES FINANCIERAS CONSIDERANDO LA INCERTIDUMBRE

Autores:
Dr. Paulino Eugenio Mallo
CPN Maria Antonia Artola
CPN/LA Marcelo Javier Galante
CPN/LA Mariano Morettini
CPN/LA Mariano Enrique Pascual
Sr. Adrián Busetto

Facultad de Ciencias Económicas y Sociales

Universidad Nacional de Mar del Plata

paulinomallo@uolsinectis.com.ar

RESUMEN

El cambio constante en el ámbito social, económico y político genera situaciones que no son todas predecibles y es en este ambiente en el que se desarrolla la actividad de los mercados financieros.

El presente trabajo tiene como objetivo ofrecer un modelo adecuado a la realidad imperante y que sea útil para desarrollar estrategias de cartera con opciones, teniendo en cuenta la incertidumbre presente en este tipo de mercados.

Para ello, se desarrollarán algunos conceptos relacionados con opciones, tipos, elementos y su valuación en certeza y en situación de riesgo (utilizando la fórmula de B&S). Luego, se reformulará la ecuación que permite el cálculo del valor de estos productos cuando la incertidumbre no permite determinar el valor de las acciones al vencimiento de la opción y el de la tasa de interés libre de riesgo.

Posteriormente se plantea la fórmula que permite calcular el valor de una opción de tipo americana considerando además, que se presente una situación extrema de la que surja un ambiente de completo caos en el mercado financiero, lo cual imposibilita determinar el valor de ejercicio de la opción.

INTRODUCCIÓN

Desde la década del setenta, hasta la actualidad, se ha venido desarrollando un mercado de productos derivados financieros basados en el tipo de interés e índices bursátiles. Surgiendo, en respuesta al desarrollo de los mercados financieros y a los riesgos percibidos en ellos, diversos productos a partir de operaciones de compra-venta de títulos, representativos: del patrimonio neto de las corporaciones (acciones ordinarias, preferidas y títulos intermedios en diversas legislaciones), del pasivo (obligaciones negociables, que abarcan desde letras de corto plazo hasta bonos de largo plazo), de operaciones con las principales divisas y de mercaderías de características normalizadas ("commodities").[1]

Dentro de los productos vigentes encontramos: los contratos de forward, los futuros, los swaps y en especial las opciones, objeto del presente trabajo y que desde el comienzo fue preocupación de los analistas desarrollar un modelo que fije el precio de las mismas siendo muchos los propuestos. El aporte más importante a este respecto ha sido el realizado por F. Black y M. Scholes.

Si bien el modelo que presentaron es muy difundido, no se adecua a lo que sucede muchas veces en el mercado. Éste se basa en calcular el valor de las opciones en función a datos históricos.

Es bien sabido que muchas veces por múltiples razones, el mercado se ve afectado y los precios de estos derivados no toman el valor que se esperaba. Es más, muchas veces una crisis financiera que provoca iliquidez en el mercado o comportamientos colectivos de tipo especulativo o de pánico, producen una situación caótica en la que es imposible la utilización de este modelo.

Por esto proponemos uno, que toma en consideración las expectativas racionales de los expertos bursátiles, basados en las características presentes del mercado y no en datos históricos que luego se traducirán en estimaciones estadísticas.

El valor de la opción calculado de esta manera reflejará la incertidumbre reinante, mejorando la calidad de la información brindada.

CONCEPTO

Una opción es un contrato utilizado para obtener cobertura de riesgo sobre el valor que tendrán los activos sobre los cuales se contrata, otorgando a su propietario el derecho a hacer algo, pero no lo obliga a ejercerlo.

Mediante dicho contrato una de las partes adquiere el derecho a comprar o vender una cantidad determinada de un activo, según sea una opción de compra o de venta respectivamente, a un precio determinado y a futuro; la otra parte está obligada a cumplir con el contrato cuando dicho ejercicio se produzca. Esta desigualdad, donde una obligación no está compensada por otra, se salva con el pago de una prima, que realiza quien adquiere

---

[1] Conceptos obtenidos del trabajo titulado: "Hacia un modelo borroso para la valuación de opciones", autor del mismo Roberto L. Drimer, que fuera publicado en los Anales del III Congreso de la Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy, desarrollado en Buenos Aires en el año 1.996. Paper 2.24.

el derecho y es percibida por el obligado, conociéndola como valor de la opción, interesando a las partes la determinación del exacto importe dado a esa prima.[2]

Los adquirentes de opciones tienen su riesgo limitado a la pérdida de la totalidad de la prima pagada y su posibilidad de ganancia ilimitada, por el contrario los lanzadores de opciones tienen su ganancia limitada a la prima percibida, y sufren un riesgo ilimitado si el mercado es desfavorable.

CLASES

Una opción de compra o *call* otorga a su poseedor (comprador o adquirente) el derecho (pero no la obligación) a comprar determinado número de acciones[3] de una determinada sociedad al vendedor (emisor) a un precio fijado previamente (denominado precio de ejercicio, contractual o de cierre) y en una fecha o dentro de un plazo estipulados también previamente, según se trate de una opción europea o de una opción americana respectivamente.

Análogamente, una opción de venta o *put* da a su titular (comprador o adquirente) el derecho (pero no la obligación) de vender un determinado número de acciones al vendedor (emisor) de la opción a un precio establecido también previamente y en una fecha (opción europea) o dentro de un plazo (opción americana) convenidos.

Consiguientemente, las opciones pueden dar lugar a cuatro operaciones: compra de una call (buy a call), compra de una put (buy a put), venta de una call (write a call) y venta de una put (write a put).

ELEMENTOS

Una opción, sea de compra o de venta, contiene los siguientes elementos:

- ✓ Precio de la opción: la prima que debe pagar el comprador en el momento de la adquisición.
- ✓ Activo subyacente: también llamado activo primario; puede tratarse de acciones, divisas, mercaderías, índices bursátiles o futuros.
- ✓ Precio de ejercicio: es el precio que se debe pagar para obtener el activo subyacente en la fecha de expiración –si se tratara del sistema europeo-, o antes de que ésta venza –si se trata del sistema americano-.
- ✓ Fecha de vencimiento: momento en que se liquida el contrato.

CALL VS PUT

Tal como señalamos más arriba, la compra de una opción otorga un derecho pero no una obligación. Supongamos que se adquiere una opción de compra de acciones con precio de ejercicio de $ 200. Por lo tanto siempre que el precio de la acción sea superior a ese precio de ejercicio se estará obteniendo un beneficio, ya que al ejercer la opción se

[2] Ideas extraídas del trabajo titulado: “Modelos de Valoración de Opciones”, realizado por José Luis Rodríguez, para la Licenciatura en Economía.

[3] O cualquier activo que pueda ser objeto de un contrato de opción.

deberá pagar los $ 200 y luego se venderá la acción a su valor de mercado. Por el contrario, en la medida en que el valor de mercado resulte igual o inferior al precio contractual o de ejercicio no resultará beneficioso ejercer la opción, lo cual implicará una pérdida equivalente al precio pagado por ella.

Veamos qué ocurre en el caso de la compra de una opción de venta de acciones con precio de ejercicio de $ 200; si a la fecha de vencimiento el precio de mercado de la acción fuera inferior al precio de ejercicio, se obtendría un beneficio al hacer ejercicio de la opción, resultante de la diferencia entre ambos precios, menos el precio de la opción; por el contrario, si el precio de mercado fuera superior resultaría perjudicial ejercer la opción, siendo la pérdida equivalente al precio de la put.

Vemos aquí una marcada diferencia entre las call y las put. Mientras que en las primeras, para el comprador los beneficios pueden ser infinitos, ya que crecen conforme aumenta el valor de mercado del activo subyacente, y las pérdidas tienen un límite preciso: el precio de la opción, mientras que en el caso de las put, si bien las pérdidas también poseen un límite, el precio de la opción, los beneficios no pueden ser infinitos, ya que frente al caso extremo en el que la acción tenga un valor de mercado igual a cero la ganancia nunca podrá superar el precio de ejercicio.

Esto puede resumirse en el siguiente cuadro:

MERCADO	***CALL – Opción de compra***		***PUT – Opción de venta***	
	Resultado para el comprador	*Resultado para el vendedor*	*Resultado para el comprador*	*Resultado para el vendedor*
Con precio del activo al vencimiento **mayor** que el precio de ejercicio	**Positivo** = a la diferencia de precios, menos la prima ⇓ a infinito	**Negativo** = a la diferencia de precios, menos la prima ⇓ a infinito	**Negativo** = a la prima *(no ejerce)*	**Positivo** = a la prima
Con precio del activo al vencimiento **menor** que el precio de ejercicio	**Negativo** = a la prima *(no ejerce)*	**Positivo** = a la prima	**Positivo** = a la diferencia de precios, menos la prima ⇓ llega al 100% del precio de ejercicio	**Negativo** = a la diferencia de precios, menos la prima ⇓ llega al 100% del precio de ejercicio

VALUACIÓN DE LAS OPCIONES: CONSIDERACIONES GENERALES

Al respecto cabe hacer algunas aclaraciones, como por ejemplo:

✓ el precio de ejercicio está acotado a escalas preestablecidas

✓ el precio de la opción está regido por la oferta y la demanda

- ✓ el precio de mercado será mayor cuanto mayor sea la vigencia de la opción, denominado valor tiempo y que depende de la tasa de interés que surge del costo del capital y de las expectativas del operador, a fin de actualizar los flujos de fondos resultantes.
- ✓ y cuanto mayor sea la diferencia entre el precio de ejercicio que sea mejor que el precio actual y dicho valor hoy en los mercados, denominado valor intrínseco

Valor intrínseco de la opción

Como ya se indicara el valor o precio (prima) de una opción, tal como sucede en el precio de otros activos que se negocien en un mercado, como ya se aclarara, resulta del libre juego de la oferta y la demanda.

El valor intrínseco de una opción depende de los siguientes factores:

- ✓ del precio actual del activo subyacente, a mayor valor mayor será el valor de la call y menor el de la put,
- ✓ del tipo de interés libre de riesgo, a medida que aumenta las opciones de compra aumentan su precio, y esto se debe a que el efecto que producen sobre el precio, incrementándolo, es superior al que se produce sobre el valor actual que disminuye,
- ✓ del precio de ejercicio, tiene un efecto opuesto a los anteriores, y
- ✓ de los dividendos esperados durante la vida de la opción –si se tratara de una acción-, los que se encuentran correlacionados negativamente con los valores de las opciones de compra.

Por su parte, el valor potencial, que representa la posibilidad de obtener un beneficio futuro, mientras la opción no ha vencido, es dependiente de:

- ✓ la fecha de expiración, conocido como maturity (tiempo para el vencimiento), es decir las opciones de compra y venta tienen mayor valor cuando el plazo para ejercer la opción es mayor, y
- ✓ la volatilidad del precio del activo, que representa una medida de determinación de la incertidumbre sobre los movimientos futuros de los precios de la acción, al aumentar la volatilidad la posibilidad que la acción suba o baje también aumenta.

El precio de una opción de compra sobre acciones generalmente es de menor valor que el precio de las acciones mismas; análogamente, el precio de una opción de venta sobre acciones siempre debe tener menor valor que el precio de ejercicio de la opción.

El precio de una opción de compra sobre acciones, a su vencimiento, está dado por el máximo entre la diferencia entre el precio de la acción en el mercado y el precio de ejercicio y el valor cero. Es decir, si la opción está in the money - cuando el precio en el mercado de la acción es superior al precio de ejercicio - dará un valor positivo, por el contrario si está out the money - el precio en el mercado es igual o inferior al de ejercicio - dará cero. En fórmulas sería:

$$C = Máx(S_t - X, 0)$$

donde cada símbolo representa:

C : el precio de la call

S_t : el valor de mercado de la acción al vencimiento de la opción

X : el precio de ejercicio

Además, si consideramos el valor del dinero en el tiempo, el valor intrínseco de una opción de compra sobre acciones que no distribuyen dividendos será:

$$Máx\left[S_t - X*(1+r)^{-t};0\right]; \qquad (1)$$

mientras que el de una opción de venta sobre acciones que no distribuyen dividendos será:

$$Máx\left[X*(1+r)^{-t} - S_t;0\right] \qquad (2)$$

donde cada símbolo representa:

S_t : el precio de las acciones

X : el precio de ejercicio

r : la tasa de interés libre de riesgo

t : el tiempo que falta para el vencimiento

Paridad call-put

Planteemos ahora el supuesto de la compra de una call y la venta de una put europeas, ambas con el mismo precio de ejercicio, vencimiento y precio de compra, de donde se desprende que el resultado obtenido será igual al incremento del valor del activo subyacente. En otras palabras, comprar una call y vender una put bajo estas condiciones es lo mismo que comprar a crédito una unidad del activo subyacente.

Esto se resume en la denominada ecuación fundamental de las opciones europeas:

$$S = C - P \qquad (3)$$

cada letra representa:

S : la compra a crédito de una acción

C : la compra de una call

P : la venta de una put

De esta forma se puede jugar con la expresión y obtener, por simple despeje, una call o la venta de una call, una put o la venta de una put, todas sin posibilidad de considerar el arbitraje; las diferentes ecuaciones al momento del vencimiento se desprenden de la siguiente expresión:

$$S_0 - X = C - P \qquad (4)$$

representando:

S_0 : el precio de compra de la acción

X : el precio de ejercicio de la opción

C : el precio de la call

P : el precio de la put

A la igualdad indicada en (4) se la denomina *relación de igualdad entre call y put* y constituye uno de los principios básicos para la valuación de opciones, que pueden resumirse en:

- ✓ si la opción está in the money, el precio de la call será mayor al de la put,
- ✓ si la opción es out the money, el precio de la call será menor que el la put, y
- ✓ si la opción es at the money (cuando los precios de compra y de ejercicio son iguales), ambas opciones serán iguales.

Es importante dejar en claro que en este análisis no se ha considerado el valor tiempo del dinero y que cualquier desequilibrio entre el precio de las opciones y el de mercado se corrige mediante arbitraje.

LA FÓRMULA BLACK-SCHOLES

La Options Pricing Theory (OPT) o Teoría de la valoración de opciones fue presentada en la década del setenta por Fisher Black y Myron Scholes y constituye la metodología de uso más difundido para la determinación del valor teórico de una opción.

Se basa en los siguientes supuestos:

- ✓ el tipo de interés a corto plazo es conocido y constante en todo el período estimado,
- ✓ el precio de la acción sigue un recorrido aleatorio (“random walk”), con una distribución del posible precio de la acción hasta el final de un intervalo finito lognormal y una varianza de los retornos de las acciones constante por unidad de tiempo,
- ✓ la acción no recibe dividendos durante el tiempo de vida de la opción,
- ✓ la opción es del tipo europeo, sólo puede ejercerse a la maduración,
- ✓ inexistencia de costos de transacción tanto para la compra o venta de la acción, como para las opciones,
- ✓ se puede tomar dinero prestado sin limitación alguna en el corto plazo,
- ✓ se pueden vender acciones a crédito sin restricción ni penalización y
- ✓ se trata de un mercado de negociación continua.

La fórmula para calcular el valor teórico de una opción según este método es la siguiente:

$$C_0 = S_0 * N(d_1) - X * N(d_2) * e^{-rT} \qquad (5)$$

En la cual, para obtener $N(d_1)$ y $N(d_2)$ se utilizan:

$$d_1 = \frac{\ln\left(S_0 / X\right) + \left(r + \sigma^2 / 2\right) * T}{\sigma\sqrt{T}} \qquad (6)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \qquad (7)$$

donde, además de conceptos ya definidos en párrafos anteriores cada símbolo representa:

C_0: el valor actual de una call

r: la tasa de interés continuo libre de riesgo para el mismo período que la call, sobre la base del año

T: el tiempo hasta la liquidación de la call

σ: la desviación estándar esperada, expresa la volatilidad de la acción

$\ln$: el logaritmo neperiano

e: base del logaritmo neperiano = 2,71828…

$N(d_i)$: la probabilidad de que en una distribución normal el valor de variable sea menor que *“d_i”*

Al comparar (5) con la fórmula (1), que se utiliza para calcular el valor teórico de la opción en condiciones de certeza, se observa que las diferencias estriban en las funciones de probabilidad acumulada que afectan tanto al precio de ejercicio como al valor de la acción.

ACEPTACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Hasta aquí hemos trabajado con la aceptación de las hipótesis de Black-Scholes, inclusive aquella que supone el comportamiento aleatorio del valor de la acción. No obstante, es preciso señalar que esto no siempre resulta así, ya que el mercado en su conjunto no manifiesta siempre un comportamiento normal, en el que sus cotizaciones oscilan dentro de determinados parámetros cuantificables a través de funciones de frecuencia. De hecho, en fases de transición, suelen verificarse cambios de gran importancia en las expectativas y en los fundamentos económicos en muy cortos plazos. Del mismo modo, se dan mercados de comportamiento caótico, caracterizados por un nivel de volatilidad e incertidumbre sumamente elevados respecto a los valores esperados.

Es en este punto en el que creemos que la aplicación de la matemática borrosa puede ofrecer un avance sobre la fórmula Black-Scholes, toda vez que se busque reemplazar la consideración de riesgo en los valores (distribución lognormal) por el empleo de números borrosos triangulares, obteniendo un doble efecto. En primer lugar sincerar la información considerando adecuadamente la incertidumbre reinante; y trabajar con expectativas en lugar de datos históricos, por el otro.

Por otra parte, algunos de los supuestos que podrían levantarse serían los siguientes:

- ✓ la equivalencia de suponer que es indistinto adquirir una call o tomar un crédito para comprar acciones, cosa que se evidencia en el mercado con la gran demanda que posee una call cuyo precio futuro supera al precio de contado,
- ✓ la suposición que no existen costos, considerando de esta forma la equivalencia irreal entre tasas activas y pasivas,
- ✓ el tratar de medir un futuro comportamiento con base en una estadística histórica, que no siempre reflejará los próximos movimientos, y aún considerando que puedan estimarse razonablemente no necesariamente debería tener una distribución lognormal, sino que oscilan dentro de un intervalo perfectamente cuantificable.

En conclusión cuando en el mercado se producen movimientos aleatorios, que implican en cortos períodos cambios fundamentales derivados de crisis políticas, cambios abruptos en los niveles de liquidez de la economía, corridas de diversos tipos, etc., provoca en la finanzas: alta volatilidad, gran incertidumbre en los retornos y un comportamiento caótico, denominado de transición, que hace imposible predecir futuros valores en función de datos históricos no representativos. Es en estos casos específicos donde la matemática borrosa sería la herramienta fundamental para valuar opciones y de esta forma esperar que los mercados se tranquilicen, manteniendo un nivel de operaciones apropiado.

EJEMPLO PRÁCTICO

Utilización de la fórmula, considerando el riesgo

Tomaremos, en primer lugar, datos hipotéticos para obtener el valor teórico de una opción siguiendo la fórmula de Black–Scholes.

Datos para nuestro caso:

S_0 : 248

X : 230

i : 7,22% anual $\Rightarrow$ $r = \ln(1.0722) = 0.06971$

T : 45 días = 0.1233 años

σ : 0.594

Fórmula a aplicar:

$$C_0 = S_0 * N(d_1) - X * N(d_2) * e^{-rT}$$

Cálculos auxiliares:

$$d_1 = \frac{\ln\left(S_0 / X\right) + \left(r + \sigma^2 / 2\right) * T}{\sigma\sqrt{T}} = \frac{\ln\left(248/230\right) + \left(0.06971 + 0.594^2/2\right)0.1233}{0.594\sqrt{0.1233}} = 0.5068$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} = 0.5068 - 0.594\sqrt{0.1233} = 0.2982$$

$$N(d_1) = 0.6950$$

$$N(d_2) = 0.6179$$

Determinación del precio de la call en riesgo:

$$C_0 = 248 * 0.6950 - 230 * 0.6179 * e^{-0.06971*0.1233} = 31.46$$

Algunas consideraciones para entender el funcionamiento de la fórmula serían las siguientes:

- ✓ el precio actual de la acción y el precio de ejercicio se observan directamente del mercado,
- ✓ la volatilidad se encuentra determinada por la desviación típica de una distribución lognormal anualizada esperada, para su mejor comprensión se adjunta Cuadro Anexo confeccionado sobre la base hipotética de cotizaciones de acciones, en el cual la columna rentabilidad continua representa el logaritmo neperiano del cociente entre cada cotización y la anterior y la dispersión anualizada fue determinada considerando un promedio de 250 días hábiles en los mercados financieros,
- ✓ con relación a la tasa libre de riesgo, se buscará sobre la base de algún activo con esas características, como pueden ser las Letras de Tesorería, la que será anualizada y considerada continua a través del logaritmo neperiano,
- ✓ finalmente, se determinan los valores de probabilidad en función de la curva Normal de Gauss, considerando las áreas acumuladas a la izquierda de los dos valores determinados.

Por otra parte, el cálculo de la put es directo, para ello aplicamos:

$$P_0 = C_0 + X * e^{-rT} - S_0 = 31.46 + 230 * 0.9914 - 248 = 11.49$$

Incidencia de la incertidumbre

Ahora, haciendo incidir en la ecuación fundamental de las opciones de compra europeas la incertidumbre, podemos presentar una primera fórmula con borrosidad en la tasa de interés, considerando que tanto1 los precios (de la acción y de ejercicio), como el plazo se encuentra previamente determinados y en certeza (**Caso A**). Posteriormente se podría incluir borrosidad en el valor de ejercicio X, aclarando que se trata de un caso extremo en el que la evaluación se haga en un momento de gran incertidumbre en el mercado, es decir que cambie el valor todos los días y que éste ni siquiera se pueda predecir (**Caso B**). Finalmente, podría considerarse una opción de tipo americano, agregando a las anteriores borrosidad en el tiempo de vencimiento de la opción (**Caso C**).

Bajo estas consideraciones obtenemos:

Caso A

Fórmula en certeza adaptada a borrosidad en la tasa:

$$\underset{\sim}{C} = máx\left[S_0 - X * \left(1 + \underset{\sim}{i}\right)^{-T}; 0\right]$$

Datos:

$S_0 = 248$

$X = 230$

$\underset{\sim}{i} = (0.068, 0.0722, 0.075)$

$T = 45\ días = 0.1233\ años$

La determinación del precio de la opción sería:

$$\underset{\sim}{C} = máx\left[248 - 230\left(1.068, 1.0722, 1.075\right)^{-0.1233}; 0\right] =$$

$$= máx\left[248 - \frac{230}{\left(1.0081, 1.0086, 1.00896\right)}, 0\right] =$$

$$= máx\left[248 - 230\left(0.9911, 0.9915, 0.9920\right), 0\right] =$$

$$= máx\left[248 - \left(227.95, 228.05, 228.16\right), 0\right] = \left(19.84, 19.95, 20.05\right)$$

Caso B

Agregamos borrosidad en el precio de ejercicio, la fórmula adaptada sería:

$$\underset{\sim}{C} = máx\left[S_0 - \underset{\sim}{X} * \left(1 + \underset{\sim}{i}\right)^{-T}; 0\right]$$

El nuevo dato:

$\underset{\sim}{X} = \left(220, 230, 240\right)$

El cálculo estaría representado por la siguiente expresión:

$$\underset{\sim}{C} = máx\left[248 - \left(220, 230, 240\right)\left(1.068, 1.0722, 1.075\right)^{-0.1233}; 0\right] =$$

$$= máx\left[248 - \left(220, 230, 240\right)\left(0.9911, 0.9915, 0.9920\right), 0\right] =$$

$$= máx\left[248 - \left(218.04, 228.05, 238.08\right), 0\right] = \left(9.92, 19.95, 29.96\right)$$

Caso C

Agregamos borrosidad en el plazo de maduración, considerando que se trata de una opción americana. En este caso la fórmula adaptada quedaría:

$$\underset{\sim}{C} = máx\left[S_0 - \underset{\sim}{X} * \left(1 + \underset{\sim}{i}\right)^{-\underset{\sim}{T}}; 0\right]$$

El nuevo dato:

$\underset{\sim}{T} = \left(30, 45, 60\right)\ días = \left(0.0822, 0.1233, 0.1644\right)\ años$

El cálculo se vería representado por la siguiente expresión:

$$\underset{\sim}{C} = máx\left[248-(220,230,240)(1.068,1.0722,1.075)^{-(0.0822,0.1233,0.1644)};0\right]=$$

$$= máx\left[248-(220,230,240)(0.9882,0.9914,0.9946),0\right]=$$

$$= máx\left[248-(217.40,228.02,238.70),0\right]=(9.30,19.98,30.60)$$

Como puede observarse a menor información en los datos, es decir a mayor mercado caótico, mayor borrosidad presenta el precio de la opción, representado por un NBT con sus valores extremos más alejados.

CONCLUSIÓN

A través del presente trabajo hemos tratado de introducir un complemento al cálculo de valoración de opciones, aplicando la matemática borrosa cuando por las condiciones del mercado, con un comportamiento de transición y alto descontrol, así lo requiera. También cuando la distribución de los precios no es necesariamente normal, como puede verse en nuestro caso práctico cuya representación se muestra en Gráfico anexo.

De esta forma hemos aportado, de la mano de una importante herramienta para el cálculo como es la matemática borrosa, una solución a la valoración de opciones cuando el comportamiento del mercado no admite la utilización de los datos históricos, a través de la estadística, ni prevé un comportamiento lognormal para el precio de las opciones.

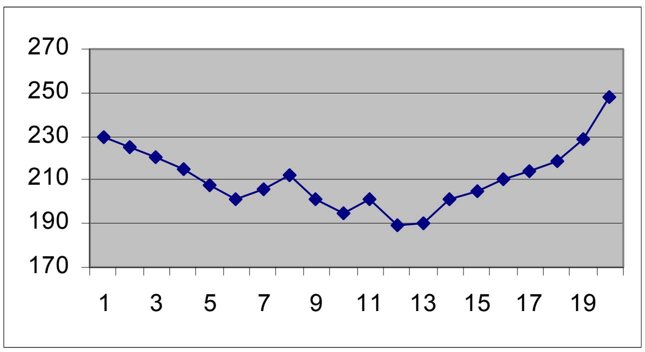
Por supuesto, con la presente mecánica se pretende garantizar una continuidad en la operatoria de los mercados de capitales, permitiendo la toma de decisiones sin subjetividad y con una gran carga de sinceramiento de la información que circula cuando el entorno es caótico.

CUADRO ANEXO: Determinación de la volatilidad

Cotización	Rentabilidad contínua	Cuadrado del desvío
230		
225	-0.022	0.001
220	-0.022	0.001
215	-0.023	0.001
208	-0.033	0.001
201	-0.034	0.001
206	0.025	0.000
212	0.029	0.001
201	-0.053	0.003
195	-0.030	0.001
201	0.030	0.001
189	-0.062	0.004

	190	0.005	0.000
	201	0.056	0.003
	205	0.020	0.000
	210	0.024	0.000
	214	0.019	0.000
	219	0.023	0.000
	229	0.045	0.002
	248	0.080	0.006
Sumas	4219	0.075	0.027
Promedio		0.004	
Dispersión diaria			0.038
Dispersión anual			0.594

GRAFICO ANEXO: Representación de las cotizaciones



BIBLIOGRAFÍA

1. Eduardo Martínez Abascal, (1993), *Futuros y Opciones en la Gestión de Carteras*, España, McGraw-Hill.
2. John C. Hull, (1998), *Introducción a los mercados de Futuros y Opciones*, España, Prentice Hall.
3. Jaime Díaz Tinoco y Fausto Hernández Trillo, (2000), *Futuros y Opciones Financieras, Una introducción*, México, Editorial Limusa Grupo Noriega Editores.
4. Roberto L. Drimer, (1996), *Hacia un modelo borroso para la valuación de opciones financieras*, Anales del III Congreso de la Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy, Paper 2.24, Buenos Aires, Argentina.
5. José Luis Rodríguez, (2002), *Modelos de Valoración de Opciones*, tesis para la Licenciatura en Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, UNMDP.