

# PRICING DE UN EXÓTICO DEL CLIMA PARA COLOMBIA

Juan Sergio Cruz. CESA

## ABSTRACT

*Este documento busca poner a disposición de los empresarios colombianos, de los inversores como de los amantes del riesgo, las bases conceptuales y operativas de un instrumento de hedge-cobertura de una variable de clima/ temperatura, y transferir el riesgo al mercado.*

## INTRODUCCIÓN

Todos compartimos una sensación: el clima está cambiando. Ese cambio tiene fuertes implicaciones en el hábitat de los seres humanos y de sus procesos productivos. De acuerdo con la estimación realizada por el Instituto Meteorológico Británico, más del 80% de la actividad empresarial en el mundo depende del estado meteorológico. Cualquier sector de la economía está sujeto directa o indirectamente a los cambios climáticos Paz de Cobo(2004) Los fenómenos del niño y la niña son algo muy común en nuestra práctica diaria. Los huracanes del Caribe y de otras latitudes son partes de los noticieros de televisión. Frente a estos hechos y fenómenos de la naturaleza, las –Instituciones Financieras- se han puesto a la tarea de crear instrumentos de cobertura de clima. Se diferencia de los seguros tradicionales por catástrofes naturales, porque los derivados del clima son eventos de alta probabilidad pero de baja prima Pardo (2009).El propósito de esta investigación es ver cómo funcionan estos instrumentos y en segundo término, hacer una propuesta matemática en un primer borrador de un instrumento de cobertura vía opciones del clima para Colombia. La teoría de cobertura implica que una de las partes se quiera cubrir y en consecuencia transfiere el riesgo al mercado y hay agentes que quieren especular con este riesgo.

### ¿Qué ha hecho el mundo en esta materia?

El punto de partida de los derivados del clima empieza con la introducción de derivados de temperatura en el sistema Globex de la Bolsa Mercantil de Chicago (CME). Esto permitió apartar el riesgo de crédito en la negociación y aumentar el tamaño del mercado. Estos derivados cubren eventos de alta probabilidad de ocurrencia de un invierno crudo y a su vez cobija aspectos del clima como los niveles de temperatura, niveles relativos de humedad y niveles de precipitación en diferentes estaciones de clima, velocidad del viento y nevadas, por citar algunas variables. Según The Risk Financier se estima que durante 1998, se habrían cerrado sólo en Estados Unidos de América contratos climáticos por un valor de 1.600 millones de dólares. La cifra, a fecha de abril de 2001, acumularía un total de 4.784 contratos desde 1.996, por un volumen acumulado de 7,500 millones de dólares, de acuerdo con IFC (2002). El inicio del mercado empieza en 1.992 en Chicago Board of Trade (CBOT) con la creación de derivados del seguro como futuros y opciones para cubrir los riesgos de catástrofes naturales. Estos instrumentos fueron diseñados como productos financieros exóticos por la firma ENRON. En Septiembre de 1.999, el grupo Chicago Mercantile Exchange (CME) introdujo negociaciones de opciones y futuros del clima. Inicio operaciones de cobertura con el **promedio de estadísticas de la temperatura** en ciudades de U.S.A. y, ante el desarrollo de esta medida de protección de riesgo, en Octubre de 2.003 ingresaron 5 ciudades de Europa, y en Julio de 2.004 comenzaron a participar 2 ciudades del Asia - Pacífico. Actualmente, el mercado se ha desarrollado con altos grados de liquidez y ofrece instrumentos bajo la línea de contratos mensuales del clima y contratos de una estación de clima en particular. Cada estación, verano o invierno, representa cinco meses consecutivos que pueden ser negociados como un solo producto. El Grupo CME es el único mercado regulado que ofrece productos en gestión de riesgos para el mercado del clima. Se cotizan contratos basados en las condiciones climatológicas y en el comportamiento de la temperatura de 35

ciudades del mundo: 18 en USA, 6 en Canadá, 9 en Europa y 2 en Asia. Adicionalmente, se realizan operaciones con diferentes parámetros climatológicos a parte de la temperatura, como las nevadas, las heladas y los huracanes. El 95% de todas las transacciones con derivados sobre el clima, se enfocan en la temperatura. El calentamiento global ha permitido crear posibilidades de manejo del riesgo del clima y existen diferentes jugadores como aseguradoras, restaurantes, banca de inversión, empresas de energía, entidades de seguros, compañías del sector agrícola y del turismo, que participan en estos instrumentos de cobertura. De acuerdo con la información de Weather Risk Management Association, WRMA, y *Pricewaterhouse*, el número de contratos de derivados del clima, se ha incrementando desde Abril de 2002 a Marzo de 2003 en un 300% en el CME, por ser medios de cobertura. Un derivado del clima es un tipo de contrato de derecho cuyo pay-off depende de una medida de resultados meteorológicos, tales como las nevadas, que es celebrado en una región determinada y que tiene vigencia durante un período contractual. Los contratos de los derivados del clima relacionan un evento específico y pueden ser emitidos en variables del clima definidos, tomando simples o múltiples eventos del clima Somarat (2008) Además, los derivados del clima son productos típicos Over-the-Counter, contrato a plazo u opción cuyo pago depende del comportamiento del activo subyacente - **el clima** - en un horizonte de tiempo, y son instrumentos financieros (contratos) que implican pagos de acuerdo con parámetros climáticos que puedan medirse objetivamente como temperatura, precipitaciones, velocidad del viento, nevadas, huracanes, etc. Estos productos cuantifican el clima en términos de cuánta temperatura, heladas, huracanes o desviación de nevadas permiten cubrirse en un período determinado, ya sea mensual o estación de clima, en una ciudad o región particular. Cuantificar el clima tiene como objeto negociar y comparar los derivados del clima con demás derivados con activos subyacentes como índices de acciones, monedas, tasas de interés y commodities. Los mercados Over-the-Counter, OTC en general, permiten negociar de forma privada e individualizada, contratos bilaterales en una plataforma electrónica, Hull (2003), con el fin de que el precio de las opciones sea transparente y sea establecido por la misma negociación acordada entre el comprador y el vendedor Lamothe ( 2005). Son acuerdos no-estandarizados donde el riesgo de incumplimiento es asumido por ambas partes y sus posiciones deben mantenerse hasta el vencimiento. Los derivados del clima son contratos “a medida” que difieren de los contratos de un mercado organizado donde los acuerdos están plenamente estandarizados en los términos de vencimiento, precio de ejercicio y tipo de opción. Adicionalmente, se pueden cerrar a medida, en el sentido de ser flexibles al lugar de la negociación, período de cumplimiento y a la variable meteorológica considerada. Estos instrumentos están clasificados dentro del mercado de derivados exóticos que nacen como medios de cobertura para defenderse de la variabilidad del comportamiento del clima. Esta variabilidad afecta la demanda de un bien o servicio, que a su vez genera menores ventas y posteriormente pérdidas en los estados financieros. Los derivados del clima ayudan a la organización a compensar esas pérdidas por la capacidad de controlar y neutralizar el riesgo de la variable aleatoria que es el clima. Estos contratos pueden estar sujetos a varios riesgos del clima y pueden ser negociados como cualquier activo financiero. Por lo tanto, el mercado de derivados del clima ofrece oportunidades de cobertura del riesgo de la variabilidad del clima y permite transferir ese riesgo al mercado. Estos contratos pueden estar sujetos a varios riesgos del clima y pueden ser negociados como cualquier activo financiero. Por lo tanto, el mercado de derivados del clima ofrece oportunidades de cobertura del riesgo de la variabilidad del clima y permite transferir ese riesgo al mercado.

## MODELO ANALÍTICO

El objetivo de los derivados sobre el clima es cubrir los riesgos sobre el volumen de ventas más que los riesgos sobre el precio del bien que se va a vender. Un cambio meteorológico afecta la demanda de bienes y, por lo tanto, el ingreso de las empresas. Para cubrir la reducción de ventas, se acude a los derivados del clima y para cubrir el riesgo del precio, se toman posiciones de opciones o futuros sobre el precio de la mercancía. En una opción de compra a futuro, la parte que lo adquiere espera que el valor de la variable crezca por encima del pactado, de manera que limita su pérdida a lo que paga por él, sin impedir o limitar un desenlace positivo. De forma opuesta la otra parte garantiza una utilidad en la operación con el pago

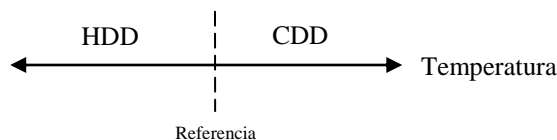
que le realiza, el cual corresponderá con el factor probabilidad y magnitud, del escenario en el que crezca el valor. En la opción de venta se invierte tanto el evento en el que se benefician las partes como la dimensión de la pérdida y/o utilidad. La expectativa de quien la compra- quien tienen el derecho- es la de que el valor de la variable se reduzca por debajo del pactado, de manera que la otra parte este obligada a pagar por el diferencial positivo que resulta. Luego la otra concebirá que este esté por encima del pactado lo que le significará una utilidad igual a lo que la otra entregó como prima. En resumen, para una misma referencia (strike price) la expectativa de quien compra una opción de compra, así como de quien vende una opción de venta es la misma, ambos presumen que el valor de la variable en cuestión, estará por encima del valor tomado como referencia, opuesto a las expectativas de quien vende una opción de compra o de quien compra una opción de venta, a quienes les beneficia un disminuido valor de la variable. Sobre la disposición a crecer ilimitadamente los beneficios para las partes que adquieren el instrumento, se agrega que es a través del precio pagado por él, con el que se compensa esta asimetría de las posiciones. Dado que la negociación de este instrumento no se realiza sobre el valor futuro de un activo sino sobre el de un índice, del que se apuesta su posible importe, se introduce un concepto el cual permitirá manejar las circunstancias inusuales de un estado específico de la naturaleza. *Degree Days* o DD, que no es más que el valor absoluto de la diferencia de un valor tomado como referencia y que de ahora en adelante se define como “F” y la temperatura registrada en el momento t, en otras palabras, establece que tan distante se encuentra una medida de la temperatura de cierto momento, de una referencia introducida previamente.

$$DD_t = |F - T(t)| \quad \text{Ecuación: 1 Donde,}$$

$T(t)$ : Es la temperatura media para el momento t

F: Temperatura de referencia

En la práctica, el cálculo del valor de referencia (F) permite definir el punto de inflexión de la función analítica, que posteriormente se explicara. En los Estados Unidos se toma 18 grados centígrados y es el momento en que los hogares prenden el aire acondicionado. El modelo que se tomará, en su concepción básica fue planteado por Munich Re y se enfoca en las opciones de los llamados días frescos (HDD) y de los días calurosos (CDD), cuyos **ÍNDICES** representan la **temperatura media** para un período de tiempo dado. De este modo, se calcula un diferencial para los distintos días del período estipulado como diferencia absoluta entre una temperatura de referencia, caso para el CME 18°C o 65°F, y la temperatura media del día. Si la temperatura media está por encima de la temperatura de referencia, 18C o 65°F, el diferencial de los grados de temperatura para esos días, hace referencia a CDD; si está por debajo, se instrumenta una cobertura indexada al HDD. A continuación, se explica detalladamente el modelo:



**Figura 1**

$$HDD_t = \text{Max}(0, F - T(t))$$

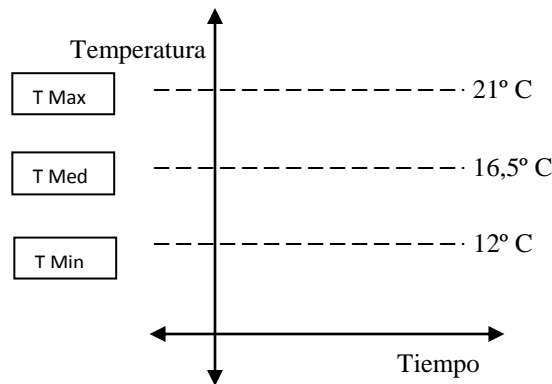
$$CDD_t = \text{Max}(0, T(t) - F)$$

**Días frescos:** Estas opciones se enfocan en los días cálidos y son llamados como HDD, Heating Degree Day (Grados de Calor Extremo), donde el diferencial de los grados de temperatura se calcula como si la temperatura está por debajo de la temperatura media de 18°C o 65°F:

$$HDD_t = \text{Max} (0, 18^\circ\text{C} - T(t))$$

Si  $T(t)$  entonces  $HDD_t$  tiende a ser cero

**Donde  $T(t)$**  es la media de las temperaturas más alta y más baja durante el día en una estación del tiempo determinada, medida en grados Centígrados o Fahrenheit. Por ejemplo, si la temperatura máxima durante un día X es de  $21^\circ\text{C}$  y la temperatura mínima es de  $12^\circ\text{C}$ , el valor de  $T(t)$  es de  $16.5^\circ\text{C}$ .



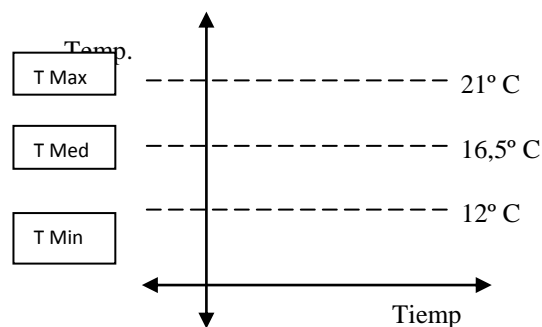
**Figura 2**

Las opciones sobre el clima, para épocas de invierno, están clasificadas de acuerdo con el Índice de Valores HDD, período de consumo de energía utilizada para calentar. La medida del valor del índice por día consiste en que un valor  $HDD_t$  y que representa el número de grados de temperatura, promedio del día, menor a  $65^\circ\text{F}$ . Por ejemplo, una temperatura promedio diaria de  $40^\circ\text{F}$  puede generar un valor por día de  $HDD_t$  de  $25^\circ\text{F}$  ( $65^\circ\text{F} - 40^\circ\text{F} = 25^\circ\text{F}$ ). Las opciones HDD se utilizan como cobertura contra inviernos no muy fríos.

**Días calurosos:** Estas opciones se enfocan en los días a refrescar y son llamados como CDD, Cooling Degree Day (Grados de Frío Extremo), donde el diferencial de los grados de temperatura se calcula como si la temperatura está por encima de la temperatura de referencia de  $18^\circ\text{C}$  o  $65^\circ\text{F}$ :

$$CDD_t = \text{Max} (0, T(t) - 18^\circ\text{C})$$

Si  $T(t)$  baja entonces  $CDD$  tiende a ser cero



**Figura 3**

**Donde** T(t): Es la medida de las temperaturas más alta y más baja durante el día en una estación del tiempo determinada, medida en grados Centígrados o Fahrenheit. Por ejemplo, si la temperatura máxima durante un día X es de 21° C y la temperatura mínima es de 12°C, el valor de T(t) es de 16.5°C.

Las opciones CDD se utilizan como cobertura contra veranos excesivamente frescos.

Las opciones sobre el clima, para épocas de verano, están catalogadas de acuerdo con el Índice de Valores CDD, período de energía utilizado para aire acondicionado. La medida del valor del índice por día consiste en que un valor CDD está calculado por el número de grados de temperatura promedio del día que excede 65°F. Ejemplo ( CME), una temperatura promedio diaria de 80°F, generaría un valor día de CDD de 15°F (80°F – 65°F = 15°F). De acuerdo con este ejemplo, el objetivo de cobertura consiste en tomar posiciones entre el rango de 65°F a 80°F por:

- Si la temperatura de referencia es mayor a 65°F es época de verano con expectativa de frío.
- Si la temperatura es menor que 65°F, el valor de CDD sería cero (0).

### Índice de HDD Acumulado

$$HDD_{Acum} = \sum_{t=1}^n HDD_t$$

En este índice concluye el estimador acerca de la estación en un periodo determinado. Se agrega el volumen de registros que se considera favorables y se excluye los que en este caso representan temperaturas demasiado altas. De esta manera conforme más alto sea el valor del  $HDD_{Acum}$  más apropiadas habrán sido las temperaturas a la estación, de lo contrario si el valor es muy bajo significa que el periodo fue demasiado cálido para la época.

### Índice de CDD Acumulado

$$CDD_{Acum} = \sum_{t=1}^n CDD_t$$

Aquí la relación se invierte pero la conclusión se mantiene. El valor de  $CDD_{Acum}$  oscilara en un rango en el que se califica la calidad con la que los resultados reales de la temperatura de la época corresponden o no con los estimados, de manera que entre más alto sea más calurosa habrá sido el periodo. El extremo superior del rango sugerido será igual a n veces (o el número de días del periodo) el valor más alto de temperatura registrado por encima de la referencia:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{t=1}^n CDD_t = n \times \text{Max}_{t=1}^n (T(t) - F)$$

**INDEX PRICE ( $\Psi$ ): El componente monetario del Índice**

### Racionalidad Financiera del Índice

Interpretación del factor de monetización. (Dentro del contexto de análisis de estrategias de cobertura)

1. Se establece una relación entre la variable HDD Acumulado y una variable monetaria:

$$ADDac \rightarrow \$$$

2. Se establece una relación entre una variación de los ingresos a una variación de HDD Acumulado

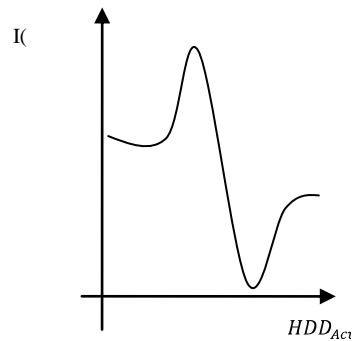
$$\Delta HDDac \rightarrow \Delta \$$$

3. Se establece los ingresos en función del factor precio y cantidad

$$I = Q \times P \text{ Donde,}$$

Q: Es la variable que se correlaciona con la temperatura

P: Es el precio, que para el modelo es considerada como constante y/o puede estar en función de Q



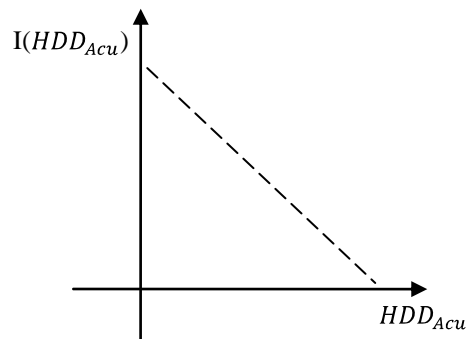
**Figura 4**

4. Se establece que I se correlaciona con T como una relación línea

$$I(HDDac) = mHDDac + b \text{ Aproximación 1 Donde,}$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \text{ Donde la pendiente es el cambio en los ingresos ante un cambio de una unidad de HDD Acumulado.}$$

5. Relación no lineal entre ingresos y HDD Acumulado



**Figura 5**

Donde  $m$  estará en función de HDD Acumulado y será igual a:

$$\Psi = \frac{\partial I(HDD_{Acu})}{\partial HDD_{Acu}} \quad \text{Donde,}$$

$\Psi$ : Es el componente monetario del índice. Lo que queremos demostrar es que la relación monetaria entre ingresos y  $HDD_{Acu}$  es variable. No obstante podemos caracterizar esta variable a partir de un rango donde puede operar, dado que se desconoce su valor:

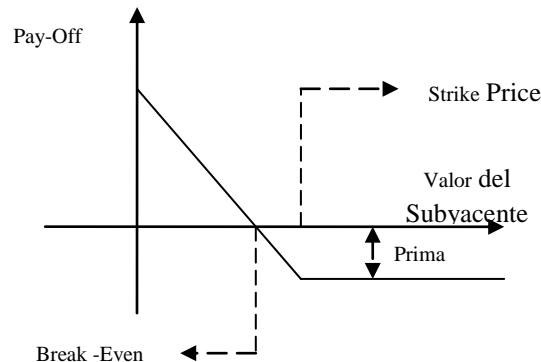
$$\Psi_1 \leq \frac{\partial I(T)}{\partial T} \leq \Psi_2 \quad \text{Donde,}$$

$\Psi_1$ : Es el extremo inferior del rango de posibles valores del factor de monetización.

$\Psi_2$ : Es el límite superior del rango de valores de  $\Psi$

## ESTRATEGIA DE COBERTURA PARA UNA VARIABLE ALEATORIA DEL CLIMA

Este documento va a desarrollar la lógica analítica de Black-Scholes, que indica que la esencia de la cobertura es controlar el riesgo mas no centrar el proceso analítico en su medida. Esto significa que la esencia de la cobertura es tomar la posición contraria de un activo, y cuya dinámica se presenta dependiendo de la evolución del subyacente.



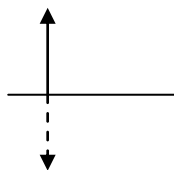
**Figura 6**

Con la denominada *posición contraria* se consigue obtener un flujo opuesto al de la posición inicial, de manera que las magnitudes de ambos serán iguales, e independiente de la forma como resulte el flujo futuro el otro siempre se encontrara en la dirección opuesta y en la misma magnitud compensándose la pérdida que pueda tenerse con uno con la utilidad obtenido con el otro, y viceversa.

### 1. Ejemplo de una posición contraria

Si nuestro negocio dependiese del frio buscaríamos cubrirnos de la eventualidad de que esta condición no se dé, por lo tanto buscamos crear un flujo contrario (un sintético), condicionado a la que se dé la condición opuesta de nuestros ingresos. En el ejemplo final, desarrollaremos un instrumento de cobertura que nos da el derecho de venta.

### 2. Grafica (desarrollo de un flujo en una dirección opuesta y con una magnitud **similar al esperado**) Se construye un sintético.



**Figura 7**

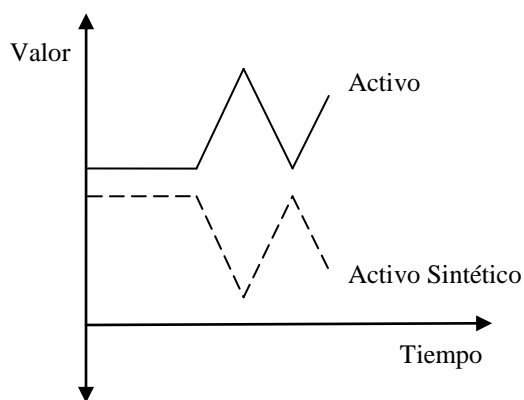
a. La construcción de una dirección opuesta en el mismo momento t. b. En una magnitud que permite definir el concepto “numero de contratos” c. El sintético está condicionado a las características (Existencia, dirección y magnitud) del flujo esperado

3. Quienes son los que buscan la protección.

Ante la actitud cambiante de variables determinantes en objetos de nuestro interés, es necesario el manejo de instrumentos que permitan eximirnos de eventos que sean desfavorables, que nuestro caso serán los que estrechen un retorno esperado. Para tal efecto se consigue ajustar indicadores sobre los que se apuesta sobre su importe de manera que se construya con ellos aquel flujo opuesto ya mencionado, buscando un beneficio.

4. Las opciones HDD se utilizan para protección contra inviernos cálidos.

Cobertura a través de opciones que dotan del derecho de venta. El comprador de una PUT tendrá el derecho de vender un activo en un futuro determinado. Por tener ese derecho el comprador paga una prima. Valor que es parte de los objetivos de la investigación. El comprador ganará si en el futuro el valor del activo está por debajo del precio de ejercicio, menos la prima pagada. En nuestro caso el precio de ejercicio es el “strike index”, si el HDD acumulado real, es mayor que el pactado entonces el inversionista no ejerce la opción debido a que esa cuantía está justificada por temperaturas bajas. Por otro lado si el valor del HDD Acumulado es inferior al del strike index se ejercería la opción, esta situación se da justamente en la condición de cobertura entendida como invierno cálido, y su pay-off consistirá en vender algo por encima del valor de mercado.



**Figura 8**

5. Estrategias para coberturas con instrumentos de opciones a través de los índices HDD y CDD<sup>1</sup>:

---



Opción	Protección	Se ejerce opción	Pago
Call HDD	Inviernos Frescos	HDD > P. Ejercicio	Tamaño del tick * (HDD - P. Ejercicio)
Put HDD	Inviernos Suaves	HDD < P. Ejercicio	Tamaño del tick * (HDD - P. Ejercicio)
Call CDD	Veranos Calurosos	CDD > P. Ejercicio	Tamaño del tick * (CDD - P. Ejercicio)
Put CDD	Veranos Frescos	CDD < P. Ejercicio	Tamaño del tick * (CDD - P. Ejercicio)

**Tabla 1**

Para cancelar las opciones se requiere que el subyacente de la estadística del clima esté por debajo o por encima del valor strike o precio del ejercicio. Las opciones PUT se cancelan, si la estadística del clima está por debajo del valor del strike determinado; y para las opciones CALL se cancelan, si la estadística del clima está por encima del valor del strike predeterminado.

## 1. PRICING

### La determinación del precio de una Opción desde un concepto básico.

Supóngase que un activo subyacente vale 100. También supóngase la opción tiene la fecha de vencimiento en 2 meses y que en esta fecha hay 5 escenarios posibles para el precio. Cada uno de los escenarios tiene igual probabilidad.

Pricing de una Opción. Gomez (2008)					
Precios	80	90	100	110	120
Probabilidades	20%	20%	20%	20%	20%

**Tabla 2**

Se pregunta: Cuál sería el precio de un derecho de compra con Strike de 100 si se dan estos supuestos.

### Desarrollo

La regla de decisión para ejercer el derecho de compra sería  $\text{Max}(\text{Precio} - \text{Strike}, 0)$ . El PYG de la CALL de 100 en cada uno de estos escenarios sería:

0	0	0	10	20
20%	20%	20%	20%	20%

El retorno esperado de la Opción sería:

$$\text{TOTAL} = 20(20\%) + 20(10\%) + 20(0\%) + 20(0\%) + 20(0\%) = 6$$

El precio de la Opción de Compra debe ser igual a su retorno esperado traído a valor presente y si suponemos una tasa de interés de 10%:

$$\text{Valor de la Call} = (6/(1+10\%)^{60/365})$$

En general, no es realista pensar que van a existir sólo unos pocos escenarios a futuro y que a priori se pueden conocer las probabilidades de cada uno de estos escenarios. Se han planteado gran cantidad de modelos que tratan de determinar el precio de una opción. Los pasos básicos serían:

1. Proponer una serie de posibles precios al vencimiento;
2. Asignar una probabilidad a cada posible precio;
3. Asegurar que no se den posibilidades de arbitraje;
4. Calcular el retorno esperado de la opción;
5. Traer a valor presente el retorno esperado

La literatura financiera ha desarrollado un conjunto de modelos que se fundamenta en su esencia en estos pasos y que van desde la ecuación de B-S como un buen representante de modelos analíticos, hasta llegar a los procesos de cálculo de procesos binomiales aditivos y multiplicativos, y menos conocidos son los procesos resolutivos martingalas etc. Por ejemplo, el modelo analítico Black-Scholes nos permitirá comprender la esencia del modelo de valoración de una opción, y definimos:

$$C = SN(D_1) - Xe^{-rt}N(D_2) \quad \text{Donde,}$$

C: Es el pricing de una opción CALL; S: Es el valor actual de subyacente; X: Es el precio de ejercicio o Strike Price; r: Es la tasa libre de riesgo

$N(D_1)$  y  $N(D_2)$ , son los factores de ajuste del valor del activo y del precio de ejercicio traído a valor actual. Con estos se establece a través de una medida objetiva que la retribución de la parte que vende el contrato será igual a la probabilidad de ocurrencia y el impacto del evento en el que la otra parte ejerce el derecho que incorpora el instrumento. No obstante, una de las dificultades de los derivados exóticos y en concreto los derivados del clima, es que no cumplen las condiciones normales de valoración de un pricing de un activo financiero, pero la esencia del concepto se mantiene. Todo proceso de valoración, parte de la estimación de los posibles valores que tomara el activo (en este caso el índice) en el momento en el que será ejercido. Valores que se agregaran de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia y que se descontaran a la tasa libre de riesgo correspondiente.

$$= \Psi_p \cdot \int_{P(S)=0}^{\infty} P(S) \cdot f[P(S)] d(P(S))^2 \quad \text{Donde,}$$

$\Psi_p$ : Es el pago por cada HDDacu, valor que incorpora el descuento de los flujos futuros. Es decir:

$$\Psi_p = \Psi e^{-rt}$$

Con r como la tasa libre de riesgo correspondiente y t el margen de tiempo el entre la fecha actual y la de ejercicio. Ahora, P(S) no son sino la utilidad obtenida por el ejercicio de la opción, dado que se presenten las circunstancias apropiadas, de no ser así el valor será de cero luego:

$$P(S) = \text{Max}(0, (X - S)) \quad \text{Donde, } S: \text{ Es el precio de ejercicio o el valor por el que se intercambiara el índice: Es el valor del índice para un escenario específico, o "Stricke Index"}$$

Es evidente que conforme el valor de S sea mucho menor al de X el retorno para quien compra el instrumento será mayor, así como el precio que deberá pagar por él. La raíz de toda esta secuencia es la generación de los valores de S, que corresponderán con la distribución asociada a los HDD's o CDD's acumulados durante un margen específico de tiempo. En otras palabras determinado el valor de HDD o

---

<sup>2</sup>Hull.

CDD en un día específico se suma con los otros del mismo mes obteniendo un acumulado para un mes dado. Este proceso se repite para el mismo mes de años previos. La valoración se reduce al cálculo de un valor esperado, el cual agrega una serie de monomios compuestos por dos factores: El primero  $P(S)$  es la expectativa sobre el valor del índice (degree days) para el escenario  $i$ -ésimo, y el segundo  $f(P(S))$  es un factor de ponderación, el cual mide la probabilidad de ocurrencia de dicho escenario.

### Desarrollo de un Modelo Simple

Por ejemplo, para un empresario, quien ha quien ha montado un hotel en el Nevado del Ruiz, su demanda dependerá de que el nevado este cubierto por hielo, significa que existe una correlación entre los Q'j- demanda- y la temperatura. El inversionista llama al profesor Cruz, porque busca cubrirse por un invierno no muy frio. El profesor Cruz le manifiesta que no existe en Colombia por momento un mercado de derivados del clima, pero le podríamos proponer un contrato no estandarizado y privado a Bancolombia, donde tiene una unidad de análisis de riesgo bastante sofisticada.

A la luz del modelo analítico se definió el siguiente algoritmo:

1. El inversor colombiano busca cubrirse de un invierno no muy frio, para tal efecto suscribe un contrato de derecho de venta de un índice HDD. 2 Pasado el periodo de cobertura se pueden dar dos eventualidades, que el invierno ha sido frio y el no tuvo que ejercer el derecho, o el invierno no fue frio, por lo tanto el ejerce el derecho de venta del contrato. Esto último significa, que el compra un contrato barato y vende un contrato caro con lo cual obtiene una ganancia, suponiendo que hay un mercado liquido en el que hay oferentes y demandantes de este tipo de contratos. 3 Dado que no existe tal mercado en el que se puede adquirir un contrato sobre HDD's, se estable que la otra parte retribuirá a quien compra la opción de venta por el diferencial que existe entre el Strike Index y el HDD Acumulado real, multiplicado por el factor de monetización.

2. Partiendo de nuestro modelo Analítico:

$$\text{Prima} = \Psi_p \cdot \int_{P(S)=0}^{\infty} P(S) \cdot f[P(S)] d(P(S))$$

Se establece que:

- a.  $\Psi$  suponemos que es igual a 20 Unidades Monetarias. Valor convenido, fruto de una negociación de las partes que elaboran el contrato, el cual guarda una proporción con la magnitud monetaria que se busca cubrir.
- b. HDD día, fue definido como  $HDD_t = \text{Max}(0, F - T(t))$ . Para nuestro caso el índice de referencia o punto de inflexión (F) fue de 14 C°.

Extremo Inferior ( $E_s$ )	2
Extremo Superior ( $E_f$ )	18

**Tabla 4**

Nota Los datos son arbitrarios por el momento

En aras de una simplificación y para evitar el manejo de un volumen exagerado e innecesario de información, se genero directamente los valores de la temperatura diaria aleatoriamente, dentro del rango de la tabla 4, asumiendo que la función de distribución que genera estos datos, es de naturaleza normal. Sin embargo, como se verá más adelante, las distribuciones de frecuencia que caracterizan a la temperatura para un mes y un lugar específico, no necesariamente son de naturaleza normal (Anexo 2).

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	...	<b>30</b>	<b>31</b>
1	11	0	...	6	0

$$\rightarrow = \text{MAX}(0; 14 - \text{ALEATORIO.ENTRE}(E_S; E_I))$$

Esta es la forma que adoptara  $HDD_t$ , para un escenario el vector de valores de HDD día. Aquí en cada una de las celdas se hará uso de la función MAX en la que se contrasta el valor de cero, con la diferencia entre los 14 C° y la temperatura generada aleatoriamente dentro del rango  $[E_S, E_I]$ .

c. A partir del literal b se construyó el HDD Acumulado utilizando nuestro modelo:

$$HDD_{Acum} = \sum_{t=1}^n HDD_t$$

d. Después de haber encontrado los HDD Acumulados se calcula el pay-off para cada uno de los posibles escenarios de HDD's Acumulados, como:

$$P(S) = \text{Max}(0, (X - S))$$

La referencia o el denominado strike index (S) es de 150 unidades el cual corresponde al límite a partir del cual el empresario considera la demanda de su servicio se ve afectado negativamente. Lo que seguirá será calcular cuan arriba de ella se presentan las estimaciones hechas en cada uno de los escenarios y días del mes de septiembre. Si el HDD acumulado es inferior al de referencia, eso indica que las temperaturas diarias fueron considerablemente altas lo que justifica la ejecución de la alternativa que le ofrece el instrumento, consiguiendo sustituir el flujo que previo pero que desafortunadamente no se presentó, por el beneficio que procede del diferencial entre el índice convenido y el presentado. En el caso en el que el HDD tenga un valor grande, el empresario seguramente conseguirá unos ingresos por el buen desempeño de la demanda de su bien o servicio, sin que sufra alguna consecuencia adversa por el instrumento, ya que no ejercerá su opción.

Escenario	1	2	3	...	30	31	HDD Acumulado	Pay-Off
1	1	11	0	...	6	0	136	265,64
2	3	15	3	...	8	0	130	379,49
3	8	17	1	...	9	10	132	341,54
4	0	4	1	...	12	4	147	56,92
...	...	...	...	...	...	...	...	...
99.998	13	14	3	...	12	0	153	0
99.999	4	0	6	...	15	12	187	0
100.000	2	1	13	...	5	15	135	284,62

$$= \text{MAX}(0; 150 - \text{HDD} / \text{AL3}) \times \Psi_p$$

En la columna denominada Pay-Off se involucro también el factor de monetización, luego aquellos  $P(S)$ 's del modelo analítico original, ya incorporaran la monetización de los índices.

e. Finalmente se calcula los momentos de la función de distribución de la prima, con los que se establece el valor de la prima del contrato:

f. **Resultados**

Tasa Libre de Riesgo -Anual-	4,00%
Tasa Libre de Riesgo -Mensual-	0,33%
Periodo hasta el vencimiento -Meses-	4
Unidades HDD de Ejercicio (S/ $\Psi$ )	150
Factor Monetizacion ( $\Psi$ )	20
Factor Monetizacion Ajustado ( $\Psi_p$ )	19,7398
PUT Pay-Off (S)	3.000
<b>Prima USD - PUT Sobre HDD</b>	<b>259</b>

**Tabla 5**

**BIBLIOGRAFÍA**

Hull J. C. (2002) Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones, Cuarta Edición, Prentice Hall, Madrid

Prósper L. F., Miguel P. S. (2006) Opciones Financieras y Productos Estructurados, Tercera edición, McGraw-Hill, Madrid, 2006.

Molyneux David. Presentación: Weather Risk MAnagement. FCAS, Zurich RE.

Cobo Sonia de Paz.( 200) Derivados vinculados al Seguro. Facultad de CC del Seguro, Universidad Pontificia de Salamanca. Madrid.

Moreno Fuentes, Manuel. Presentación: Instrumentos Derivados. Departamento de Economía y Empresa, Universitat Pompeu Fabra de Barcelona. Barcelona.

Patrick L. B., Mulong W., Chuanhou Y., Hong Z. Portfolio Effects and Valuation of Weather Derivatives, The Financial Review No 41, The Eastern Finance Association, 2006.

Juan José García Machado, María del Pilar Sancha Dionisio, Concepción T. R., David T. P., Opciones “Exóticas”, Boletín Económico de ICE No 2673, 2000.

Sommarat Chantararat, Calum G. Turvey, Andrew G. Mude, Christopher B. Barrett.

Improving Humanitarian Response to Slow-Onset Disasters Using Famine-Indexed Weather Derivatives, Agricultural Finance Review, Spring, 2008.

Yesenia S. (2007) Weathering the storm of risk, Online Trading, September.

CHICAGO MERCANTILE EXCHANGE. An Introduction to CME Weather Products. [www.cme.com/weather](http://www.cme.com/weather). 2005.

CHICAGO MERCANTILE EXCHANGE. Protecting Winter Profits. [www.cme.com/weather](http://www.cme.com/weather).

CHICAGO MERCANTILE EXCHANGE. Alternative Investments: Weather Futures and Options, [www.cme.com/weather](http://www.cme.com/weather). 2007