



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLAN

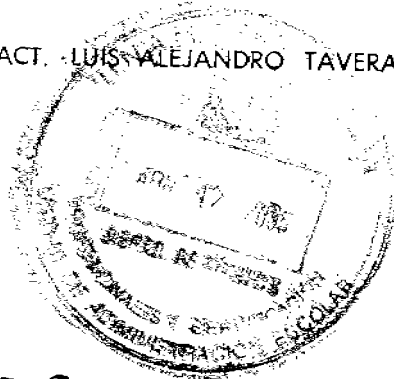
DERIVADO DE TEMPERATURA PARA EL ESTADO DE CHIAPAS.

T E S I N A
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
A C T U A R I O
P R E S E N T A
CARDENAS CASANOVA NIGERATZE

ASESOR: ACT. LUIS-ALEJANDRO TAVERA PEREZ



MEXICO, D. F.



ABRIL 2005

m343079



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Cardenas Casanova

Mujeratzel

FECHA: 12/04/05

FIRMA: [Signature]

Derivado de Temperatura para el Estado de  
Chiapas

Nigeratze Cardenas Casanova

3 de abril de 2005

# Índice general

<b>1. Chiapas, Derivados y Temperatura</b>	<b>7</b>
1.1. Chiapas	7
1.1.1. Ubicación	7
1.1.2. La biodiversidad en Chiapas	9
1.1.3. Depresión Central	10
1.1.4. La Conquista	10
1.1.5. La Colonización	11
1.1.6. La Independencia	12
1.1.7. La Federación	13
1.2. Derivados	14
1.2.1. Definición de los Derivados Climáticos	14
1.2.2. Origen	15
1.2.3. Mercado	16
1.2.4. Datos de Calidad	18
1.2.5. Datos en México	18
1.2.6. Ventaja y Desventaja de los Derivados Climáticos	19
1.2.7. Expansión de los Derivados Climáticos	19
1.3. Clima en México	20
1.3.1. El clima	20
1.3.2. Cobertura	20
1.3.3. La Temperatura	20
1.3.4. Contratos	21
1.3.5. Diferencia entre Derivados Financieros y Derivados Climáticos	22
1.3.6. Diferencias entre Derivados Climáticos y los Seguros	22
1.3.7. Información de una valuación de cobertura de clima	23
1.3.8. México bajo el cambio climático	24
1.3.9. Fondo Nacional de Desastres Nacionales en México FONDEN (antes AGROASEMEX)	24

<b>2. Descripción del Modelo</b>	<b>27</b>
2.1. Temperatura Media . . . . .	27
2.2. La Reversión de la Media . . . . .	29
2.3. La Estimación del Parámetro . . . . .	29
2.3.1. Ajustando el modelo de Temperatura Media a los datos	29
2.3.2. Estimación de $\sigma$ . . . . .	30
2.3.3. Estimación de la media de reversión del parámetro $a$ . .	31
2.4. Obteniendo el Precio del Derivado de Clima . . . . .	32
2.4.1. Dándole precio a una opción de día cálido . . . . .	33
2.4.2. Pagos Máximos . . . . .	36
2.4.3. La valoración en período . . . . .	36
<b>3. Ejemplo de un Derivado de Temperatura</b>	<b>37</b>
3.1. Valor de las sigmas . . . . .	37
3.2. Precio de una <i>call</i> del mes de Diciembre . . . . .	38
<b>4. Conclusión</b>	<b>41</b>

## Introducción

El tiempo tiene un gran impacto en las actividades comerciales de muchos tipos. Muchos negocios están sujetos al riesgo como es el caso de productores de energía y consumidores, el supermercado en cadena, la industria de ocio y las industrias agrícolas, etc. Pero principalmente el sector de energía ha manejado la demanda para los derivados de tiempo y ha causado que la industria de dirección se arriesgue para evolucionar ahora rápidamente.

Los derivados climáticos son contratos financieros con pagos que dependen del clima, algunas variables que intervienen pueden ser: la temperatura, la humedad, la lluvia o nevada entre otros. La variable subyacente más común es la temperatura.

El objetivo principal de esta Tesis es encontrar un modelo para un derivado de temperatura.

Los Derivados Climáticos son diferentes a los contratos de las Aseguradoras, primero no hay necesidad de archivar una demanda o de demostrar daños y perjuicios, segundo hay riesgo moral pequeño y tercero es un contrato de seguro diferente ya que los derivados climáticos permiten ajustar contra el tiempo comparándolos para saber si es viable.

En el Capítulo 1, daré información sobre el estado de Chiapas, ya que es el estado en el que me basé para la creación del derivado de temperatura, además dare una apreciación corta sobre el mercado de derivados y la Temperatura. En el Capítulo 2, me enfocaré en encontrar un proceso estocástico que describa la evolución de la temperatura. Se estimaran los parámetros desconocidos en el modelo usando los datos de temperatura históricos por medio de la función de martingala. En el Capítulo 3 realizare un ejemplo numérico de Derivado de Temperatura obteniendo el precio de una *call* basándome en los datos históricos de temperatura del Estado de Chiapas.

# Capítulo 1

## Chiapas, Derivados y Temperatura

### 1.1. Chiapas

#### 1.1.1. Ubicación



Figura 1.1: Ubicación de Chiapas dentro de la república mexicana

Chiapas es uno de los 31 estados de la República Mexicana. Se encuentra en el sureste del país y su Capital es Tuxtla Gutiérrez. En Chiapas existen 111 municipios. Chiapas limita al norte con Tabasco, al sur con el Océano Pacífico, al este con Guatemala y al oeste con Oaxaca y Veracruz. En general, el clima de Chiapas es tropical húmedo y subhúmedo. Ya que el clima cambia dependiendo de la altura del lugar, en Los Altos es templado húmedo y con muchas lluvias en verano. Por ello comunidades como



San Cristóbal, Comitán y Teopisca tienen clima templado. En cambio, las localidades situadas en los lugares bajos, como Tapachula, tienen clima cálido. Las comunidades que se encuentran en lugares no muy altos ni muy bajos, como Tenejapa y Siltepec, tienen clima semicálido, es decir, no son calurosos ni templados. En Chiapas llueve en los meses más calurosos y las lluvias disminuyen en los meses fríos.

En la República Mexicana, Chiapas es el estado más meridional. Se localiza al sureste del país. Sus regiones fisiográficas son:

- Llanura Costera del Pacífico: en esta región se encuentra la reserva ecológica "La Encrucijada"; localizada en los esteros que van desde Pijijiapan hasta Mazatán.
- Depresión Central: aquí se encuentra el famoso Cañón del Sumidero que, junto con sus alrededores, fue declarado parque nacional, para proteger la vegetación y los animales de este bello lugar.
- Llanura Costera del Golfo: se encuentran pozos petroleros importantes.
- Sierra Madre de Chiapas: está formada por una cadena de grandes elevaciones, entre las que sobresale el volcán Tacaná, situado en la frontera con Guatemala.
- Altiplano Central: ocupa la parte más alta del centro del estado.
- Montañas del Norte: aquí se encuentra la reserva ecológica de Agua Azul una de las más impresionantes de todo el país.
- Montañas del Oriente: la selva Lacandona y restos de ciudades mayas como Bonampak se encuentran en esta región.

Según la agenda estadística, el Estado de Chiapas cuenta con una superficie de 75.634.4 km cuadrados ( 3.8 % del territorio Nacional) lo que lo ubica como el Octavo Estado más grande del país. Su población Actual es: Hombres 1941.880 Mujeres 1979.012 Total : 3920.892. La cultura viva de Chiapas se encuentra en una gran expresión en sus grupos étnicos como son:

- Zoques
- Tzotziles
- Tzeltales
- Lacandones

- Mochos
- Cakchiqueles
- Tojolabales
- Mamcs
- Choles

### 1.1.2. La biodiversidad en Chiapas

El estado cuenta con una de las riquezas florísticas más notables. En su superficie han sido registradas cerca de 8,000 especies de plantas diferentes. Además, debido a la compleja entremezcla de unidades de paisaje en toda su superficie, existe toda una gama de ambientes, hábitats y tipos de vegetación.

La diversidad faunística es particularmente elevada: se han reportado 1,298 especies de vertebrados terrestres y de aguas continentales en el estado. Aproximadamente el 30 % de los anfibios, el 28 % de los reptiles, el 65 % de las aves, y el 55 % de los mamíferos conocidos para México se encuentran en Chiapas. Esto significa que el 44.5 % de las especies de vertebrados terrestres reportados para el país existen en el estado. Más de un tercio de los vertebrados terrestres (446) presentes en la entidad son endémicos en Mesoamérica, y 25 especies de anfibios y reptiles también lo son.

Adicionalmente, la fauna de Chiapas incluye a más de 200 especies migratorias: aves, murciélagos, peces, tortugas marinas, libélulas y mariposas. Las 1,200 especies de mariposas reportadas para la entidad, representan el 80 % de las conocidas en México, y más del doble de las que se distribuyen en Estados Unidos y Canadá. De manera similar, al dividir las 89 especies de anfibios presentes entre los 73,867 Km<sup>2</sup> de Chiapas y multiplicarlo por 100, obtenemos un índice de riqueza de especies de 0.12. Al comparar este índice con el de otras entidades geopolíticas (España, Australia, Norte América, México, Península de Yucatán, Guerrero, Michoacán, Guatemala Honduras, Belice y Costa Rica), nos muestra que la riqueza de anfibios para Chiapas es únicamente superada por Costa Rica.

Entre su vegetación encontramos bosque de pino, encino, ceiba, ciprés, caoba, cedro rojo, volador, guapaque, pastizales, cacahuate, fresno, laurel, mangle, palo mulato, guácimo, mezquite y quebracho, así como café, maíz, mango, mamey, tomate, ciruela, cacao y plátano.

Entre la fauna, hay tlacuache, sarahuato, puerco espín, venado cola blanca, tepezcuintle, leoncillo, jabalí, mono, boa, cocodrilo, tortugas, tucán de

cuello amarillo y aves acuáticas. En cuanto a la existencia de aves de corral, Chiapas ocupa un destacado lugar con relación al resto del país. Entre las aves de corral encontramos guajolotes, pollos, gallos y gallinas. Aunque hay muchos animales, algunos de ellos están en peligro de extinción ya que son continuamente capturados por comerciantes a quienes les interesa ganar dinero sin cuidar los recursos naturales. El relieve de Chiapas está formado por montañas volcánicas, llanuras que llegan hasta el Golfo de México, serranías y mesetas. Hay cerros como los de Tzontehuitz y Huitepec. También en este estado se encuentra la Sierra Madre de Chiapas.

En el norte de Chiapas se localiza el volcán Chichónal, que hizo erupción en marzo de 1982 lanzando rocas y arenas ardientes. En el centro hay una gran extensión hundida, por donde corre el río Grijalva. Esta formación natural se llama Cañón del Sumidero.

### 1.1.3. Depresión Central

En Chiapas están 2 de los ríos más caudalosos de la República Mexicana, el Grijalva y el Usumacinta, que vienen de Guatemala. La fuente de alimentación de los ríos chiapanecos se debe, principalmente, a las abundantes lluvias. El río Grijalva pasa por las presas Nezahualcóyotl, Chicoasén y La Angostura.

Los lagos son depósitos de agua dulce. En Chiapas se encuentra el lago de Miramar, en el municipio de Las Margaritas, y el lago Ocotales, en el municipio de Ocosingo. Las lagunas de Chiapas son muy bonitas, algunas son: La Joya, Buenavista y Montebello.

### 1.1.4. La Conquista

En tiempos muy remotos llegaron al Tepetchía (peñón izquierdo del Cañón del Sumidero) tribus de guerreros chiapanecas, guiados por el viejo cacique Nandalumí, procedentes de Nicoya, Nicaragua, y fundaron el pueblo de Nandiumé. Desde allí comenzaron a someter a los zoques, tzotziles, tzeltales y manes, para convertirlos en tributarios. Posteriormente, en 1486 los aztecas invaden el pueblo y le cambian el nombre de Nandiumé por el de Teochiapan.

Poco tiempo después de la conquista y el reparto del Imperio Azteca (1521), el capitán Luis Marín, de la Villa del Espíritu Santo (hoy Coatzacoalcos, Veracruz) al frente de 111 soldados españoles armados y seguidos por 80 guerreros aztecas, invadió las regiones ocupadas por los zoques, chiapanecas, tzeltales y tzotziles (1524).

Después del señalado triunfo de los hispanos, en el que jugó importante

papel el capitán Bernal Díaz del Castillo, encomendero del pueblo de Chamula, surgieron las diferencias entre los conquistadores españoles, por las incómodidades en el reparto del botín. Estas diferencias y el reducido número de soldados hicieron imposible la colonización de Chiapas, misma que tuvo que esperar cuatro años más. En tanto, la provincia del Soconusco ya había sido sometida, en 1524, por el capitán Pedro de Alvarado.

En 1528, el capitán Diego de Mazariegos al mando de tropas más numerosas, mejor organizadas y con el apoyo de Alonso de Estrada, gobernador de la Nueva España, vence a los chiapanecas, después de encarnizadas batallas en el Tepetchía. Sojuzgados los chiapanecas -los guerreros más temerarios de la región y de la Nueva España- los conquistadores hispanos van sometiendo uno a uno a los diversos grupos étnicos de Chiapas hasta dominarlos completamente.

En tal virtud, el capitán Diego de Mazariegos funda el día primero de marzo de 1528, alrededor de una vetusta ceiba, la Villa Real de Chiapa (Chiapa de los Indios), hoy Chiapa de Corzo. Días después, los españoles atraviesan las partes más altas de Chiapas, con motivo de la llegada de Pedro de Portocarrero a la región de Comitán, para extender los territorios conquistados por Pedro de Alvarado. Adelantado, Gobernador y Capitán General de Guatemala. Arreglado el conflicto, Diego Mazariegos regresa por el valle de Jovel (llamado Hueyzacatlán por los aztecas) y observa que el clima es más benigno, en tanto que en la margen derecha del río Grande de Chiapa, lugar donde había fundado el primer pueblo, no les era del todo favorable. Fue así, como el 31 de marzo de ese mismo año funda otro pueblo con el mismo nombre de Villa Real de Chiapa de los Españoles, (hoy San Cristóbal de Las Casas) en recuerdo de Ciudad Real, España, cuna del conquistador manchego Diego de Mazariegos. Posteriormente, en 1531 la provincia de Chiapas pasa a depender, por real orden, al gobierno de Guatemala. La conquista se había consumado.

### 1.1.5. La Colonización

Consolidada la conquista de los zoques, chiapanecas, tzeltales y tzotziles, en 1528 comienzan las primeras incursiones para sojuzgar a los otros grupos lingüísticos de Chiapas: choles, tojolobales y lacandones. En el primer enfrentamiento con los lacandones, los soldados españoles fueron derrotados (1529). Por otra parte, Baltazar Guerra de la Vega, encomendero de Chiapa de los Indios, aumenta el tributo a los chiapanecas, por lo que éstos huyen y se esconden en unas cuevas del Cañón del Sumidero (1531), desde donde emprenden el levantamiento contra el encomendero. Esto constituyó la primera

sublevación indígena, misma que fue sofocada por el propio Baltazar Guerra. Sin embargo, los chiapanecas no se dieron por vencidos, y durante tres años estuvieron rebelándose hasta que finalmente fueron derrotados en la memorable batalla del Tepetchía (1534), que dio lugar a una de las versiones de la histórica leyenda del Cañón del Sumidero plasmada en el escudo de Chiapas.

En la época de la colonia, las nuevas relaciones económicas aumentaron sensiblemente la producción y, por ende, la explotación de los indígenas. A partir de esta época los barrios de Ciudad Real (hoy San Cristóbal de las Casas) se fueron especializando en determinadas actividades artesanales. Se iniciaba el desarrollo de las fuerzas productivas y, con ello, el proceso de acumulación originaria del capital en Chiapas.

La época colonial de Chiapas se caracterizó por la eucarquizada lucha de clases entre encomenderos, terratenientes y campesinos *encomendados*; y no entre castas, como lo han sugerido algunos historiadores.

El mal trato dado a los indígenas, la alimentación paupérrima y las prolongadas jornadas de trabajo fueron diezmando a los pueblos indios: unos huían a la selva o a las montañas; otros morían por hambre o por enfermedad. El rencor que sentían los indígenas hacia los intrusos fue creciendo hasta que explotó en la gran sublevación de 1712, donde participaron más de 32 pueblos, mismos que más tarde fueron reducidos casi a cenizas. De aquí en adelante, el proceso de mestizaje y aculturación se fue acelerando. Sin embargo, entre criollos, mestizos, negros, indígenas y descendientes directos de los conquistadores había marcadas diferencias económicas, sociales, políticas e ideológicas.

Las noticias de emancipación de los Estados Unidos de Norteamérica (1776), de la Revolución Francesa (1789), el debilitamiento de España por la invasión de Napoleón I (1808) y el movimiento de Independencia de la Nueva España (1810), contribuyeron a crear en los criollos y mestizos las ideas independentistas, ampliamente difundidas por Fray Matías de Córdoba, Fray Ignacio de Barroja y Fray Juan Perrote.

### 1.1.6. La Independencia

De 1810 a 1821, Centroamérica fue espectadora del movimiento independentista de Nueva España. Fray Matías de Córdoba, originario de Tapaclula, fue el impulsor del movimiento independentista de Chiapas, movimiento que terminó con la proclamación de la Independencia, el 28 de agosto de 1821, de la ciudad de Comitán de la Corona Española, y al mismo tiempo adoptó el sistema de gobierno imperial de México.

Inmediatamente después, las autoridades municipales de Comitán redac-

taron y firmaron el acta de independencia, no sin antes protagonizar una serie de discusiones, por el temor a posibles represalias por parte de la Corona, pues aún no hacía su entrada triunfal don Agustín de Iturbide a la capital de la Nueva España.

Al día siguiente, el acta fue publicada en bando solemne, cuyas copias fueron remitidas al jefe del Ejército Imperial, al Intendente de la Provincia y a los principales Ayuntamientos de la provincia de Ciudad Real, capital de las Chiapas, quien proclamó su independencia el 3 de septiembre del mismo año; la villa de Tuxtla, el 4; el pueblo de Chiapa, el 7; la villa de Tapachula, el 23 de octubre; y así sucesivamente lo fueron haciendo los demás municipios. A invitación expresa de Fray Matías de Córdoba, Guatemala proclamó su independencia el 15 de septiembre de 1821. Un año después, el 16 de enero de 1822, la Regencia del Imperio Mexicano decretó la incorporación de Chiapas a México. Fue así como, después de casi tres siglos de marginación, explotación y sometimiento, Chiapas logró su libertad, su independencia y su soberanía.

#### 1.1.7. La Federación

Chiapas, quien de manera espontánea se uniera a México en 1821, volvió a ser provincia autónoma tras la abdicación de Agustín de Iturbide, en marzo de 1823. En consecuencia, la Junta Suprema Provisional de Chiapas se encargó de declararla provincia independiente, tanto de México como de Guatemala, así como de cualquier otro país, según decreto del 9 de julio del mismo año. En mitad de las acaloradas discusiones, de si Chiapas debería integrarse a México o continuar con su independencia, el general mexicano Vicente Filisola aprovechó el desconcierto y disolvió la Junta Suprema Provisional, en un fallido intento por reintegrar Chiapas a México. Pero, de nueva cuenta, un puñado de valientes chiapanecos proclamó el 26 de octubre el Plan de Chiapa Libre y reinstaló, el 29 del mismo mes, la referida Junta. El acto fue reconocido mediante decreto del 26 de mayo de 1824 por el Congreso Mexicano.

Fue así como llegó a celebrarse el histórico plebiscito en que la mayoría del pueblo chiapaneco votó por continuar formando parte de México. Los resultados revelados por el escrutinio, realizado el 12 de septiembre de 1824, fueron los siguientes: 96 mil 829 votos a favor de la federación de Chiapas a México; 60 mil 400 votos por la unión a Guatemala y 15 mil 724 abstenciones.

Dos días después, el 14 de septiembre, se escribió la memorable fecha, en que el pueblo chiapaneco decidió libre, independiente y soberanamente su destino, al unirse en forma definitiva a México.

## 1.2. Derivados

Los derivados financieros como su nombre indica son productos que derivan de otros productos financieros. En definitiva, los derivados no son más que hipotéticas operaciones que se liquidan por diferencias entre el precio de mercado del producto a asegurar y el precio pactado.

Dicho esto y pensando en lo que conceptualmente es un derivado es fácil suponer que pueden existir tantos derivados financieros como operaciones financieras reales o ficticias se puedan realizar. Así estos tipos de derivados se denominan y no están regulados por una cámara de compensación sino que son las partes quienes proceden a su liquidación en la fecha de vencimiento.

El riesgo climático puede tener un impacto negativo en los costos, ingresos y flujos de efectivo de una compañía. Aproximadamente el 70% de todos los negocios enfrentan este tipo de riesgo. En el año 2001 el Departamento de Comercio de Estados Unidos estimó que cerca de un 22% de los nueve trillones de dólares del producto interno bruto del país es sensible al clima.

Las condiciones climáticas afectan directamente a la agricultura y a la demanda por productos energéticos, e indirectamente a la industria del comercio.

Por ejemplo, el número de abrigos en inventario que tiene una tienda departamental depende del pronóstico del clima para el próximo invierno, y el volumen de ventas que tendrá la tienda dependerá del clima que se tenga en la temporada de invierno.

De la misma forma, los ingresos en la industria de la energía dependen del precio por unidad energética y por volumen de unidades vendidas.

A pesar de que las condiciones climáticas puede que no determinen el precio por unidad de energía, son el factor más importante que afecta el volumen de ventas.

Antes de 1997, la estabilización de ingresos de las compañías eléctricas se lograba principalmente con mecanismos de cobertura de precio, mientras que los riesgos volumétricos simplemente no se cubrían.

Sin embargo, al aumentar la competencia, producto de la desregularización en los países de primer mundo, ha incrementado la necesidad de cubrir los riesgos volumétricos causados por condiciones climáticas inesperadas.

### 1.2.1. Definición de los Derivados Climáticos

Los derivados climáticos son productos financieros que permiten a una organización contrarrestar un riesgo financiero debido a una variable climática.

Los derivados climáticos permiten a las compañías controlar los efectos del clima en la demanda de sus productos. Esta protección reduce la volatilidad de futuras ganancias y permite tener un flujo de efectivo más predecible.

Por lo tanto, las señales de alarma para los accionistas debido a una adversidad en las condiciones climáticas son menos frecuentes.

### 1.2.2. Origen

La primera transacción en el mercado de derivados climáticos tomó lugar en los Estados Unidos en septiembre de 1997.

Se trató del primer contrato de temperatura entre las compañías Enron y Koch.

El mercado arrancó con más fuerza durante el fenómeno de "El Niño" en el invierno de 1997, el cual fue uno de los más fuertes que se hayan registrado. Gracias a este fenómeno, los derivados climáticos recibieron mucha publicidad de la prensa norteamericana. Muchas compañías decidieron cubrirse de riesgos climáticos ya que esto significaba un riesgo significativo en la disminución de las ganancias.

Después de esto, el mercado de derivados climáticos se expandió rápidamente y los contratos comenzaron a ser negociados over-the-counter (OTC) como contratos negociados individualmente, hechos a la medida. Este mercado OTC fue manejado en principio por compañías del sector energético.

Para incrementar el tamaño del mercado y eliminar el riesgo crediticio de la negociación de los contratos, el Chicago Mercantile Exchange (CME) comenzó un mercado electrónico para derivados climáticos en septiembre de 1999. Esta fue la primera Bolsa donde fueron negociados los primeros derivados climáticos estándar. Los principales participantes para el CME han sido Aquila Energy, Kock Energy Trading Southern Energy y Castlebridge Weather Markets. Todas estas Firmas están también activas en el mercado OTC para los derivados climáticos.

Una de las compañías más importantes para la creación de los derivados climáticos fue Enron.

Dado que esta compañía producía y comerciaba energía en muchas partes del mundo, desarrolló un sofisticado sistema de administración de riesgos tanto para el precio de los energéticos como para la volatilidad en el clima. Enron dejó de operar en el 2001.



### 1.2.3. Mercado

Existen ciertos factores detrás del crecimiento del mercado de los derivados climáticos. Uno de los principales es la reciente desregularización de los mercados de energía (electricidad y gas natural) en los países de primer mundo.

Las compañías de energía llevan observando por un buen tiempo que los precios de energía están altamente correlacionados con el clima.

Por lo mismo, en un mercado de energía competitivo, las compañías de energía no pueden fijar los precios de los energéticos sin tomar en consideración el clima.

La manera en que estas compañías empezaron a cubrirse de este tipo de riesgos fue entrando en transacciones con derivados climáticos.

El sector de la energía es el que ha conducido la demanda de derivados climáticos y ha causado que la industria de la administración de riesgos climáticos evolucione rápidamente.

Las compañías de seguros y las reaseguradoras también se están convirtiendo en importantes compradoras de este tipo de productos financieros. Primero por el hecho de que muchos eventos climatológicos afectan su siniestralidad (Ej. a más lluvia más choques automovilísticos) y segundo, por que son un buen producto financiero para diversificar el riesgo de sus capitales y reservas.

Sin embargo, este nuevo mercado en desarrollo no es muy líquido en la actualidad.

Pareciera que muchas compañías fuera del sector energético no han aún establecido una política de cobertura o no han discutido alguna forma de cubrir su exposición al riesgo climático.

Esto significa que sólo una pequeña cantidad de contratos es negociada en la Bolsa.

Hasta finales del año 2000, eran aproximadamente 3000, con un valor total de 5.5 billones de dólares, los contratos de derivados climáticos hechos en Estados Unidos y se estima que llegue a los 300 billones de dólares en dos años, como consecuencia del crecimiento esperado en los mercados de energía.

En Europa son solamente 100 contratos con un valor aproximado de 30 millones de dólares los que se han completado.

Algunos sectores de aplicación de los derivados climáticos pueden ser:

- Compañías eléctricas : Estas compañías pueden proteger sus ingresos relacionados al volumen de venta, por ejemplo en veranos menos

calientes de lo normal o en inviernos menos fríos de lo usual. Así no se verán forzados a incrementar sus tarifas en un mercado que es cada vez más competitivo.

- **Compañías Distribuidoras de gas natural:** El sector de gas natural, otro importante promotor de los derivados climáticos en Estados Unidos y Europa, se encuentra en vías de desarrollo. Distribuidoras de gas natural en México como MaxiGas (subsidiaria de Gaz de France, Francia), Gas Natural México (subsidiaria de Repsol, España), Gas Natural SDG (subsidiaria de Iberdrola, España) y ProxmeGas (subsidiaria de Sempra, EU) entre otras, son compañías que tienen una desarrollada y estricta política de administración de riesgos climáticos en sus países de origen. Sin embargo, en México esta política aún no existe debido a que el consumo de gas natural (tubería subterránea propiedad de cualquiera de las compañías mencionadas anteriormente que distribuyen el gas desde la red de tuberías de gas natural propiedad de Pemex) es mínimo, a pesar de las ventajas que presenta en comparación con el tradicional gas LP (tanque estacionario); la transición se ha hecho difícil también debido a la falta de conocimiento de estas ventajas en nuestro país.
- **Agricultura:** Las compañías dedicadas a la agricultura pueden compensar ingresos que se pueden perder por heladas o sequías. Esto le da más estabilidad a un negocio poco predecible como éste.
- **Otras:** Compañías aseguradoras y reaseguradoras. Estas compañías pueden reducir su propia exposición a reclamos ocasionados por riesgos climáticos.

**Bancos e instituciones financieras.** Este tipo de instituciones pueden incluir a los derivados climáticos dentro de sus operaciones para incrementar su portafolio de clientes.

**Aerolíneas, minoristas, fabricantes.** Dependiendo del giro de la empresa, pueden cubrir las diferentes exposiciones al riesgo climático que tengan, por ejemplo, una embotelladora de refrescos puede cubrirse contra un verano poco cálido, en el cual el volumen de sus ventas se vería seriamente afectado.

En la medida que estas compañías se den cuenta de que los derivados climáticos pueden servir para cubrir sus riesgos, se realizarán más contratos y aumentará el desarrollo de nuevos productos.

#### 1.2.4. Datos de Calidad

Claves para ayudar al crecimiento del mercado son la existencia de contratos estandarizados y el mejoramiento de la calidad y costo de los datos climáticos.

En algunos países las compañías que quieren analizar sus resultados de años pasados comparándolos con datos climáticos históricos, deben comprar la información a las oficinas nacionales de meteorología a un precio muy alto e incluso en algunos países esta información no existe.

Es también importante que la calidad de los datos climáticos sea buena, de tal forma que las compañías puedan confiar en ellos a la hora de analizar la correlación que existe entre el clima y sus ingresos.

#### 1.2.5. Datos en México

En México los datos sobre clima son registrados por el Servicio Meteorológico Nacional, adscrita a:

- Comisión Nacional del Agua
- Subdirección General Técnica
- Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional
- Centro Nacional de previsión del Tiempo

En la cual se encuentran todos los datos referentes al clima de la República Mexicana, esta dependencia obtiene sus datos a través de diversos centros meteorológicos ubicados en las diversas entidades, lo cual permite datos más puntuales de cada región ya que cada entidad cuenta con mas de 50 centros meteorológicos, y en algunos de los casos se pueden encontrar datos desde hace mas de 80 años lo cual proporciona una gran base de datos, pero la desventaja que se tiene es que algunos centros funcionaron o funcionan por cierto lapso de tiempo ya sea por nuevas reubicaciones o por que simplemente cerraron los centros, por lo que no se tiene datos consecuentes de cada centro.

La base de datos con la que se cuenta, proporciona información donde se contempla lo siguiente:

- Temperatura a las 8:00 AM
- Temperatura Máxima

- Temperatura Mínima
- Lluvia
- Evaporación.
- Días con tormenta
- Días con Granizo
- Días con nieve
- Nubosidad (Despejado, Medio Nublado, Nublado)

### 1.2.6. Ventaja y Desventaja de los Derivados Climáticos

Los fondos de inversión pueden ser un gran vehículo para la expansión del mercado de los derivados climáticos, primero porque estos últimos tienen baja correlación con los productos financieros tradicionales logrando así una mayor diversificación y segundo porque dado que actualmente el mercado de derivados climáticos no es muy líquido, es necesario mantener la posición durante todo el periodo del contrato, y un fondo es un instrumento cuyo horizonte de inversión es generalmente de largo plazo.

Otro elemento importante es que en el mercado existente de derivados climáticos hay muchos compradores pero no hay suficientes contrapartes. Los fondos de inversión podrían ser la contraparte que estos compradores necesitan (pero todavía no participan).

### 1.2.7. Expansión de los Derivados Climáticos

El gran crecimiento del mercado de los derivados climáticos en Estados Unidos se ha debido principalmente a la sofisticación de la administración financiera, a la disponibilidad de datos climáticos de alta calidad (Ej. National Climate Data Center) y a las grandes variaciones climáticas que hay en las estaciones del año para la mayoría de los estados.

En Europa el crecimiento no ha sido tan rápido como en Estados Unidos debido a las pocas variaciones climáticas, al poco uso de aire acondicionado y a la falta de datos climáticos de alta calidad.

Sin embargo, existen factores que indican que es un mercado con potencial de crecimiento. Uno de estos factores es que en algunos países como Francia, la industria eléctrica no está totalmente desregulada y en otros como Inglaterra, existe mucha competencia entre proveedores de energía. En

la medida que la desregulación se lleve a cabo, el volumen de los contratos de derivados climáticos para esta industria aumentará las negociaciones en Europa. Esto mejorará la liquidez del mercado y alentará a nuevas industrias a ingresar.

En México, al igual que en muchos países, la penetración de los derivados climáticos aún no se ha dado por varias razones. Un factor es de que el sector de la electricidad, al ser un monopolio controlado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), no tiene la necesidad de cubrirse contra efectos adversos en el clima.

### 1.3. Clima en México

#### 1.3.1. El clima

El clima de México no es tan extremo como el de otros países y por lo mismo el consumo de gas o electricidad no está tan relacionado con cambios en el clima y se usa para cosas esenciales como cocinar o iluminar, a diferencia de otros países en los cuales la mayor parte de lo que se gasta en energía y el gas se destina a calefacción o aire acondicionado.

En el resto de las industrias mexicanas, la falta de consumo de derivados climáticos se debe a la carencia de una política de administración de riesgos tanto de precio como de volumen.

Las pocas compañías que sí tienen una política bien definida de administración de riesgos no conocen este tipo de coberturas debido a que todavía no están bien desarrolladas en nuestro país.

#### 1.3.2. Cobertura

Se realiza la cobertura de las siguientes características del clima:

- Temperatura
- Niveles de precipitación (lluvia o nieve)
- Velocidad del viento
- Humedad

#### 1.3.3. La Temperatura

Los derivados climáticos más comunes son los que tienen como bien subyacente a la temperatura.

Estos derivados fueron creados por y para el uso de las compañías eléctricas debido a la gran correlación que existe entre la temperatura y el consumo de electricidad. También pueden ser apropiados para cubrir los riesgos climáticos de otras compañías.

### Degree Day

Una medida común de temperatura es el *degree - day*. Un *degree-day* es la desviación que tiene la temperatura promedio diaria de la temperatura de referencia (65 F). Existen dos tipos de *degree-days*, Heating Degree Days (HDD) y Cooling Degree Days (CDD).

Dada una estación del año, sea  $T_i^{max}$  y  $T_i^{min}$  la máxima y la mínima temperatura (en grados Fahrenheit) medidas en un día  $i$ , entonces definimos la temperatura para el día  $i$  como:

$$T_i = \frac{(T_i^{max} + T_i^{min})}{2}. \quad (1.1)$$

Sea  $T_i$  la temperatura para el día  $i$ , entonces definimos el heating degree days,  $HDD_i$  y el cooling degree days,  $CDD_i$ , generados en ese día como:

$$HDD_i = \max\{65F - T_i, 0\}, \quad (1.2)$$

y

$$CDD_i = \max\{T_i - 65F, 0\}, \quad (1.3)$$

respectivamente.

La mayoría de derivados climáticos están basados en la acumulación de HDDs o CDDs durante un cierto periodo, usualmente un mes calendario o un periodo de invierno o verano.

Generalmente, el periodo HDD incluye los meses de invierno desde noviembre a marzo y el periodo de CDD es de mayo a septiembre: abril y octubre son conocidos como los meses intermedios.

#### 1.3.4. Contratos

Existen contratos usados en el mercado de riesgos climáticos, algunos son: Floors, Caps, Collars, Swaps.

Uno de los más utilizados son los Swaps: Los Swaps de clima son por lo general contratos donde dos partes acuerdan intercambiar sus riesgos. Esto producirá un flujo de efectivo más estable cuando las condiciones climáticas

sean volátiles. En términos simples, una parte acuerda pagar a la otra si el índice se sitúa por arriba de un cierto nivel mientras la otra acuerda pagar si el índice se sitúa por debajo de ese nivel.

Los Swaps por lo regular no tienen prima y proveen protección contra las adversidades del clima a cambio de *sacrificar* una parte de las ganancias de una temporada favorable.

Por ejemplo, un fabricante de trajes de baño podría comprar un swap para protegerse contra un verano *frío* a cambio de sacrificar una parte de las ganancias extras que gana durante un verano *caliente*.

### 1.3.5. Diferencia entre Derivados Financieros y Derivados Climáticos

1. Los derivados financieros usualmente son usados para cubrir riesgos en el precio, mientras que los derivados climáticos son usados para cubrir riesgos de volumen.
2. El bien subyacente de los derivados climáticos es la *madre naturaleza*, la cual está hasta cierto punto libre de manipulación: en cambio, los activos financieros pueden ser manipulados.
3. Las variables climáticas no se comercian, por lo tanto una cobertura directa para los derivados climáticos no existe, es decir, una posición sobre un derivado climático no puede ser cubierta con una posición contraria sobre el bien subyacente de dicho derivado climático. Por ejemplo, no se pueden comprar *días calientes* o *días lluviosos*.

### 1.3.6. Diferencias entre Derivados Climáticos y los Seguros

1. Los derivados climáticos cubren eventos de alta probabilidad y bajo riesgo, mientras que los seguros cubren eventos de baja probabilidad y alto riesgo. Los contratos de seguros son usualmente diseñados para proteger al tenedor de algún evento climático extremo, como por ejemplo terremotos o ciclones, y no para protegerse de alguna incertidumbre con el clima normal. Los derivados climáticos, por otra parte, pueden ser contruados para tener pagos por cualquier condición climática, por ejemplo un invierno menos frío de lo usual.
2. Los poseedores de un derivado climático no tienen que presentar una reclamación y probar los daños para recibir el pago. El tenedor de un contrato de seguro tiene que probar que ha sufrido una pérdida

- financiera debido al clima para poder ser compensado. Si no puede demostrarlo, la compañía de seguros no le paga por el daño.
3. Si un negocio quiere cubrirse en contra de algún competidor lo puede hacer a través de un derivado climático, un seguro no permitiría eso. Por ejemplo, un cosechador de naranjas en California puede comprar un derivado climático para protegerse contra un buen clima en Florida, ya que esto significaría que las cosechas en este último estado serían mejores que las de California y por lo mismo, con mayor demanda.
  4. En el mercado puede haber dos actores, uno de los cuales se beneficia si el clima es frío y otro si el clima es caliente. En el mercado de derivados estos dos actores pueden encontrarse y hacer un contrato de tal forma que ambos se cubran de sus respectivos riesgos. Esto no es posible en el mercado de los seguros.
  5. No se necesita tener algún bien sensible a cambios climáticos para comprar y beneficiarse de los derivados climáticos. Como cualquier derivado, estos contratos pueden ser comprados para especular.

#### 1.3.7. Información de una valuación de cobertura de clima

Para valuar una cobertura del clima se necesita conocer la siguiente información:

1. Tipo del clima contra el que se desea cubrir (temperatura, lluvia, nieve, velocidad del viento, etc.).
2. La estación climática (autoridad nacional e independiente).
3. Fijar el nivel al cual cada participante empieza a pagar a su contraparte (strike).
4. El pago por unidad de clima (dólares por 0.01 F, dólares por mm de lluvia, euros por HDD/CDD, etc.).
5. Temporada del año.
6. Vencimiento (es decir, una, dos o tres temporadas).
7. Tipo de contrato financiero (swap, opción, collar, etc.).



Esta información generalmente está basada en el conocimiento que tiene el comprador del derivado climático sobre la relación que existe entre las variaciones del clima y los ingresos o gastos de su negocio, ya que dicha información depende de las necesidades específicas de dicho negocio las cuales pueden variar enormemente de industria a industria.

### 1.3.8. México bajo el cambio climático

Los escenarios del cambio climático para México son muy graves, debido al propio impacto de las alteraciones climáticas, pero también a la gran vulnerabilidad social, económica y política del país. En países como México, que carecen de los recursos para enfrentar y mitigar, en lo posible, los impactos del cambio climático, este fenómeno tendrá mayores consecuencias. La gente que vive en zonas vulnerables, en viviendas precarias, en áreas con escasez de agua, con graves problemas de contaminación, o que cultiva tierras de temporal, no cuenta con seguros, carece de alimento, asistencia en salud y servicios, es decir, gran parte de la población mexicana, sufrirá en mayor grado los efectos de las alteraciones climáticas. El Estudio de País que el gobierno de México realiza para conocer sus emisiones de gases invernadero, los posibles impactos del cambio climático en territorio nacional, las medidas de mitigación y las alternativas para la reducción de emisiones, nos da una idea de lo que puede significar este fenómeno. En el estudio participan, entre otras instituciones, el Instituto Mexicano del Petróleo, el Instituto de Investigaciones Eléctricas, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y, por parte de la U.N.A.M., el Centro de Ciencias de la Atmósfera, el Programa Universitario de Energía, el Instituto de Ingeniería, el Instituto de Geografía y el Centro de Ecología.

### 1.3.9. Fondo Nacional de Desastres Nacionales en México FONDEN (antes AGROASEMEX)

Otra alternativa que existe para protegerse de los efectos del clima es el FONDEN. El Fonden tiene como objetivo atender los efectos de desastres naturales imprevisibles, cuya magnitud supere la capacidad financiera de respuesta de las dependencias y entidades federales, así como de las entidades federativas. A través del Fonden se complementan los esfuerzos realizados por el Sistema Nacional de Protección Civil, los de otras instituciones de prevención y de apoyo a damnificados, así como los de los programas normales de las dependencias y entidades federales relacionados directamente con la atención de desastres.

La SEGOB es responsable de la suscripción de convenios de colaboración con las entidades federativas, en materia de atención de desastres, así como para observar en lo conducente sus reglas.

### Objetivos

1. Apoyar a la población que pudiera verse afectada, ante la inminencia de un desastre natural que ponga en peligro la vida humana:
2. Apoyar, en forma complementaria, dentro de una determinada zona geográfica, la reparación de daños de los bienes públicos, cuyo uso o aprovechamiento no haya sido objeto de concesión, o de figuras análogas, y que en la Ley o Reglamento correspondiente no se haya especificado la obligación de aseguramiento:
3. Apoyar complementariamente el combate de incendios forestales, así como la restitución de los daños, en la medida de lo posible, ocasionados por siniestros en bosques o áreas naturales protegidas:
4. Mitigar los daños a los activos productivos y a las viviendas de la población de bajos ingresos así como compensar parcialmente sus pérdidas de ingresos, generando fuentes transitorias de ingresos:
5. Consolidar, reestructurar o, en su caso, reconstruir, los monumentos arqueológicos, artísticos e históricos considerados como tales por ley o por declaratoria:
6. Apoyar a dependencias y entidades federales para la reparación de infraestructura asegurada, en tanto éstas reciban los pagos correspondientes de los seguros, cubrir el diferencial resultante entre los reembolsos de los seguros y el costo de la restitución de las obras federales afectadas, con excepción de los deducibles; y
7. Adquirir equipo y bienes muebles especializados, y en su caso la instalación de los mismos, que permitan responder con mayor eficacia y prontitud en la eventualidad de una emergencia o desastre.

## Capítulo 2

# Descripción del Modelo

En este capítulo me abocaré a encontrar un modelo que describa a la temperatura, por medio de un proceso estocástico que sirva para la descripción de los movimientos de la temperatura.

Para desarrollar un buen modelo, se debe de contar con una base de datos con las temperaturas de Chiapas, de los últimos 58 años. Estas se encuentran computadas como temperaturas medias diarias.

Algo muy importante es que para poder ponerle precio a un derivado de temperatura, se debe de tener una idea de cómo se comporta el proceso de la temperatura.

### 2.1. Temperatura Media

Los datos graficados de la Temperatura media en la Figura 2.1, parecen variar aproximadamente entre 22.5 C y 30 C. De acuerdo a la gráfica, supongo que debe ser posible modelar la dependencia estacional, por medio de alguna función seno, la cual tendría la siguiente fórmula:

$$\sin(\omega t + \varphi), \quad (2.1)$$

donde  $t$  denota el tiempo, medido en número de días. Se denota que  $t = 1, 2, \dots$ , esto denota el 1 de Enero, 2 de Enero, y así sucesivamente. Además, se sabe que el periodo de oscilaciones es de 1 año (descuidando años de salto) así se tiene que  $\omega = 2\pi/365$ . Se conoce que el mínimo anual y las temperaturas medias máximas normalmente no ocurren al 1 de Enero y el 1 de Julio respectivamente, por lo cual se introduce  $\varphi$ .

Asumiendo lo de arriba, un modelo determinístico para la temperatura media al tiempo  $t$ ,  $T_t^m$ , tendría la fórmula:

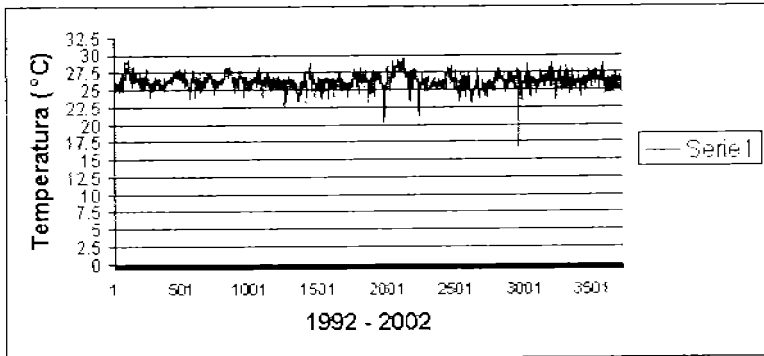


Figura 2.1: Temperatura media de la estación meteorológica de Cacahoatan durante 10 años

$$T_t^m = A + Bt - C \sin(\omega t - \varphi), \quad (2.2)$$

donde los parámetros  $A, B, C$  y  $\varphi$  tienen que ser escogidos para que la curva encaje bien en los datos. La estimación de estos parámetros se da en la sección 2.3.

Las temperaturas, desgraciadamente no son determinísticas. Entonces, para obtener un modelo realista, se debe agregar una clase de ruido al modelo determinístico (2.2). Una opción sería por medio de un proceso estandar de Wiener,  $(W_t, t \geq 0)$ .

Observando las series de datos que se tienen se revela que la variación cuadrática de la temperatura varía durante los diferentes meses del año, pero constante dentro de cada mes. Por consiguiente, se hace la deducción de que  $\sigma_t$  es un piecewise de la función constante, con un valor constante durante cada mes. Especificando a  $\sigma_t$  como:

$$\sigma_t = \{\sigma_1 \text{ durante Enero}, \sigma_2 \text{ durante Febrero}, \dots, \sigma_{12} \text{ durante Diciembre}\} \quad (2.3)$$

donde  $\{\sigma_i\}_{i=1}^{12}$  son constantes positivas. Así el ruido de tendencia de la temperatura sería  $(\sigma, W_t, t \geq 0)$ .

## 2.2. La Reversión de la Media

Se sabe que la temperatura no puede subir día tras día durante mucho tiempo. Por lo tanto se debe de agregar al proceso estocástico que describe la temperatura vista, una propiedad de media de reversión. Para que así se desvíase de su valor medio por los periodos más cortos de tiempo.

Reuniendo todas las deducciones, se modela la temperatura por medio de una solución del proceso estocástico de la siguiente SDE.

$$dT_t = a(T_t^m - T_t)dt + \sigma_t dW_t, \quad (2.4)$$

donde  $a \in \mathbb{R}$  y determina la velocidad de la media de Reversión. La solución de tal ecuación es usualmente llamada un proceso de Ornstein-Uhlenbeck.

Lo que observamos en la ec.(3.3) es que no esta revirtiendo a  $T_t^m$ , para obtener un proceso que realmente revierta a  $T_t^m$  se debe de agregar el término:

$$\frac{dT_t^m}{dt} = B + wC \cos(wt - \varphi) \quad (2.5)$$

Cuando la temperatura media  $T_t^m$  no es constante, este término ajustara la tendencia para la solución de SDE tenga la carrera larga de la media  $T_t^m$ .

Empezando a:  $T_t = \pi$  se obtiene el siguiente modelo para la temperatura

$$dT_t = \left\{ \frac{dT_t^m}{dt} + a(T_t^m - T_t) \right\} dt - \sigma_t dW_t, t \leq s \quad (2.6)$$

cuya solución es

$$T_t^m = A + Bt + C \sin(wt + \varphi) \quad (2.7)$$

## 2.3. La Estimación del Parametro

En esta sección se estimarán los parametros desconocidos A, B, C,  $\varphi$ , a y  $\sigma$ .

### 2.3.1. Ajustando el modelo de Temperatura Media a los datos

Para encontrar los valores numéricos de las constantes en (2.7) se ajustará la función

$$Y_t = a_1 + a_2 t + a_3 \sin(wt) + a_4 \cos(wt). \quad (2.8)$$

a los datos de temperatura usando el método de mínimos cuadrados. Esto significa que se tiene que encontrar el parámetro  $\xi = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$  que resuelve:

$$\min_{\xi} = \|Y - X\|^2, \quad (2.9)$$

donde  $Y$  es el vector con los elementos de (2.8) y  $X$  es el vector de las constantes de los datos en el modelo (2.9) los cuales se obtienen por:

$$A = a_1 \quad (2.10)$$

$$B = a_2 \quad (2.11)$$

$$C = \sqrt{a_3^2 + a_4^2} \quad (2.12)$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{a_4}{a_3}\right) - \pi \quad (2.13)$$

### 2.3.2. Estimación de $\sigma$

En esta sección se derivará un estimador fiable de  $\sigma$  de los datos.

Para esto se derivarán 2 estimadores de  $\sigma$  de datos coleccionados durante cada mes. Dado un mes específico  $\mu$  de  $N_\mu$  días, denotando los resultados de las temperaturas observadas durante el mes  $\mu$  por  $T_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, N_\mu$ .

El primer estimador es basado en la variación cuadrática de  $T_j$

$$\hat{\sigma}_\mu^2 = \frac{1}{N_\mu} \sum_{j=0}^{N_\mu-1} (T_{j+1} - T_j)^2. \quad (2.14)$$

El segundo estimador se deriva de la discretización de (3.5) y pensando en la ecuación de discretizada como una ecuación de regresión. De hecho, la ecuación discretizada, durante un mes dado  $\mu$ , es:

$$T_j = T_{j-1}^m - T_{j-1}^m + aT_{j-1}^m + (1-a)T_{j-1} + \sigma_\mu \varepsilon_{j-1}, \quad (2.15)$$

donde  $\{\varepsilon\}_{j=1}^{N_\mu}$  es una variable aleatoria independiente de una distribución normal estandar. Con  $\tilde{T}_j \equiv T_j - (T_j^m - T_{j-1}^m)$  se puede la ec. (2.15) como:

$$\tilde{T}_j = aT_{j-1}^m + (1-a)T_{j-1} + \sigma_\mu \varepsilon_{j-1}, \quad (2.16)$$

que puede interpretarse como una regresión de la temperatura de hoy por la temperatura de ayer. Así un buen estimador de  $\sigma$  es (vea por ejemplo Brockwell & Davis [a]).

$$\hat{\sigma}_\mu^2 = \frac{1}{N_u - 2} \sum_{j=1}^{N_u} (\tilde{T}_j - \hat{a}T_{j-1} - (1 - \hat{a})T_{j-1})^2. \quad (2.17)$$

aquí se necesita encontrar un estimador de  $\alpha$  para obtener el estimador de  $\sigma_\mu$ .

### 2.3.3. Estimación de la media de reversión del parámetro $\alpha$

Desde el tiempo entre las observaciones de la temperatura (un día) se limita obviamente fuera del cero, es apropiado estimar la media de reversión del parámetro  $\alpha$  que usa la estimación de la función martingala método sugerido en Bibby & Sorensen; basado en observaciones coleccionadas durante  $n$  días, y un eficaz estimador  $\hat{\alpha}_n$ , de  $\alpha$  se obtiene como un cero de la ecuación.

$$G_n(\hat{\alpha}_n) = 0 \quad (2.18)$$

donde

$$G_n(\alpha) = \sum_{i=1}^n \frac{b(T_{i-1}; \alpha)}{\sigma_{i-1}^2} \{T_i - E[T_i | T_{i-1}]\}, \quad (2.19)$$

y  $b(T_i; \alpha)$  denota w.r.t. derivativo de  $\alpha$  del término de la tendencia

$$b(T_i; \alpha) = \frac{dT_i^m}{dt} + \alpha(T_i^m - T_i), \quad (2.20)$$

para resolver (2.18) sólo se tiene que determinar cada uno de los términos de  $E\{T_i | T_{i-1}\}$  en (2.19). De hecho, para  $t \geq s$  en:

$$T_t = (T_s - T_s^m)e^{-\alpha(t-s)} - T_t^m + \int_s^t e^{-\alpha(t-\tau)} \sigma_t dW_t. \quad (2.21)$$

con rendimientos

$$E\{T_i | T_{i-1}\} = (T_{i-1} - T_{i-1}^m)e^{-\alpha} + T_i^m, \quad (2.22)$$

donde,

$$T_i^m = A + Bt + C \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.23)$$

por consiguiente

$$G_n(\alpha) = \sum_{i=1}^n \frac{T_{i-1}^m - T_{i-1}}{\sigma_{i-1}^2} \{T_i - (T_{i-1} - T_{i-1}^m)e^{-\alpha} - T_i^m\}. \quad (2.24)$$

para esto, se verifica que:

$$\hat{\alpha}_n = -\log\left(\frac{\sum_{i=1}^n Y_{i-1} \{T_i - T_i^m\}}{\sum_{i=1}^n Y_{i-1} \{T_{i-1} - T_i^m\}}\right), \quad (2.25)$$

es el único cero de la Ec. (2.18), donde

$$Y_{i-1} = \frac{T_{i-1}^m - T_{i-1}}{\sigma_{i-1}^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.26)$$

insertando los valores numéricos en (2.14) y (2.17) se consiguen las estimaciones de  $\sigma$  durante los diferentes meses.

## 2.4. Obteniendo el Precio del Derivado de Clima

El mercado para los derivados de Clima es un ejemplo típico de un mercado incompleto, porque la variable subyacente, la temperatura, no es comerciable. Por consiguiente se tiene que considerar el precio de mercado de riesgo  $\lambda$  para obtener los únicos precios para los contratos. No hay todavía subsecuentemente un mercado real del cual se pueda obtener los precios, se asume para la simplicidad que el precio de mercado de riesgo es constante. Además, se asume, que se da el recurso libre a un riesgo con la tasa de interés constante  $r$  y un contrato que para cada grado Celsius paga a una unidad de dinero. Así, bajo una medida de la martingala  $Q$ , caracterizado por el precio de mercado de riesgo, el proceso del precio denotado por  $T_t$  satisface las siguientes dinámicas:

$$dT_t = \left\{ \frac{dT_t^m}{dt} + a(T_t^m - T_t) - \lambda \sigma_t \right\} dt - \sigma_t dV_t, \quad (2.27)$$

Donde  $(V_t, t \geq 0)$  es un proceso de Q-Wiener. El precio de un derivado se expresa como un valor esperado descontado bajo la medida de la martingala  $Q$ , se empieza computando el valor esperado y la varianza de  $T_t$  bajo la medida  $Q$ . De hecho, como una transformación de Girsanov sólo cambia el término de la tendencia, la varianza de  $T_t$  es la misma bajo ambas medidas. Por consiguiente:

$$Var[T_t | \mathcal{F}_s] = \int_s^t \sigma_u^2 e^{-2\lambda(t-u)} du \quad (2.28)$$

es más, sigue del formulario (2.8) que

$$E^P[T_t | \mathcal{F}_s] = (T_s - T_s^m) e^{-\lambda(t-s)} + T_t^m \quad (2.29)$$



además se debe tener

$$E^Q[T_i | \mathcal{F}_s] = E^P[T_i | \mathcal{F}_s] - \int_s^t \lambda \sigma_u e^{-a(t-u)} du \quad (2.30)$$

evaluando las integrales en uno de los intervalos dónde  $\sigma$  es constante, se consigue que

$$E^Q[T_i | \mathcal{F}_s] = E^P[T_i | \mathcal{F}_s] - \frac{\lambda \sigma_i}{a} (1 - e^{-a(t-s)}) \quad (2.31)$$

y la varianza es

$$\text{Var}[T_i | \mathcal{F}_s] = \frac{\sigma_i^2}{2a} (1 - e^{-2a(t-s)}) \quad (2.32)$$

para el uso más tarde se necesitará computar la covarianza de la temperatura entre dos días. De hecho, para  $0 \leq s \leq t \leq u$ ,

$$\text{Cor}[T_i, T_u | \mathcal{F}_s] = e^{-a(u-t)} \text{Var}[T_i | \mathcal{F}_s] \quad (2.33)$$

Suponga ahora que  $t_i$  y  $t_u$  denoten el primer y último día de un mes y empiezan el proceso en algún momento  $s$  del mes antes  $[t_i, t_u]$ . Para computar el valor esperado y varianza de  $T_i$  en este caso, se separan las integrales en (2.30) y (2.28) en dos integrales dónde  $\sigma$  es constante en cada uno de ellas. Se obtiene después:

$$E^Q[T_i | \mathcal{F}_s] = E^P[T_i | \mathcal{F}_s] - \frac{\lambda}{a} (\sigma_i - \sigma_j) e^{-a(t-t_i)} - \frac{\lambda \sigma_i}{a} e^{-a(t-s)} - \frac{\lambda \sigma_j}{a} \quad (2.34)$$

y la varianza es

$$\text{Var}[T_i | \mathcal{F}_s] = \frac{1}{2a} (\sigma_i^2 - \sigma_j^2) e^{-2a(t-t_i)} - \frac{\sigma_i^2}{2a} e^{-2a(t-s)} - \frac{\sigma_j^2}{2a} \quad (2.35)$$

#### 2.4.1. Dándole precio a una opción de día caluroso

Como se menciono anteriormente, la mayoría de los derivados de Clima que involucran la temperatura esta basado en días calurosos o los días fríos. En esta sección se mostrará cómo preciar una opción de día de grado caluroso normal.

Se empezará con la opción de compra de *HDD*. La opción de pago y la opción de compra de *HDD* es de la forma

$$[X] = \alpha \max\{H_n - K, 0\}. \quad (2.36)$$

donde, para simplicidad  $\alpha = 1$  unidad de ocurrencia /HDD y

$$H_n = \sum_{i=1}^n \max\{18 - T_i, 0\}. \quad (2.37)$$

El contrato (2.36) es un tipo de resultado aritmético de una Opción Asiática. En el caso de un proceso subyacente se distribuía como una Log-normal, ninguna fórmula analítica exacta se tiene para el precio de una opción que es conocida. Aquí se tiene un proceso subyacente que es normalmente distribuido, pero la función máxima complica la tarea para encontrar una fórmula del precio. Se intenta hacer alguna clase de aproximación por consiguiente. Se sabe que, bajo  $Q$ , y dado la información en momento  $s$ ,

$$T_i \sim N(\mu_i, \sigma_i). \quad (2.38)$$

donde el  $\mu_i$  se da por (2.34) y  $\sigma_i$  por (2.35). Ahora se supone que se quiere encontrar el precio de un contrato cuyo pago depende de la acumulación de HDDs durante algún período en el invierno, por ejemplo el mes de enero. En Chiapas, la probabilidad que el  $\max\{18 - T_i, 0\} = 0$  deben ser sumamente pequeños en un día invernal. Por consiguiente, para un contrato se puede escribir:

$$H_n = 18n - \sum_{i=1}^n T_{ii} \quad (2.39)$$

La distribución de esto es más fácil determinar. Se sabe que el  $T_i = 1, \dots, n$  son todas muestras de un proceso de Ornstein-Uhlenbeck que es un proceso de Gaussiano. Esto también significa que el vector  $(T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{in})$  es Gaussiano. Desde la suma en (2.39) es una combinación lineal de los elementos en este vector,  $H_n$  también es Gaussiano. Con esta nueva estructura de  $H_n$  permanece sólo computar el primer y segundo momento. Se tiene, para el  $t < t_1$ ,

$$E^Q[H_n | \mathcal{F}_t] = E^Q[18n - \sum_{i=1}^n T_i | \mathcal{F}_t] = 18n - \sum_{i=1}^n E^Q[T_i | \mathcal{F}_t] \quad (2.40)$$

$$\text{Var}[H_n | \mathcal{F}_t] = \sum_{i=1}^n \text{Var}[T_i | \mathcal{F}_t] - 2 \sum_{i < j} \text{Cor}[T_i, T_j | \mathcal{F}_t]. \quad (2.41)$$

Ahora, se supone que se han hecho los cálculos de arriba, y se encuentra que

$$E^Q[H_n | \mathcal{F}_t] = \mu_n \quad \text{y} \quad \text{Var}[H_n | \mathcal{F}_t] = \sigma_n^2. \quad (2.42)$$

Así,  $H_n$ , está distribuida como una  $N(\mu_n, \sigma_n)$ . De hecho, el precio al  $t \leq t_1$  de la demanda (3.36) es

$$\begin{aligned} c(t) &= e^{-r(t_n-t)} E^Q[\max\{H_n - K, 0\} | \mathcal{F}_t] = e^{-r(t_n-t)} \int_K^\infty (x - K) \mathcal{F}H_n(x) dx \\ &= e^{-r(t_n-t)} [(\mu_n - K)\phi(-\alpha_n) - \frac{\sigma_n}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\alpha_n^2}{2}}] \end{aligned} \quad (2.43)$$

donde  $\alpha_n = (K - \mu_n)/\sigma_n$  y  $\phi$  denota la función de distribución acumulativa de una distribución normal estandar.

De la misma manera se puede derivar una fórmula para el precio de una opción de venta de HDD que es de la demanda

$$y = \max\{K - H_n, 0\} \quad (2.44)$$

El precio es

$$\begin{aligned} p(t) &= e^{-r(t_n-t)} E^Q[\max\{K - H_n, 0\} | \mathcal{F}_t] = e^{-r(t_n-t)} \int_0^K (K - x) \mathcal{F}H_n(x) dx \\ &= e^{-r(t_n-t)} [(K - \mu_n)(\phi(-\alpha_n) - \phi(-\frac{\mu_n}{\sigma_n})) + \frac{\sigma_n}{\sqrt{2\pi}} (e^{-\frac{\alpha_n^2}{2}} - e^{-\frac{1}{2}(\frac{\mu_n}{\sigma_n})^2})] \end{aligned} \quad (2.45)$$

Las fórmulas (2.43) y (2.45) sobre el sostenimiento principalmente para los contratos durante meses invernales, que típicamente del período de Noviembre-Marzo. Durante el verano no se pueden usar estas fórmulas sin restricciones. Si las medias de las temperaturas están muy cercanas de 18C, o superior, ya no se tiene el máximo  $\{18 - T_i, 0\} \neq 0$ . Para algunos contratos se podría usar el método de simulación de Monte Carlo. Como mencionado este nivel de la referencia antes (18C) originado del mercado americano, pero parece también ser usado en Europa. Quizás podría ser más interesante basar los derivados en algún nivel de referencia que es más íntimo a la temperatura media esperada para el período.

### 2.4.2. Pagos Máximos

En la práctica muchas opciones tienen a menudo un tope en el pago máximo. La razón es reducir los riesgos que las condiciones de tiempo extremas causarían. Una opción con un pago máximo podría construirse de dos opciones sin los pagos máximos. Si me baso en una larga posición en una opción y una corta posición en otra opción con un valor máximo superior. Así, una opción con un pago máximo puede tratarse como una carpeta de dos opciones normales. Esto significa que se tiene que derivar una fórmula explícita para el precio de la opción de la carpeta.

### 2.4.3. La valoración en período

Generalmente se busca encontrar el precio de la opción dentro del período del contrato. Suponga que se quiere encontrar el precio a un tiempo  $t_i$ ,  $t_i \leq t_i \leq t_n$ . Se podría volver a escribir la variable  $H_n$  como:

$$H_n = H_i - H_j \quad (2.46)$$

Aquí  $H_i$  está conocido como  $t_i$  y  $H_j$  es estocástico. El pago de la opción de compra de HDD puede volverse a escribir entonces como

$$\mathcal{X} = \max\{H_n - K, 0\} = \max\{H_i + H_j - K, 0\} = \max\{H_j - \tilde{K}, 0\} \quad (2.47)$$

Donde  $\tilde{K} = K - H_i$ . Una opción dentro del período puede valorarse como una opción del fuera del período con variables transformadas como arriba.

## Capítulo 3

# Ejemplo de un Derivado de Temperatura

En esta sección se calculará el precio una *call* que cubra al contratante contra los aumentos importantes de la temperatura durante los 31 días del mes de Diciembre en el Estado de Chiapas, en especial para la región ubicada cerca de la estación meteorológica de Cacahoatan.

### 3.1. Valor de las sigmas

De acuerdo a la fórmula de regresión (2.8), se introdujeron los datos obtenidos de 58 años a la fecha de las temperaturas medias de la estación meteorológica de Cacahoatan, en el estado de Chiapas, para así obtener los valores de las constantes  $A$ ,  $B$ ,  $C$  y  $\varphi$  las cuales se describen en las ecuaciones (2.10), (2.11), (2.12) y (2.13) respectivamente.

Insertando los valores en la ec.(2.2) se obtiene lo siguiente:

$$T_t^m = 24.913 + 9.811 \cdot 10^{-5}t + .4075 \sin\left(\frac{2\pi}{365}t - 3.277\right). \quad (3.1)$$

Ahora se tiene que saber los valores de los 2 estimadores del modelo, para cada mes del año. Esto se realizará, substituyendo los datos que se tienen de las ecuaciones (2.14) y (2.17). Se necesitan más de 1 estimador para el calculo de una opción solo cuando sus días de cobertura cubran más de 1 mes del año.

La siguiente tabla presenta los estimadores de  $\sigma$ , basados en la variación cuadrática y la regresión.

Valores de las Sigmas		
Mes	1ra. Sigma	2da. Sigma
Enero	0.8711	.08421
Febrero	0.9658	0.928
Marzo	0.8924	0.8809
Abril	0.8685	0.8578
Mayo	0.8857	0.8605
Junio	0.9622	0.92
Julio	0.9134	0.886
Agosto	0.9926	0.9558
Septiembre	1.1836	1.0844
Octubre	0.9657	0.9213
Noviembre	0.8731	0.8449
Diciembre	0.8131	0.7927

### 3.2. Precio de una *call* del mes de Diciembre

Uno de los datos que se necesitan para dar el precio de la *call* es pactar con el contrataute cuanto dinero se le dara por cada grado centigrado que la temperatura aumente en los 31 dias cubiertos sobre la temperatura máxima pactada en el contrato. Se dio un valor inventado para este calculo, el cual es de \$100 por cada grado centigrado que la temperatura aumente de la temperatura máxima pactada.

Para el calculo de la *call* se tomará el valor de la 1ra. Sigma de Diciembre y se sustituirá junto con los demas calculos obtenidos de las ecuaciones (1.1),(2.25) y (3.1) en la ecuación (2.43), para asi obtener el precio de la *call*.

Y el resultado fue el siguiente:

$$call = 2.732$$

Este resultado dice que el contratante va a pagar \$2.732 por la cobertura de los 31 dias del mes de Diciembre a cambio de que por cada grado centigrado que suba la temperatura con respecto a la temperatura máxima estipulada se le pague \$100.

Con esto se construyo una opción de día calurosa para el estado de Chiapas y en especial para la zona que se encuentra alrededor de la estación meteorológica de Cacahotan.

Para este tipo de contratos, el contratante no tiene la obligación de demostrales con pruebas físicas los daños que le ocurrieron a lo que se aseguro.

Esto es una de las grandes diferencias que se tienen con respecto a los seguros que otorgan las Compañías Aseguradoras, ya que estas piden pruebas físicas de los daños ocurridos, y el pago de estos daños solo se hace una vez. En cambio con la opción que propongo, el contratante puede reclamar el pago estipulado con solo demostrar por medio de datos meteorológicos que la temperatura subió al menos un grado centígrado sobre la temperatura máxima estipulada y este pago se realizará cada vez que la temperatura suba uno ó más grados centígrados sobre la temperatura máxima estipulada en el contrato.

## Capítulo 4

# Conclusión

El modelo de temperatura usado aquí es una simplificación del mundo real, aunque parece encajar bien los datos de temperatura obtenidos del Estado de Chiapas. Una manera de hacer más realista y mejor el modelo de temperatura desarrollado aquí, podría ser usando un modelo más sofisticado para el proceso del ruido de tendencia. Uno podría estudiar las series históricas de los datos e intentar encontrar algún modelo de cómo la volatilidad está cambiando, quizás un modelo que incluya la volatilidad estocástica sería más realista.

Para realizar un mejor modelo para la temperatura uno debe considerar a los modelos más grandes del clima en que la temperatura es sólo una de varias variables diferentes. Con el desarrollo de modelos buenos del clima como mejor captación de las temperaturas y bases de datos históricos del comportamiento de la Temperatura completas de 60 años a la fecha actual, aunado con mejores computadoras, los expertos podrán probablemente hacer mejores contratos y poder hacer contratos con mayor tiempo de cobertura con lo cual podría darle mayor atractividad a los diferentes contratantes potenciales a los cuales les afecte directa o indirectamente los cambios de Temperatura.

La emergencia de nuevos índices de tiempo e instrumentos agregará más allá la liquidez y flexibilidad de los derivados climáticos se comercialicen para el beneficio de muchas industrias que en la actualidad, no pueden escapar a ninguna exposición de las fluctuaciones del Clima grandes, tales como la lluvia, la nieve etc.



# Bibliografía

- [1] Arditti, F. L. *Weather to Hedge*. Supplement on Weather Risk. 1999. pp. 9-12.
- [2] Basawa, I. V. & Prasaka Rao, B. L. S. *Statistical Inference for Stochastic Processes*. Academic Press. 1980.
- [3] Baxter, M. & Rennie, A. *Financial Calculus*. Cambridge University Press. 1998.
- [4] Considine, G. *Introduction to Weather Derivatives*. Weather Derivatives Group. Aquila Energy.
- [5] Craig, Pirrong *Valuing Power and Weather Derivatives on a Mesh Using Finite Difference Methods*. Olin School of Business. June 24 1999.
- [6] German, H. *CAT Calls*. RISK. September 1994. pp. 86-89.
- [7] Harriet, B. N. & Mehmet A. *A real Options Design for Product Outsourcing*. Winter Simulation Conference. 2001.
- [8] Joskow, P. *Electricity Sectors in Transition*. The Energy Journal. 19 (1998). pp. 25-52.
- [9] Mark Garman & Carlos Blanco & Robert Erickson. *Weather Derivatives: Instruments and Pricing Issues*. Financial Engineering Associates, 2000.
- [10] Melanie, C. & Jason W. *Equilibrium Valuation of Weather Derivatives*. Schulich School of Business. May 2002.