



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLÁN**

**VALUACIÓN DE UN DERIVADO
DE LLUVIA**

T E S I S I N A
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
L I C E N C I A D O E N A C T U A R Í A
P R E S E N T A
P É R E Z A B E A C A M A R E N A E F R A I M

ASESOR: DR. LUIS ALEJANDRO TAVERA PÉREZ

OCTUBRE 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a mis padres, hermanos, amigos y familiares, quienes con su apoyo y comprensión me han acompañado a la culminación de mi etapa formativa a nivel profesional, haciendo que este logro personal sea por, y para ellos.

Asimismo, agradezco especialmente a mi director de tesina, el Dr. Luis Alejandro Tavera Pérez, quien con su paciencia y conocimiento, me oriento ante las inquietudes y dificultades en la realización del presente trabajo de investigación.

A los profesores: Juan Carlos Luna Díaz, Andrés Arellano Aguilar, Alberto Sánchez Aldana, Robert Hernández Martínez, por sus servicios y atenciones que prestaron en la revisión y enriquecimiento de ideas de este trabajo.

De igual manera a la Universidad Nacional Autónoma de México y en particular a la plantilla de profesores de la carrera de Actuaría en Facultad de Estudios Superiores Acatlán, quienes han contribuido a que la finalización de este proyecto sea el fruto de mis conocimientos adquiridos por su gran dedicación en la docencia profesional.

“Tiempo es lo que se tiene, mientras que clima es lo que se espera y el estado del tiempo es lo que recibes...”
Ed Lorenz

“Las políticas de cambio climático no pueden ser adornos en la tarta del desarrollo; deben ser parte integral de la receta para el crecimiento y el desarrollo social”
Robert Zoellick

“La habilidad para enfrentarse a la variabilidad del clima y adaptarse al cambio climático está determinada por la capacidad de coordinar acciones entre sociedad y gobierno...”
R. Landa

INDICE

INTRODUCCIÓN	<i>I</i>
---------------------	----------

CAPÍTULO 1.

DERIVADOS CLIMÁTICOS

1.1 Importancia	1
1.2 Información sobre Tabasco y su entorno climático	3
1.3 Historia de los Derivados Climáticos	7
1.4 Obtención de Datos	8
1.5 Derivado Climático	10
1.6 Usos del Derivado Climático	12
1.7 Diferencias entre el Derivado Tradicional y el Derivado Climático	12
1.8 Protocolo de Kioto	13
1.9 Ejemplo de Derivado Climático	15

CAPÍTULO 2.

MODELO DE LLUVIA

2.1 Ocurrencia de día (seco-lluvioso)	17
2.2 Cantidad de Lluvia	20
2.3 Algunas Funciones para precio de Opciones	23

CAPÍTULO 3.

CÁLCULO DEL PRECIO DE DERIVADOS

3.1 Algunas Consideraciones	25
3.2 Hipótesis de la Formula Black & Scholes	25
3.3 Deducción de la formula Black & Scholes para la opción de compra (Call)	26
3.4 Deducción de la formula de Black & Scholes para la opción de venta (Put)	31
3.5 Formulación de las Funciones de Pago en el caso de Lluvia	32

3.6 Resultados del Modelo en Tabasco	33
3.7 Simulación	34
CONCLUSIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	39

RESUMEN.

Para el desarrollo del trabajo en el capítulo primero se proporcionará la historia de los Derivados Climáticos, así como su definición, características, usos, y las diferencias esenciales entre los derivados tradicionales y los derivados climáticos. En el capítulo segundo se buscará un modelo para la medición y pronóstico de lluvia, y finalmente en el capítulo tercero, a partir del modelo encontrado se realizará su desarrollo para el cálculo de precios de una Call aplicado en el estado de Tabasco, y se finaliza con una simulación.

Palabras clave: Clima, Opciones, Derivados, Modelo de Black&Scholes.

INTRODUCCIÓN.

El Clima siempre ha jugado un papel importante del desarrollo humano. En el ámbito económico afecta a muchas actividades, entre ellas al sector primario (agricultura, ganadería, etc....), el sector de transportes, entre otros.

La hidrología de una región depende fuertemente de su clima, sin embargo, el deterioro que este ha venido sufriendo este a lo largo de los años debido a las actividades humanas, ha creado impactos ambientales que pueden provocar riesgo para la sociedad.

El cambio que se ha generado en el fenómeno de lluvia no solo representa un riesgo y cobra gran importancia en las regiones cercanas a las costas de un país, también representa un factor de riesgo para las compañías que se encuentran en las áreas céntricas, como ejemplo tenemos a la ciudad de México, donde a causa de lluvias torrenciales se han tenido que suspender actividades en aerolíneas, empresas transportistas, causado deslaves en áreas que afectan directamente las viviendas, inundaciones en almacenes que propician la pérdida de mercancía, etc.

Es por esto que será de gran importancia poder construir un derivado climático, y en particular una opción climática, que si bien no sirve para disminuir las causas de que cada vez haya más catástrofes naturales, puede ayudar a la recuperación económica sufrida por estas.

Para establecer que son los derivados climáticos, partiremos de los derivados financieros, donde estos son contratos que sirven para realizar la compraventa de instrumentos financieros tales como divisas, tasas de interés, acciones, etc.... Como su nombre lo indica el precio o cotización de un derivado financiero depende del instrumento financiero al que se encuentra ligado, a este último también se le suele llamar subyacente.

La principal función de los derivados financieros, es servir como una cobertura ante las fluctuaciones del precio de los subyacentes, así estos instrumentos, contribuyen tanto a la liquidez como a la estabilidad de los mercados financieros.

Ahora bien, la diferencia fundamental entre los derivados climáticos y los derivados financieros, radica en la variable subyacente que determina los pagos de estos instrumentos. Los derivados climáticos están basados en la evolución de la variable climática asociada (temperatura, lluvia, nieve, etc....) durante un periodo de tiempo determinado.

Similarmente a los derivados financieros, los derivados climáticos sirven como cobertura ante temporadas atípicas de la variable climática.

Algunas otras diferencias entre los derivados climáticos y los Financieros son:

- 1) En cuanto a la transparencia de los derivados, podemos decir que, los derivados financieros se encuentran estandarizados por el mercado donde cotizan. Mientras que los derivados climáticos no se encuentran estandarizados, debido a que los términos de este se forman de mutuo acuerdo entre las partes interesadas.
- 2) El mercado de referencia en los derivados financieros esta basado en el mercado de futuros donde cotiza el contrato, mientras que los derivados climáticos, están basados mediante una estación meteorológica que es acordada por ambas partes en base a la cual se generan las mediciones, con las cuales se llevaran a cabo los cálculos.
- 3) El valor de los derivados financieros esta basado en el precio de contrato subyacente distinguiendo la posición en la que se encuentra, a diferencia de que en el climático, donde su precio está basado en el valor esperado de la variable climática protegida durante la vigencia del contrato, en particular el valor esperado de una variable climática se equipara al de una variable financiera.
- 4) La garantía de la operación en el caso de los derivados financieros está basada en el mercado de referencia donde cotiza el derivado financiero, mientras que el derivado climático, la garantía esta dada básicamente por la seguridad que presenten ambas partes.

También es de suma importancia señalar la existencia de los seguros climáticos, donde estos al igual que los derivados climáticos, están diseñados para la cobertura de riesgos climáticos específicos. Sin embargo, los seguros se venden en unidades estándar, con un contrato estándar por cada unidad adquirida. La prima es la misma para todos los compradores que adquieran un contrato en una zona determinada, y todos los compradores reciben la misma indemnización si se produce el evento asegurado.¹ También cabe señalar que el seguro climático solo proporciona cobertura a eventos de tipo catastrófico, lo que puede ocasionar que este tipo de cobertura no sea tan llamativa para aquellos que no necesariamente necesitan sufrir un evento de grandes magnitudes para tener pérdidas en su ingreso o producción.

Los derivados climáticos a diferencia del seguro climático, es que estos pueden cubrir eventos mas convencionales, por lo que son contratos “hechos a la medida”, esto significa que cada uno de los participantes puede decidir cuanto riesgo esta dispuesto a soportar. De aquí que los derivados climáticos son un buen instrumento para cubrir los riesgos de alta probabilidad y bajo impacto.

Debido a que en el seguro climático y en cualquier tipo de seguro, la suma asegurada no puede superar el costo del bien asegurado, de lo contrario el asegurado estaría actuando de mala fe, es recomendable contratar el seguro,

¹ MILLER .STUART, KEIPI KARI. 2006, “Estrategias e instrumentos financieros para la gestión del riesgo de desastres en América Latina y el Caribe”. Pág. 17.

cuando la pérdida potencial a la que se está expuesto supere la suma asegurada establecida en el contrato.

El problema con la cobertura financiera de los eventos climáticos y en particular de la lluvia, es que aunque se tienen una base de datos establecida que nos permite conocer en que época del año estas son más frecuentes, restándole especulación al instrumento, los modelos que generan los pronósticos actuales y que permiten medir la intensidad del evento no son lo suficientemente precisos, lo que nos lleva a buscar un instrumento financiero para ayudarnos a disminuir o eliminar potenciales pérdidas económicas.

Es por esto que el objetivo primordial de este trabajo es que mediante un modelo de pronóstico de lluvia podamos llevar a cabo la valuación de una opción climática de lluvia, utilizando la valuación neutral al riesgo, con la intención de poder atenuar las pérdidas a causa de este fenómeno.

Con esto el beneficio social que se busca es establecer una alternativa que ayude a mitigar el impacto monetario en distintos sectores económicos, generado por eventos de precipitaciones pluviales anómalas.

Para esto en el primer capítulo se mencionará la importancia del riesgo climático, el impacto que genera tomando como referencia al estado de Tabasco; también se proporcionará la historia de los derivados climáticos; su definición, características y algunos de sus usos entre otras cosas

Para el estudio que nos compete, algunos de los comportamientos más significativos de la lluvia que deben de ser objeto de estudio son aquellos relativos a conocer los periodos secos y lluviosos, época de aparición, frecuencia, duración, intensidad, etc.

Para el estudio de la severidad ocasionada por la lluvia, es decir cuanto llueve diariamente, se han establecido modelos basados en una estructura estocástica del proceso. Estos modelos lo que buscan es describir la ocurrencia de la precipitación y la distribución de lluvia en un momento específico.

Como es de esperarse la lluvia ocurre en un tiempo continuo lo que nos lleva a pensar que se puede conseguir una mejor descripción del fenómeno con este tipo de modelado, sin embargo es frecuente tratar la información de una manera discreta con el objetivo de que esta sea más manejable.

Es por esto que el objetivo esencial del segundo capítulo es buscar un modelo que nos ayude a la medición y pronóstico de lluvia, y finalmente en el capítulo tercero, a partir del modelo encontrado se realizará su desarrollo para el cálculo de precios de una opción climática aplicado en el estado de Tabasco.

CAPÍTULO I

DERIVADOS CLIMATICOS

En este capítulo se verá el impacto que tiene el clima en la sociedad, así como algunas de las consecuencias en México, posteriormente se expondrá a Tabasco (debido a que este es el Estado del cual se recolectaron los datos para la aplicación del modelo), con este fin, se dará su ubicación geográfica, como se encuentra dividido municipalmente, sus principales actividades para allegarse de recursos, así como los daños que sufrió a causa de una inundación atípica en el año 2007.

También se mostrará un poco de la historia de los derivados climáticos, donde se menciona que de cierta forma existen desde el periodo (625-547 A.c.). Así mismo será de suma importancia mencionar de qué instituciones se podrán obtener los datos necesarios, así como algunas consideraciones que se deben de tomar en cuenta para ello.

Posteriormente se indicaran algunos usos de los derivados climáticos, así como algunas diferencias con los derivados convencionales, y se finalizará el capítulo con un ejemplo introductorio práctico.

1.1.-IMPORTANCIA

El clima como factor natural tiene un enorme impacto en toda actividad económica, tanto en el aspecto macroeconómico como en el microeconómico.

El objeto de estudio, esta centrado en la lluvia, por lo tanto, será de gran utilidad saber cual es la importancia del agua dentro de la vida diaria.

El agua, es un factor fundamental de subsistencia. La evaluación de los recursos hídricos permite una planificación con vista a la optimización del aprovechamiento del agua y su distribución entre los diferentes sectores demandantes: humano, agrícola, industrial, medioambiental, etc.

La hidrología de una región depende, de su clima, por lo que es necesario conocer los factores meteorológicos que lo determinan. Entre estos, cabe destacar la lluvia como magnitud fundamental en el balance hídrico. El clima debería ser un factor indispensable en la toma de decisiones de impacto social y económico.

El riesgo climático puede tener impacto negativo tanto en los costos como en los ingresos en los flujos de efectivo de las compañías. Aproximadamente el 70% de todos los negocios enfrentan este tipo de Riesgo¹. El departamento de energía en los Estados Unidos ha estimado que \$1 trillón de dólares de la economía de los Estados Unidos está expuesta al riesgo climático. Hasta el año 2007, el tamaño teórico de los derivados que se han realizado es de \$3.5

¹ NIGERATZE CASANOVA, Abril 2005. "Derivado de Temperatura para el Estado de Chiapas". Pág.

billones de dólares, lo que indica que aún falta por recorrer mucho, comparado con el tamaño de la exposición original.

Actualmente las personas que trabajan con los derivados del clima pueden ser agrupadas en 4 categorías: creadores del mercado; brokers, compañías de seguros y reaseguradoras; y los usuarios finales tales como los mercados de electricidad, gas, agricultores, viajeros, sistemas de transporte, sistemas de distribución, firmas de turismo entre otras.

En el caso de México las: sequías, inundaciones, heladas, ondas de calor, granizadas u otro tipo de condición extrema resultan con frecuencia en baja disponibilidad de agua, pérdidas de cultivos o baja producción hidroeléctrica, entre muchas consecuencias.

En los últimos cinco años del siglo XX, en el caso mexicano estas pérdidas resultaron ser cinco veces mayores que el promedio correspondiente a la primera mitad de la década de los años sesentas. La Secretaría de Gobernación (SEGOB) reconoce que mientras el número de desastres de origen geofísico ha permanecido constante, la ocurrencia de desastres por eventos hidrometeorológicos se ha más que duplicado. Durante la década de los noventas, más del 90% de las personas que fallecieron por los efectos de fenómenos naturales perdieron la vida en sequías, tormentas e inundaciones². Aunado a lo anterior, hoy en día fenómenos de alto impacto afectan a un mayor número de personas, ya que el aumento desordenado y la falta de planeación en la ocupación territorial han llevado a establecer asentamientos en zonas altamente vulnerables a los impactos de estos eventos naturales.

Si se tiene claro que México es vulnerable a condiciones extremas de tiempo y clima, sería deseable contar con mejor información y capacidad de pronóstico a escalas regional y local, así como diagnósticos precisos de la vulnerabilidad que permitan construir valoraciones dinámicas de riesgo. Estos diagnósticos deberían de tener como objetivo principal implementar estrategias y acciones para reducir la vulnerabilidad, así como al diseño de respuestas preventivas ante el pronóstico de condiciones hidrometeorológicas extremas, mediante un sistema de alerta temprana, y esquemas de acción que den respuesta eficiente y efectiva al desastre.

El futuro de México en este campo no se ve favorable, no solamente por el hecho del cambio climático en si y las consecuencias que se generan por el mismo, lo verdaderamente preocupante es el impacto que se generara en las regiones del país donde tanto su afectación a las comunidades de escasos recursos como a los productores que dependen de este fenómeno, dado que estos serán los que sufrirán en mayor medida las variaciones de los cambios climáticos, así como las perdidas potenciales que se pudieran generar de su fuente de ingresos si estas se encuentran en condiciones desfavorables.

² SEGOB, 2001. "Programa de Protección Civil 2001-2006". Pág. 46

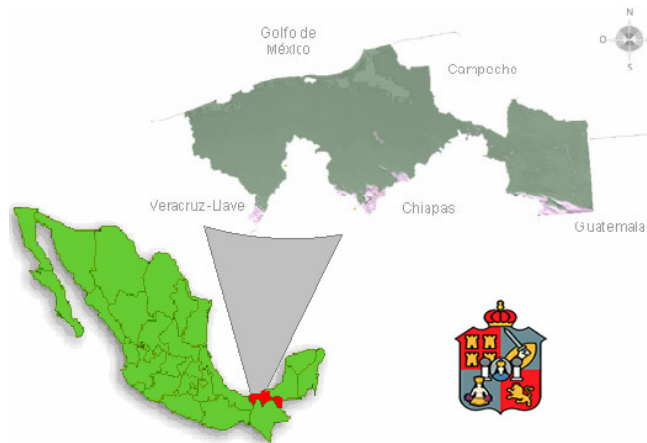
1.2 INFORMACIÓN SOBRE TABASCO Y SU ENTORNO CLIMÁTICO

Debido a que el modelo que se aplicará sobre datos de Tabasco, es conveniente dar una pequeña reseña de dicho estado mexicano.

Este estado se eligió debido a que se han presentado varios incidentes que han generado grandes pérdidas económicas debido a la lluvia, donde el hecho catastrófico mas reciente fue en el año 2007.

Tabasco es uno de los 31 estados que conforman a los Estados Unidos Mexicanos su nombre completo es “Estado Libre y Soberano de Tabasco”, este estado se encuentra situado en el sureste del país, su capital es Villahermosa, y se extiende por la llanura del golfo de México, colinda, al norte con el golfo de México y Campeche, al sur con el estado de Chiapas, al este con la Republica de Guatemala, y al oeste con el estado de Veracruz.

Figura 1. Ubicación Geográfica del Estado de Tabasco



Elaboró: Pérez Abea Camarena, Efraim (2009)

El estudio realizado por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) en el 2005 con base al censo de la población, arrojó que el estado de Tabasco cuenta con una población de 1 millón 989 mil 969 residentes lo que representa al 1.9% de la población nacional, de estos el 50.9% son mujeres y el resto hombres, así mismo la tasa media del crecimiento de la población fue de 0.9% cuando el quinquenio anterior fue de 1.8%.

Así mismo se obtuvieron datos los cuales muestran que por cada 100 personas en edades productivas (15-59 años) hay 64.4 personas en edades dependientes (menores de 15 años y 60 años o mas) cuando en el año 2000 la relación fue de 71.3 personas.

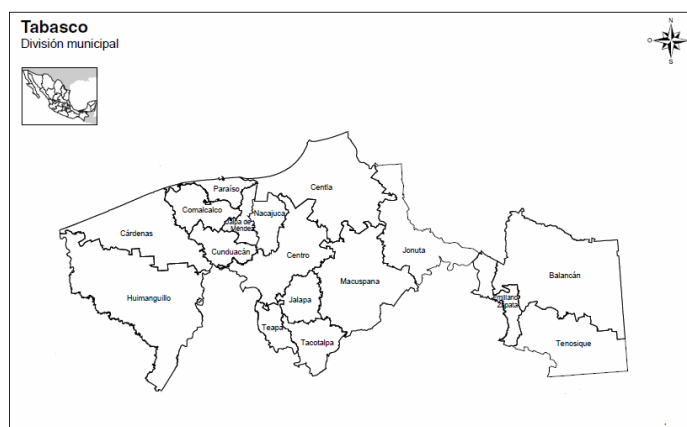
Este estado se divide en 17 municipios los cuales son:

Tabla 1 Municipios en el Estado de Tabasco

1	Balancán	6	Cunduacán	11	Jonuta	16	Teapa
2	Cárdenas	7	Emiliano Zapata	12	Macuspana	17	Tenosique
3	Centla	8	Huimanguillo	13	Nacajuca		
4	Centro	9	Jalapa	14	Paraíso		
5	Comalcalco	10	Jalapa de Méndez	15	Tacotalpa		

Elaboró: Pérez Abea Camarena, Efraim (2009)

Figura 2. División municipal de Tabasco



Fuente: www.cuentameinegi.org.mx

La población en la entidad de Tabasco conforme al censo realizado en el año 2005 se distribuye de la siguiente forma:

Tabla 2: Distribución de la Población en el estado de Tabasco por municipio

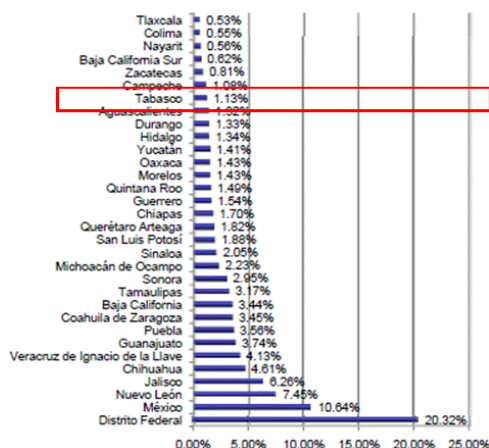
Población total (con información hasta localidad)
(Censo de población y vivienda 2005)
Consulta de: Población total con estimación Por: Entidad municipio y loc Según: Sexo

Estados Unidos Mexicanos	Total		Hombre		Mujer	
	Total	% Población Total	Hombre	% Población Total	Mujer	% Población Total
Tabasco	1,989,969.00		977,785	49.14%	1,012,184	50.86%
1 Balancán	53,038	2.67%	26,190	1.32%	26,848	1.35%
2 Cárdenas	219,563	11.03%	107,557	5.40%	112,006	5.63%
3 Centla	92,755	4.66%	46,411	2.33%	46,344	2.33%
4 Centro	558,524	28.07%	271,489	13.64%	287,035	14.42%
5 Comalcalco	173,773	8.73%	85,645	4.30%	88,128	4.43%
6 Cunduacán	112,036	5.63%	55,075	2.77%	56,961	2.86%
7 Emiliano Zapata	26,576	1.34%	12,854	0.65%	13,722	0.69%
8 Huimanguillo	163,462	8.21%	80,371	4.04%	83,091	4.18%
9 Jalapa	33,596	1.69%	16,734	0.84%	16,862	0.85%
10 Jalapa de Méndez	72,969	3.67%	36,270	1.82%	36,699	1.84%
11 Jonuta	28,403	1.43%	14,467	0.73%	13,936	0.70%
12 Macuspana	142,954	7.18%	70,393	3.54%	72,561	3.65%
13 Nacajuca	86,105	4.33%	42,673	2.14%	43,432	2.18%
14 Paraíso	78,519	3.95%	38,900	1.95%	39,619	1.99%
15 Tacotalpa	42,833	2.15%	21,248	1.07%	21,585	1.08%
16 Teapa	49,262	2.48%	24,310	1.22%	24,952	1.25%
17 Tenosique	55,601	2.79%	27,198	1.37%	28,403	1.43%

FUENTE: INEGI. II Censo de población y vivienda 2005.

Según cifras del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, en el año 2006, Tabasco percibió un PIB correspondiente a 104 073 409 miles de pesos correspondiente al 1.13% del PIB Nacional.

Tabla 3. Participación del PIB estatal en el Total Nacional 2006



Fuente: www.foroconsultivo.org.mx

La actividad económica del estado se rige principalmente por los sectores de servicio y de comercio, los cuales constituyen aproximadamente el 60% del PIB estatal. Otra actividad de gran impacto dentro de este sector, es la extracción de petróleo crudo, dado que Tabasco representa el segundo lugar a nivel nacional en la extracción del mismo, solo superado por Campeche.

En el año 2006, el sector primario (agrícola, ganadero, pesquero, entre otros) produjo en Tabasco 4.8 mdp, que representan aproximadamente el 4.65% del PIB total estatal. Este sector se ve altamente expuesto a riesgos que se generan por el clima, debido a que tienen una alta dependencia con la misma.

Tabla 4 Ingresos de Producto Interno Bruto en el Estado de Tabasco

Concepto	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Total	51 198 668	60 267 752	65 734 140	70 210 428	77 501 663	86 748 118	94 788 493	104 073 409
G.D. 1 Agropecuaria, silvicultura y pesca	3 075 707	2 819 993	3 475 060	3 776 560	3 703 809	4 140 621	4 524 226	4 838 159
G.D. 2 Minería	8 822 676	9 680 045	9 631 243	9 489 560	9 485 311	10 932 545	13 160 994	15 080 850
G.D. 3 Industria manufacturera	2 860 393	3 653 126	3 931 134	3 840 624	4 176 796	4 518 779	4 920 807	5 452 541
División I: Productos alimenticios, bebidas y tabaco	1 763 762	2 332 363	2 541 750	2 538 573	2 603 386	2 795 794	3 112 343	3 432 872
División II: Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	10 142	12 028	13 296	14 940	15 338	16 623	17 757	21 305
División III: Industria de la madera y productos de madera	44 461	55 408	61 394	70 325	79 520	73 893	74 333	81 677
División IV: Papel, productos de papel, imprentas y editoriales	67 925	78 009	73 673	62 718	60 727	56 188	52 495	51 767
División V: Sustancias químicas; derivados del petróleo; productos de caucho y plásticos	570 017	678 348	776 272	662 746	810 598	918 520	1 020 203	1 082 736
División VI: Productos de minerales no metálicos, exceptuando derivados del petróleo y carbón	290 205	375 449	333 172	346 931	442 852	442 432	417 436	477 195
División VII: Industrias metálicas básicas	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
División VIII: Productos metálicos, maquinaria y equipo	110 608	118 123	127 986	139 818	159 272	210 094	220 364	299 002
División IX: Otras industrias manufactureras	3 275	3 398	3 592	4 574	5 105	5 234	5 876	5 988
G.D. 4 Construcción	3 875 881	4 921 418	6 120 035	5 253 959	5 854 534	7 282 917	6 902 538	7 012 051
G.D. 5 Electricidad, gas y agua	1 084 205	1 395 900	1 413 760	1 320 812	1 663 547	2 282 485	2 549 114	2 555 515
G.D. 6 Comercio, restaurantes y hoteles	7 567 968	9 198 487	9 489 073	10 477 646	11 414 079	12 692 722	14 512 940	15 998 483
G.D. 7 Transporte, almacenamiento y comunicaciones	3 626 612	4 258 121	4 879 198	5 063 514	5 429 967	6 103 519	6 342 862	6 714 428
G.D. 8 Servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler	7 593 309	8 520 513	9 175 084	10 566 714	11 786 965	12 770 091	14 015 475	15 168 129
G.D. 9 Servicios comunales, sociales y personales	13 199 432	16 328 443	18 389 948	21 085 770	24 594 790	26 579 687	28 494 686	32 016 685
Menos: Cargo por los servicios bancarios imputados	-507 514	-508 294	-770 395	-664 731	-608 135	-555 248	-635 151	-763 433
ND	No disponible.							
FUENTE:	INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.							

El 95.5% de la superficie de la entidad, debido a su ubicación geográfica, representa un clima calido húmedo, el restante representa clima cálido subhúmedo hacia la parte este del estado. Las lluvias se presentan durante todo el año, aunque estas son más abundantes durante los meses de junio a octubre. En cuanto a la temperatura del estado, esta presenta una media anual de 27 grados centígrados, la temperatura máxima promedio es de 36 grados centígrados y la mínima de 18 grados centígrados

El estado de Tabasco cuenta con una gran cantidad “reservas acuíferas” entre ellas se pueden contabilizar 28 ríos algunos de ellos son; (Mezcalapa-Grijalva, Pejelagarto, Samaria, Santana, Usumacinta, y varios mas) entre otros cuerpos de agua y lagunas hay 15 (El carmen, Santa Anita, Guanal, Cantemual, etc....), debido a esto, en épocas de lluvias se tiene una mayor exposición de presentar inundaciones.

En el año de 2007 Tabasco sufrió una de las peores inundaciones en varios años debido a las fuertes lluvias que azotaron la región, este desastre dejó numerosas pérdidas. Según datos obtenidos en la página del estado de Tabasco, se tienen los siguientes datos: llovieron 4 días casi de forma continua antes de que ocurriera la inundación, la cantidad de agua que cayó en el estado hubiese podido abastecer a la ciudad de México por un periodo de aproximadamente 25 años.

En cuanto a la infraestructura de la ciudad, la carretera de Tabasco sufrió daños por cerca de 469 mdp, y dentro del presupuesto de egresos 2008, para la reconstrucción en materia de comunicaciones el gobierno federal erogó 1 mil 255 mdp, lo que representa un 43% más de lo que se distribuyó en el 2007.

Las perdidas monetarias estimadas a causa de la inundación fueron 4 mil 038 mdp, así mismo de los pagos que tuvieron que dar las aseguradoras por aquellos bienes que estaban asegurados entre los estados de Tabasco y Chiapas fue de aproximadamente 7 mil 500 mdp.

En cuanto a las hectáreas afectadas por la lluvia estas alcanzaron las 530 mil. Se contempló un presupuesto para el 2008 del “Programa Integral Contra las Inundaciones en Tabasco” de 271 mdp. El monto para reconstruir o reubicar alrededor de 300 mil viviendas que fueron dañadas durante las inundaciones fue de 7 mil millones de pesos.

Teniendo en cuenta estas cifras podemos ver lo devastadora que pueden ser las lluvias y con ello, las inundaciones. Las pérdidas económicas fueron de gran escala y la recuperación lenta, tomando en cuenta lo anterior, podemos visualizar la importancia de generar recursos e instrumentos financieros que en conjunto con planes de desarrollo social logren proteger las pérdidas potenciales que pueden ser generadas por el clima.

1.3 HISTORIA DE LOS DERIVADOS CLIMÁTICOS

Contrario a lo que podamos imaginar, los productos derivados, de una forma u otra, existen desde la antigüedad. Aristóteles narra la historia del filósofo antiguo Thales de Miletus (625-547 A.c.), quien hizo su fortuna comprando opciones para el uso de molinillos de olivos; mientras que los griegos y los romanos negociaban contratos con cláusulas de opción sobre mercancías transportadas en sus barcos. Sin embargo, ha sido en los últimos años cuando los contratos derivados han permitido a las empresas moderar las consecuencias de los riesgos climáticos.

Entre los principales factores que propiciaron el surgimiento de este nuevo mercado, se tiene en primer lugar la convergencia de los mercados de capitales con la industria aseguradora.

Una prueba de ellos es el crecimiento en la emisión de bonos catastróficos, así como la introducción en el Chicago Board of Trade (CBOT) de opciones sobre catástrofes.

En segundo lugar, la desregulación del sector de energía (electricidad y gas natural) por el Gobierno Federal de Estados Unidos, promovió la utilización de derivados para administrar los riesgos climáticos, ya que la nueva competencia entre proveedores de energía dificultó repercutir a sus clientes las pérdidas relacionadas a las variaciones inesperadas en el clima. De hecho, las grandes compañías operadoras de energía diseñaron y negociaron los primeros contratos al mostrador "Over the Counter" (OTC, por sus siglas en inglés) de derivados climáticos, cuando en agosto de 1996 Florida Power & Light y Enron completaron un swap de temperatura. Desde entonces, el mercado OTC floreció rápidamente con la incorporación de empresas reaseguradoras e instituciones financieras, y más tarde con la participación de otros sectores industriales sensibles al clima como las empresas de bebidas y agrícolas.

Los contratos eran negociados como contratos individuales. Para incrementar el tamaño del mercado y para eliminar el riesgo crediticio los que realizaban operaciones con estos contratos, "Chicago Mercantile Exchange" (CME) empezó un mercado electrónico para los derivados del clima en septiembre de 1999, los principales creadores de este mercado de la CME fueron: Aquila Energy, Koch Energy Trading, Southern Energy, Enron y Castlebridge Weather Market. Todas estas firmas también estaban activas en el mercado OTC para los derivados climáticos.³

El fenómeno meteorológico del Niño en el invierno de 1997-1998 representó un gran salto para el mercado. No hay que olvidar que la publicidad que recibió este evento por parte de los medios sensibilizó a muchas compañías sobre la posibilidad de ver reducidas sus utilidades debido al inusual invierno, lo cual empujó a las empresas, especialmente del sector de la energía y de la maquila de ropa, a utilizar derivados sobre la temperatura, para cubrir sus riesgos ante cambios no previstos en la misma.

³ ALATON, PETER. March 2002, "On Modeling and Pricing Weather Derivatives". Pág. 3

Desde que la primera transacción de derivados del clima fue realizada, se han tenido testigos del descubrimiento de nuevos mercados de derivados, el cual se esta expandiendo a lo largo del mundo.

El mercado de derivados climáticos esta en constante crecimiento, sin embargo este desarrollo es muy pausado debido a que existe una gran cantidad de personas que desean comprar, pero no existen suficientes contrapartes para dar abasto a la demanda.

A nivel mundial el año pasado se negociaron aproximadamente 730,000 contratos, según Weather Risk Management Association (WRMA). El valor total de los contratos operados en Chicago Mercantile Exchange fue de 19,2 miles de millones de dólares durante 2007, por debajo del record de 42,5 miles de millones dólares alcanzado en 2000, pero muy por encima de los 8,4 miles de millones dólares en 2005 según WRMA. Estados Unidos, Japón, Londres y Ámsterdam son los usuarios mas frecuentes de este tipo de derivados, sin embargo, empresas de mercados emergentes, como India, están empezando a utilizarlos.⁴

1.4 OBTENCION DE DATOS

Debido a que información histórica disponible para el estudio del clima es extensa, se expondrán algunas consideraciones que se tendrán que tomar en cuenta para la realización el estudio.

Los archivos meteorológicos son bastante amplios y precisos en muchos países. En algunas ocasiones las series de tiempo que nos representan como ha ido cambiando el clima a lo largo del tiempo son más largas y menos volátiles que algunas series de tasas de interés, y, algunos otros de valores económicos los cuales usamos para el mercado de capitales. Es por esto que se podría esperar encontrar una forma sencilla para ir directamente a medir el precio de una opción climática, sin embargo debido a los bruscos cambios que han presentado las temporadas climáticas por la expansión humana y junto con el calentamiento global, el mercado parece estarse moviendo a realizar un consenso de datos históricos.

El consenso realizado por los participantes del mercado, donde este sirve para poder visualizar como se pudiesen mover los precios, es en ocasiones, un buen material de donde se pueden generar una serie histórica de datos que presenta como un gran beneficio proveer una referencia con la cual se puedan comparar precios. Por el contrario la dificultad es que los contratos sobre el clima deberían de estar basados por si mismos en el clima, no en la posible visión del mercado sobre el.

Para el estudio del clima la selección de la longitud histórica de la temporada y la volatilidad del parámetro de interés es lo que necesitamos. Las variables

⁴ BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. 13 de Junio 2008 “Noticias del Mundo de los Derivados”
Pág. 3

climáticas que son susceptibles a estudio son por ejemplo; la temperatura, la humedad, la lluvia y las nevadas. En la mayoría de los contratos, el parámetro es temperatura ó “Degree Days”, donde estos son una medida de la variación de temperatura, contra una referencia estándar de la misma (65°F).

La historia climática de un sitio revela las características peculiares de la zona. Las regiones que se encuentran cerca, algunas veces pueden sufrir un clima diferente, no solo en cualquier momento, si no también en el promedio. Este es el origen en el que se basa el riesgo del clima como riesgo de mercado. Las características del lugar geográfico, tales como la proximidad a las montañas, las costas o los desiertos pueden explicar en parte estas diferencias.

Las opciones para seleccionar el tamaño de los datos que se usarán par el desarrollo de una estadística dentro de una locación específica pueden ser las siguientes:

- a) Utilizar solamente los datos más recientes. Esto por que los patrones cambian, y solo los datos más recientes son representativos del futuro cercano. La naturaleza es persistente; eso es, no tan caótica como para apartarse abruptamente en los años subsecuentes de los que paso en años recientes.
- b) Utilizar todos los datos por que “todos los datos son mejor”, dado que toda la serie contiene todos los eventos del pasado que puedan ocurrir.
- c) Utilizar algún periodo intermedio, que no sea tan largo ni tan corto, “quizás entre 30 y 50 años”.

El Servicio Meteorológico Nacional es la institución responsable en México de tener esos datos y observaciones al día. Este Servicio recolecta diariamente y en todo el país las mediciones obtenidas en cientos de estaciones climatológicas esparcidas en todo el territorio que comprende nuestro país.

La Comisión Nacional del Agua (CNA) dispone de una red hidroclimatológica de tres mil 350 estaciones, de las cuales mil 120 reportan su información diariamente. Esta red, está a cargo de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, que comparte datos con el Servicio Meteorológico Nacional. Así mismo el estudio del clima también se realiza en instituciones de investigación como la UNAM, particularmente, en el Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Para el estudio de caso que se llevará a cabo en este trabajo los datos fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional. Para la aplicación del modelo en el estado de Tabasco se eligió la estación 27004 ubicada en el municipio de Tenosique, teniendo un total de 21,948 datos tomando estos desde Agosto de 1948 hasta Diciembre de 2007.

Tabla 5. Estaciones con mayor número de datos disponibles en el Estado de Tabasco

COMISION NACIONAL DEL AGUA SUBDIRECCION GENERAL TECNICA COORDINACION GENERAL DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL SUBGERENCIA DE INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES CATALOGO DE ESTACIONES CLIMATOLOGICAS ENTIDAD FEDERATIVA: TABASCO										
ESTACION	NOMBRE	MUNICIPIO	LATITUD G M S			LONGITUD G M S			ALTITUD	FECHAS
27004	BOCA DEL CERRO (DGE)	TENOSIQUE	17	26	0	91	29	0	25	1948-08 2007-12
27030	MACUSPANA (DGE)	MACUSPANA	17	45	24	92	36	18	68	1948-08 2007-12
27037	PUEBLO NUEVO	CENTRO	17	51	15	93	52	45	8	1948-10 2007-12
27039	SAMARIA	CUNDUACAN	17	58	45	93	17	30	19	1948-09 2007-12
27044	TEAPA (DGE)	TEAPA	17	34	0	92	58	0	38	1960-07 2007-12
27060	GONZALEZ	CENTRO	17	58	26	93	46	6	8	1972-07 2007-12
27070	OXOLOTAN	TACOTALPA	17	23	0	92	45	0	36	1974-05 2007-12
27084	NACAJUCA	NACAJUCA	18	9	57	93	1	5	10	1979-09 2007-12

Fuente: Comisión Nacional del Agua

1.5 DERIVADO CLIMATICO

Un derivado climático es un contrato preestablecido entre dos partes, basado en cambios también preestablecidos del estado del clima, es decir la formulación de este lo llevan a cabo las dos partes en base a los parámetros que acuerden, con el objetivo de poder protegerse de fluctuaciones provocadas por cambios no anticipados del clima.

El inversionista que vende un derivado climático se dispone a llevar el riesgo climático a cambio de una compensación. En caso de que no se den cambios adversos en el clima el inversionista genera una ganancia. Si el clima es diferente a lo anticipado y la variable climática medida sobrepasa el umbral predeterminado, la empresa que compró el derivado recibe la compensación. A diferencia de los seguros, los derivados climáticos ofrecen cobertura para eventos de relativamente bajo riesgo y de alta probabilidad (un invierno más frío que lo esperado), en vez de fenómenos de alto riesgo y baja probabilidad (huracanes, terremotos).

Los datos históricos que les servirán de referencia a las contrapartes para el establecimiento de los parámetros de la opción climática, los obtendrán de las bases de datos que proporcionan algunas instituciones entre ellas; Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua o instituciones de Investigación.

A grandes rangos entonces podemos decir que las opciones climáticas son activos financieros que otorgan a su poseedor el derecho de comprar / vender una determinada cantidad de bienes y/o servicios, cuando la variable climática cumple con las condiciones que se establecen en el contrato, estas mediciones son realizadas bajo una metodología estandarizada, que es acordada por ambas partes, los cálculos se ejecutan en una estación de que lleve el control de la variable y que este sea identificada durante un cierto periodo de tiempo.

Una Definición informal es:

- ↪ Contrato financiero entre dos partes con un valor preestablecido basado en cambios de condiciones climáticas preestablecidas
- ↪ La obligación de pago específica se refleja en la confirmación de la transacción.
- ↪ Para cobrar un derivado climático no es necesario probar la ocurrencia de una pérdida financiera.

Así mismo se presentan en dos estructuras básicas.

- a) La opción de venta o Put: Otorga a su poseedor el derecho más no la obligación de vender lo establecido en el contrato a partir de que la variable climática subyacente alcanza la condición de ejercicio
- b) La opción de compra o Call: Otorga a su poseedor el derecho mas no la obligación de comprar lo establecido en el contrato a partir de que la variable subyacente climática alcanza la condición de de ejercicio.

Este tipo de activos financieros posee ciertas características, algunas de ellas son:⁵

- 1) Su posesión implica que puede modificarse los flujos de caja del poseedor en función de la evolución de la variable subyacente protegida
- 2) La variable subyacente es una variable climática medida bajo la metodología acordada por las partes sobre una estación de medición determinada.
- 3) Constituye un derecho para su poseedor del contrato pero no implica obligación de ejecución si la variable subyacente alcanza la posición de ejercicio.
- 4) Los pagos de estas opciones pueden basarse en tres modalidades; basados en un determinado volumen, en un precio, o en un monto.

Las opciones generalmente están contempladas cuando se encuentran “In the Money, At the Money, Out of Money”. Cuando estas se encuentran In the Money significa que la Opción lleva un flujo de efectivo positivo para el tenedor si esta fuera ejercida inmediatamente, similarmente, cuando se encuentra At the Money, la opción llevaría a tener un flujo de efectivo de cero si esta fuese ejercida inmediatamente, y cuando se encuentra Out of Money, la pérdida generada por la opción será a lo más acotada por el costo de la prima.

Básicamente se puede visualizar como:

$S > K$ In the Money
 $S = K$ At the Money
 $S < K$ Out of Money

⁵ ITURRIOZ, RAMIRO. “Una Nueva Herramienta de Cobertura de Riesgos en el sector de los Agronegocios”. Pág. 3

Donde S es el Precio del Activo Subyacente “Stock Price” y K es el precio de ejercicio “Strike Price”

1.6 USOS DEL DERIVADO CLIMATICO.

El derivado climático puede presentar diferentes usos entre sus diferentes compradores, algunos de ellos son:

- ❖ Proteger al tomador frente a una caída en la demanda o en su volumen de ventas de productos o servicios, (riesgo volumétrico)
- ❖ Proteger al tomador en contra de aumentos en el costo de los suministros o mayores costos en la ventas
- ❖ Proteger contra la volatilidad de los ingresos o promover un ingreso neto estable.

La condición para la existencia de cualquier derivado es que la variable subyacente que de origen a los pagos de estos activos financieros debe de tener características de mercancía o materia prima llamada “Comodity”, es decir que su cotización debe de ser clara, mensurable y transparente como para que el mercado tenga confianza en sus datos y no deba acudir a elementos adicionales cuestionando su veracidad.

En la práctica una variable climática puede ser considerada como un “Comodity” si se cumplen los siguientes aspectos.⁶

- a) La variable climática subyacente debe ser perfectamente clara y mensurable.
- b) Debe de existir una estación de medición para mesurar el evento protegido
- c) La estación de medición seleccionada debe de contar con los datos suficientes en cantidad y calidad que permitan realizar el costeo del derivado
- d) No deben existir factores que alteren la objetividad de las mediciones
- e) La metodología de costeo y la utilizada para la recopilación y tratamiento de los datos debe estar previamente acordada por las partes

1.7 DIFERENCIAS ENTRE EL DERIVADO TRADICIONAL Y EL DERIVADO CLIMATICO

La diferencia fundamental entre los derivados climáticos y los derivados tradicionales, radica en la variable subyacente que determina los pagos de estos instrumentos. Los derivados climáticos están basados en la evolución de la variable climática durante un periodo, mientras que por lo general los derivados tradicionales poseen la cotización de un contrato futuro a una posición determinada.

En cuanto a la transparencia de los derivados, podemos decir que, los derivados tradicionales se encuentran estandarizados por el mercado donde

⁶ KAMER, A. 2002, “Weather Derivatives. The legal Perspective”. Pág. 15

cotiza. Mientras que los derivados climáticos no se encuentran estandarizados debido a que los términos de este se forman de mutuo acuerdo entre ambas partes.

El mercado de referencia en los derivados convencionales esta basado en el mercado de futuros donde cotiza el contrato, mientras que los derivados climáticos están basados mediante una estación meteorológica que es acordada por ambas partes en base a la cual se generan las mediciones, con las cuales se llevaran a cabo los cálculos.

El valor de los derivados tradicionales esta basado en precio de contrato subyacente distinguiendo la posición en la que se encuentra, a diferencia de que en el climático el valor esta basado en el valor esperado de la variable climática protegida durante la vigencia del contrato, en particular el valor esperado de una variable climática se equipara al de una variable financiera.

La garantía de la operación en el caso de los derivados tradicionales esta basada en el mercado de referencia donde cotiza el derivado financiero, mientras que el derivado climático, la garantía esta dada básicamente por la seguridad que presenten ambas partes.

1. 9 PROTOCOLO DE KYOTO

Algunos de los avances logrados internacionalmente para poder mitigar el calentamiento global el cual trae como consecuencia los inesperados cambios climáticos y como daño colateral el descontrol de la temporada de lluvia, así como lluvias atípicas, es el protocolo de Kyoto, donde es un acuerdo internacional establecido el 11 de diciembre de 1997 el cual cuenta con 28 artículos y varios apartados, en el cual los países industrializados se comprometieron a reducir las emisiones de gases provocadores del calentamiento global, como son: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄), y oxido Nitroso (N₂O). Además de tres gases industriales: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoro de azufre (SF₆), en aproximadamente un 5%⁷ dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación con las emisiones que se realizaron durante el año de 1990.

Para lograr esto una de la medidas que se expone en el protocolo con el objetivo de disminuir el calentamiento global esta estipulada en el artículo segundo, fracción 1, inciso a), parte IV donde se establece: Cada una de las Partes aplicará y/o seguirá laborando políticas y medidas de conformidad con sus circunstancias nacionales, por ejemplo: Investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.⁸

7 Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático.

Naciones Unidas 1998. Pág. 2

8 Idem. Pág. 3

Este protocolo ya ha sido confirmado por 171 países, México se adhirió a este el 21 de septiembre del año 2000. La ratificación de Rusia el 18 de noviembre de 2004, oficializada el 16 de febrero por la ONU, lo que ha permitido que este Protocolo entre en vigor.⁹

Una vez establecido el protocolo de Kyoto, se empezaron a crear “Bonos de Carbono”, donde estos instrumentos se generan a partir de las diversas actividades dirigidas a la reducción de emisiones. Existen varios tipos de bonos de carbono. Algunos de ellos son:¹⁰

Certificados de Reducción de Emisiones (CER´s)

Los países que inviertan en proyectos bajo el mecanismo de desarrollo limpio¹¹, pueden obtener Certificados de Reducción de Emisiones por un monto equivalente a la cantidad de bióxido de carbono equivalente a la que se dejó de emitir a la atmósfera como resultado del proyecto.

Montos Asignados Anualmente (AAU´s)

Corresponde al monto total de emisiones de gases de efecto invernadero que a un país se le permite emitir a la atmósfera durante el primer período de compromiso (2008-2012) del Protocolo de Kyoto.

Unidades de Reducción de Emisiones (ERU´s)

Corresponde a un monto específico de gases de efecto invernadero que dejaron de ser emitidas por la ejecución de un proyecto de Implementación Conjunta.

Unidades de Remoción de Emisiones (RMU´s)

Estas unidades o créditos solamente pueden ser obtenidas por países industrializados del Protocolo de Kioto y pueden obtenerse también en proyectos de Implementación Conjunta

Las transacciones de este tipo de bonos pueden ser como cualquier otro activo financiero, es decir se pueden realizar compras spot, compras con entrega futuro e incluso realizar opciones.

Aunque por el momento no existe ningún valor oficial que sea aceptado internacionalmente sobre el precio de una tonelada de CO₂ que fue reducida o no emitida, el Banco Mundial emplea un precio de \$5 dólares por tonelada de CO₂. El precio de la tonelada está sujeto a oferta y demanda de bonos de carbono en el mercado. El valor de mercado de carbono fue de 118 mil

⁹ Boletín informativo, de la Dirección General del Archivo Histórico y Memoria Legislativa. Año V, No 36, Abril-Junio 2005. Pág. 14

¹⁰ http://cambio_climatico.ine.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html

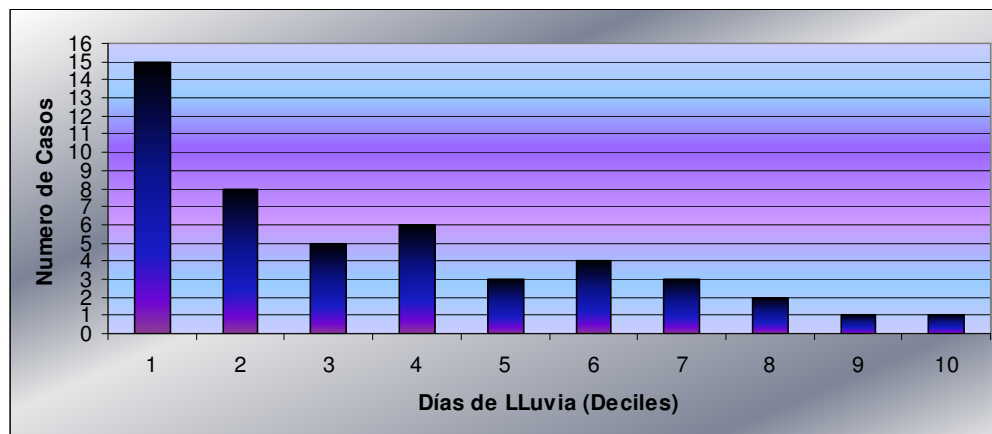
¹¹ Se entiende por mecanismo de desarrollo limpio, que los países desarrollados, ayuden a los que están en vías de desarrollo a contribuir con las metas de reducción de gases que provocan el calentamiento global.

millones de dólares en el año 2008 y sus principales oferentes son: China (43%), la Antigua Unión Soviética (29%) y la India (10%), el 18% de la oferta restante sería suplida por los demás países del mundo, igualmente su emisor es la Unión Europea.¹²

1.8 EJEMPLO DE DERIVADO CLIMATICO

Para describir el funcionamiento del derivado climático, se parte de un ejemplo construido sobre la base de ocurrencia de precipitaciones en un mes en una ubicación genérica.

Figura 3. Frecuencia Histórica de Ocurrencia de Precipitaciones durante un Mes



Elaboró: Pérez Abea Camarena, Efraim (2009)

A partir de esta distribución se definen los parámetros del derivado climático

Tabla 6. Parámetros para el cálculo de los Derivados Climáticos

Concepto	PUT	CALL
Variable Subyacente	Días con Lluvia	Días con Lluvia
Ejercicio	Decil 5	Decil 5
Periodo	Un Mes	Un Mes
Ticket ¹³	\$100 por Decil	\$100 por Decil

Elaboró: Pérez Abea Camarena, Efraim (2009)

En la Tabla 6, se presentan la distribución de la variable climática subyacente y los parámetros del derivado climático ya establecidos, con estos datos se esta en condiciones de calcular el valor de las opciones Put y Call.

¹² Eseverri, José. (2009, 12 febrero de 2009). "Consume crisis bonos de Carbono", Negocios, Periódico Reforma. Pág. 1

¹³ Unidad de salto o variación mínima exigida en el precio de un activo negociado en el mercado.

Tabla 7 Ejemplo de Costeo de Opciones Climáticas

PAGOS DE LA OPCION	PUT (USD)	CALL (USD)
Decil 1	6000	0
Decil 2	2400	0
Decil 3	1000	0
Decil 4	600	0
Decil 5	0	0
Decil 6	0	400
Decil 7	0	600
Decil 8	0	600
Decil 9	0	400
Decil 10	0	500
Σ de Pagos de la Opción	10,000	2,500

Elaboro: Pérez Abea Camarena, Efraim (2009)

De la tabla 7 se desprende que la sumatoria de los flujos para un periodo de 20 años es de 10,000 dólares y 2500 dólares para ambas opciones, respectivamente. A partir de ello, el valor de ambas opciones se valúa como el valor esperado de pago para el próximo ejercicio.

La formula genérica para el cálculo del valor de estas opciones es:

a) Para el caso de la Put es: 500.00 dólares

Para todos los Deciles inferiores al disparador ($d_j < d_j^*$);

$$\left(\sum_{j=1}^N (d_j^* - d_j) * T * Fr_j \right) / N \quad (1)$$

b) Para el caso de la Call es: 125.00 dólares

Para todos los Deciles superiores al disparador ($d_j > d_j^*$)

$$\left(\sum_{j=1}^N (d_j - d_j^*) * T * Fr_j \right) / N \quad (2)$$

Donde:

d_j^* : Es el Decil correspondiente al ejercicio de la opción

d_j : Es el Decil j correspondiente a la observación de la variable

T : Es el Ticket de la opción. En este Caso 100 dólares

Fr_j : Es la frecuencia de observaciones de precipitación en el Decil j

N : Es el número de años considerados para el cálculo de la opción.

CAPÍTULO II MODELO DE LLUVIA

A lo largo de este capítulo expondremos algunos modelos utilizados para la medición de factores que conciernen con el estudio del fenómeno de lluvia como son la probabilidad de que un día sea seco o lluvioso, la cantidad de lluvia que se espera en un día. Así mismo también se mostrarán algunas funciones que se utilizan para ponerle precio a las opciones.

2.1 OCURRENCIA DE DIA (SECO-LLUVIOSO)

Para el estudio que nos compete, algunos de los comportamientos más significativos de la lluvia que debe de ser objeto de estudio son aquellos relativos a conocer los periodos secos y lluviosos, época de aparición, frecuencia, duración, intensidad, etc.

Para el estudio de la precipitación diaria se han establecido modelos basados en una estructura estocástica del proceso. Estos modelos describen tanto la ocurrencia de la precipitación como la distribución de la cantidad de lluvia en un momento específico.

Aunque el fenómeno de la precipitación ocurre en un tiempo continuo, y sería, por tanto, esperable conseguir una mejor descripción con este tipo de modelado, por otra parte también es frecuente discretizar la cantidad de precipitación considerando diferentes umbrales para la misma.

A lo largo de este capítulo expondremos varios métodos que han sido utilizados para poder describir la lluvia.

La forma más común de describir el proceso de precipitación es mediante una secuencia de dos variables aleatorias $\langle (X_t, Y_t); t = 1, 2, \dots \rangle$, donde: $X(t)$ es una variable discreta que representa el estado de un proceso en el tiempo t . Su valor es igual a la unidad si la lluvia es igual o mayor que el umbral T (esto es cuando excede una cantidad fija de lluvia), con la cual se establece cuando se considera un día lluvioso, y cero en caso contrario. $Y(t)$ es una variable continua que representa la cantidad de lluvia en el día t , si tomamos la consideración del umbral para distinguir entre un día seco y uno lluvioso, la variable $U(t) = \max(Y(t) - T, 0)$, representará la cantidad de lluvia excedida en el día t .

Varios autores concuerdan en que el modelo más simple que considera la persistencia de la lluvia es una cadena de Markov de primer orden¹⁵, con esto la probabilidad de lluvia en un día esta condicionada únicamente a que el día anterior haya sido húmedo o seco, esto es:

¹⁵ Una cadena de Markov de primer orden se define como una serie de eventos, en el cual la probabilidad del evento futuro $n + 1$, solo depende del evento inmediato anterior.
 $P(X_{n+1} = j | X_0, X_1, \dots, X_n) = P(X_{n+1} = j | X_n)$

$$P_{ij}(t) = P(X_t = i | X_{t-1} = j) \quad (1)$$

$i, j = 0,1 \quad ; \quad t = 1,2,\dots,365$

Si obtenemos la probabilidad de que el día t sea húmedo dado que el día $t-1$ fue húmedo, y si así mismo obtenemos la probabilidad de que t sea un día lluvioso dado que el anterior fue seco, entonces podemos obtener las probabilidades restantes tomando como cierto que:

$$P_{0,1}(t) = P(X_t = 0 | X_{t-1} = 1) = 1 - P(X_t = 1 | X_{t-1} = 1) \quad (2)$$

$$P_{0,0}(t) = P(X_t = 0 | X_{t-1} = 0) = 1 - P(X_t = 1 | X_{t-1} = 0) \quad (3)$$

Donde $P_{0,1}(t) = P(X_t = 0 | X_{t-1} = 1)$ es la probabilidad de que el día t sea seco dado que el día $t-1$ fue un día húmedo, y $P_{0,0}(t) = P(X_t = 0 | X_{t-1} = 0)$ es la probabilidad de que el día t es seco dado que el día $t-1$ fue seco.

Estas probabilidades se pueden estimar a partir de las frecuencias correspondientes en una serie de datos. A manera de ejemplo supongamos que se dispone de una serie de 100 datos que reflejan la precipitación en una estación cualesquiera.

Tabla 1. Milímetros cúbicos de lluvia supuestos por día

Día	mm ³ de lluvia po día	Día	mm ³ de lluvia po día	Día	mm ³ de lluvia po día	Día	mm ³ de lluvia po día
1	0	26	0	51	12	76	1
2	0	27	1	52	44	77	10
3	1	28	98	53	0	78	99
4	2	29	52	54	0	79	8
5	1	30	0	55	0	80	15
6	1	31	0	56	50	81	4
7	34	32	0	57	31	82	18
8	0	33	0	58	43	83	3
9	30	34	0	59	36	84	2
10	25	35	0	60	303	85	32
11	320	36	0	61	14	86	0
12	76	37	0	62	1	87	1
13	3	38	0	63	0	88	1
14	4	39	0	64	0	89	27
15	0	40	0	65	0	90	47
16	0	41	0	66	185	91	0
17	1	42	0	67	309	92	1
18	0	43	0	68	477	93	0
19	14	44	0	69	261	94	70
20	258	45	1	70	111	95	95
21	41	46	0	71	0	96	0
22	285	47	0	72	32	97	30
23	32	48	21	73	3	98	1
24	0	49	64	74	6	99	1
25	0	50	0	75	22	100	72

Elaboro: Pérez Abea Camarena, Efraim (2009)

Esta serie tiene asociada la siguiente serie binaria de (*ocurrencia*|*ausencia*) de precipitación si el umbral es igual a uno.

Tabla 2. Serie Binaria asociada a la Tabla 1

Día	Variable Binaria Asociada	Día	Variable Binaria Asociada	Día	Variable Binaria Asociada	Día	Variable Binaria Asociada
1	0	26	0	51	1	76	1
2	0	27	1	52	1	77	1
3	1	28	1	53	0	78	1
4	1	29	1	54	0	79	1
5	1	30	0	55	0	80	1
6	1	31	0	56	1	81	1
7	1	32	0	57	1	82	1
8	0	33	0	58	1	83	1
9	1	34	0	59	1	84	1
10	1	35	0	60	1	85	1
11	1	36	0	61	1	86	0
12	1	37	0	62	1	87	1
13	1	38	0	63	0	88	1
14	1	39	0	64	0	89	1
15	0	40	0	65	0	90	1
16	0	41	0	66	1	91	0
17	1	42	0	67	1	92	1
18	0	43	0	68	1	93	0
19	1	44	0	69	1	94	1
20	1	45	1	70	1	95	1
21	1	46	0	71	0	96	0
22	1	47	0	72	1	97	1
23	1	48	1	73	1	98	1
24	0	49	1	74	1	99	1
25	0	50	0	75	1	100	1

Elaboro: Pérez Abea Camarena, Efraim (2009)

Para estimar las probabilidades notamos que la $frecuencia(X_t = 1 | X_{t-1} = 1) = 47$ y la, $frecuencia(X_t = 1 | X_{t-1} = 0) = 15$, $frecuencia(X_t = 0) = 38$, $frecuencia(X_t = 1) = 62$, de aquí que las probabilidades son $P_{1,0} \approx 0.395$ y $P_{1,1} \approx 0.758$, con estas podemos obtener fácilmente sus complementos utilizando (2), y se obtiene que: $p_{0,1} \approx 0.242$ y $p_{0,0} \approx 0.605$.

Algunos autores desarrollan un modelo que permite a las probabilidades de ocurrencia de la lluvia depender de la cantidad de lluvia anterior, así mismo compararon las distribuciones, exponenciales, gamma y mixtas exponencial, entre si y con otras cuatro de cadena dependiente: exponencial-exponencial, exponencial-gamma, gamma-exponencial y gamma-gamma esta comparación mostró que la distribución mixta exponencial resulto superior a las demás en las diferentes condiciones climáticas estudiadas¹⁶. Es decir, bajo diferentes estados de clima, los resultados obtenidos por medio de la distribución exponencial mixta son lo que tienen el menor sesgo.

La función de distribución de una exponencial mixta es:

$$f_t(u) = \frac{\alpha(t)}{\beta(t)} \exp\left(-\frac{u}{\beta(t)}\right) + \frac{1-\alpha(t)}{\theta(t)} \exp\left(-\frac{u}{\theta(t)}\right)$$

$$u > 0; 0 \leq \alpha(t) \leq 1; 0 \leq \beta(t) \leq \theta(t); t = 1,2,3,\dots,365 \quad (4)$$

¹⁶ ROLDAN JOSE, 1994, "Tendencias actuales en el modelado de la precipitación diaria", Vol I, Num I. Pág. 92

La distribución exponencial mixta puede interpretarse como el resultado de una muestra aleatoria de dos distribuciones exponenciales donde la distribución con la media más pequeña, $\beta(t)$ se muestra con probabilidad $\alpha(t)$ y la distribución con la media más grande, $\theta(t)$ se muestra con probabilidad $[1 - \alpha(t)]$.

2.2 CANTIDAD DE LLUVIA.

Para caracterizar a la precipitación como una variable continua (cantidad de Lluvia), considerando los días que ocurrió el evento, es necesario definir una función de densidad. Muchas funciones de distribución han sido usadas para describir la distribución de la cantidad de agua generada por la lluvia.

La “tasa de lluvia” teóricamente se puede hacer que encaje en muchas funciones de distribución, donde la media y la varianza de la lluvia podrán ser calculados por los parámetros de la distribución correspondiente.

Debido a que algunos autores consideran un fuerte pico en $r = 0$ es decir, que no llueve, las funciones de distribución pueden ser fácilmente consideradas como funciones de distribución mixta; esto es, una combinación de una función discreta y una continua; (en nuestro caso cuando $r = 0$ es discreta y continua para $r > 0$).

A lo largo de los años la experiencia ha mostrado que las funciones de distribución para $r > 0$ son asimétricas y desiguales durante largos periodos de lluvia.

Para simular esto se han buscado distribuciones que cumplan estas condiciones. Hay muchas distribuciones que son limitadas por cero a la izquierda y están sesgadas positivamente las cuales sirven para nuestro fin. Algunas distribuciones son expuestas a continuación.

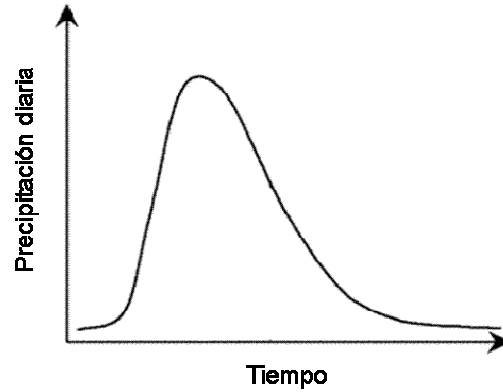
Algunos autores realizan una propuesta basada en una distribución asimétrica para generar flujos de lluvia representativos. La ecuación que se utilizan para calcular el monto de lluvia durante un día húmedo es:

$$R_{day} = \mu_{mon} + 2 \cdot \sigma_{mon} \cdot \left(\frac{\left[\left\{ \frac{SND_{day} - g_{mon}}{6} \right\} \cdot \left\{ \frac{g_{mon}}{6} \right\} + 1 \right]^3 - 1}{g_{mon}} \right) \quad (5)$$

Donde R_{day} es la cantidad total de lluvia que ocurrió en un día dado ($\text{mm } H_2O$), μ_{mon} es la precipitación media diaria ($\text{mm } H_2O$) durante el mes, SND_{day} es la

desviación normal estándar calculada para el día, y g_{mon} es el coeficiente asimétrico de la precipitación diaria del el mes.¹⁷

Figura 1. Ejemplo de una distribución asimétrica



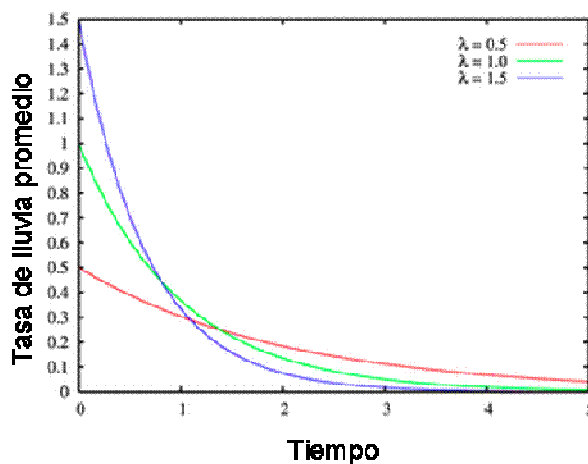
Debido al número de parámetros que están incluidos dentro de la función propuesta, esta se vuelve muy complicada al estar realizando los cálculos por lo que una distribución exponencial se ofrece como alternativa de esta distribución.

Una de las ventajas de la distribución exponencial (Fig. 2) es que requiere de menos variables, y es mas comúnmente usada en áreas donde los datos disponibles sobre los eventos de precipitación son limitados. La precipitación es calculada con la distribución exponencial utilizando la siguiente ecuación.

$$f_{\text{exp}}(x; \lambda) = \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (6)$$

Donde el parámetro λ es la media de los datos de precipitación.

Figura 2. Ejemplo de una distribución exponencial



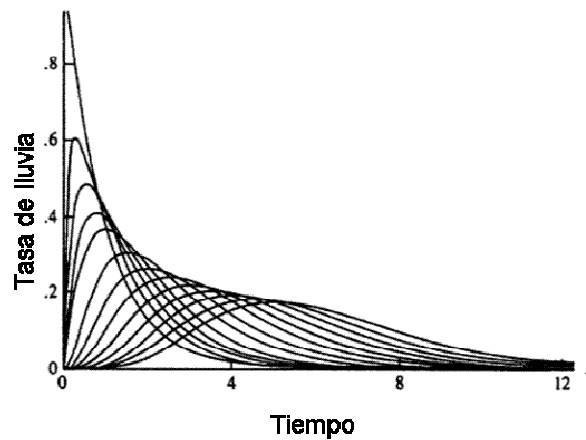
¹⁷ S.L. NEITSCH, J.G. ARNORLD, J.R. KINIRY, J.R. WILLIAMS, 2005, "Soil and water assessment tool theoretical documentations". Texas. Pág. 64

Entre estas distribuciones otra que es usada para modelar las tasas de lluvia es la distribución gamma (Fig. 3), la cual esta definida por:¹⁸

$$f(x)dx = \frac{x^{\alpha-1} \exp(-x/\beta)}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} dx \quad x, \alpha, \beta > 0 \quad (7)$$

Donde α y β son la forma de los parámetros de escala, y Γ es la función gamma usual. Si cambiamos α y β , la función gamma puede representar muchas formas. La versatilidad de la gamma la hace una atractiva candidata para representar la distribución de la lluvia.

Figura 3. Ejemplo de una distribución gamma



Por ultimo exponemos otra distribución que también se usa comúnmente para representar las tasas de lluvia, esta es la distribución lognormal. La distribución lognormal (Figura 4) es similar en apariencia a la distribución gamma (Figura 3). La distribución lognormal, tiene por supuesto que el logaritmo de los datos se distribuye como una normal. La distribución lognormal esta dada por:

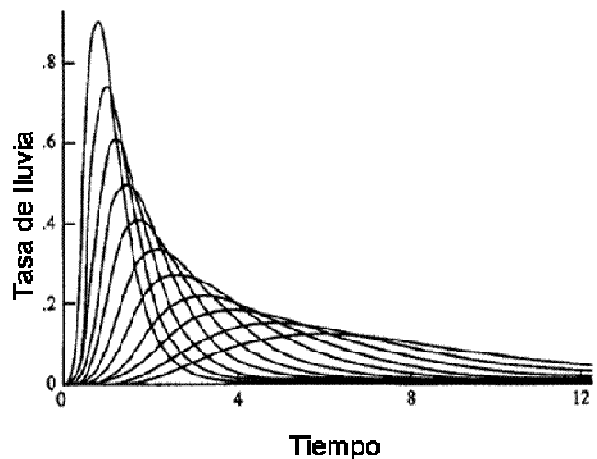
$$f(x)dx = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\ln(x/x_0)]^2}{2\sigma^2}\right\} dx \quad (8)$$

con μ y σ como la media y la desviación estándar de las variables transformadas logarítmicamente, respectivamente.¹⁹

¹⁸ STEVEN W. MARTIN, BARRY J. BARNETT, KEITH H. COBLE, 2001, "Developing and pricing precipitation insurance". Pág. 265

¹⁹ HYE-KYUNG CHO, KENNETH P. BOWMAN, AND GERALD R. NORTH, 2004, "A comparison of Gamma and Lognormal Distributions for Characterizing Satellite Rain Rates from the Tropical Rainfall Measuring Mission". Pág. 1587

Figura 4. Ejemplo de una distribución Lognormal



Una de las ventajas de modelar con la distribución lognormal es que nos permite utilizar la teoría que se tiene para la distribución normal con una escala logarítmica, y hacer que se ajusten los parámetros es relativamente sencillo.

Otro punto significativo en el uso de la lognormal para el objetivo buscado dentro de este trabajo, es que la teoría para el cálculo de las opciones esta fundada en el modelo de Black & Scholes el cual usa como supuesto que los precios siguen una distribución lognormal, y por lo tanto sus rendimientos siguen una distribución normal, teniendo en cuenta esto y dado que podemos tomar dicha distribución para medir la tasa de la lluvia será lo que se usará para realizar los cálculos del precio de las opciones.

2.3 ALGUNAS FUNCIONES PARA PRECIO DE OPCIONES.

Existen varias formas para ponerle precio a las opciones, las opciones se puede decir que son un “seguro financiero” que brinda protección contra los daños que ocasiona la precipitación.

La función de pagos más sencilla que se maneja en el caso de Put, vienen dada de la forma:

$$\max(k - x, 0) * \lambda \tag{9}$$

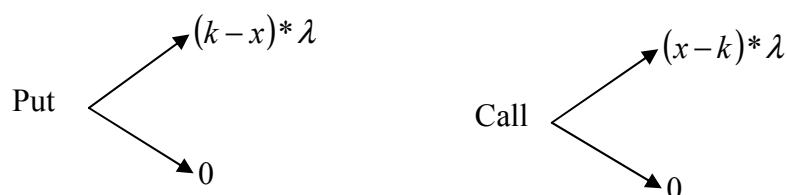
Y para Call:

$$\max(x - k, 0) * \lambda \tag{10}$$

Donde “k” es el precio de ejercicio es decir es el valor acumulado de lluvia durante un periodo mediante el cual el instrumento entrará en vigor o no, este es elegido por ambas partes, “x” es el valor acumulado de la lluvia durante el periodo del contrato, dado que tanto “x” como “k” son unidades de lluvia se determina un factor λ siendo este un valor monetario predeterminado el cual representara el valor que se tendrá que pagar por unidad del índice.

Gráficamente podemos ver las ecuaciones (9) y (10) como:

Figura 5. Funciones de Indemnización



Elaboro: Pérez Abea Camarena, Efraim (2009)

Las ecuaciones (9) y (10), son las más aceptadas aunque hay algunas variantes de las mismas. Una de ellas es la siguiente función de indemnización propuesta para el caso de una Put Europea.

$$\max((k-x)/k, 0) * \alpha = \max(1 - x/k, 0) * \alpha \quad (11)$$

Donde la ecuación $\max((k-x)/k, 0)$ representa que porcentaje se deberá de pagar como indemnización cuando ocurra el evento, dado que se tienen un porcentaje excedente, la cantidad que se pagara será α y esta a su vez representa el monto máximo que se puede cobrar al ejercer la opción y esto ocurriría si $x=0$, así mismo cabe señalar que la ecuación (11) es idéntica a la ecuación (9) si tomáramos $\lambda = \alpha/k$.

Para el caso Call resulta algo similar:

$$\max((x-k)/k, 0) * \alpha = \max(x/k - 1, 0) * \alpha \quad (12)$$

Cabe hacer notar que una diferencia entre las opciones tradicionales y las opciones para lluvia es que en estas últimas el valor "x" tiene una cota natural en cero, es decir no existe una tasa negativa de lluvia, esto hace que la Put tenga una cota superior sin embargo esto no ocurre para la Call, esta opción no tiene una cota superior, y por lo tanto la obligación que se genera con esta puede ser infinita.

CAPITULO III CALCULO DEL PRECIO DE DERIVADOS

A lo largo de este capítulo deduciremos la formula de Black & Scholes para ponerle precio tanto a una opción de compra (Call) como a una de venta (Put), una vez hecho esto haremos propondremos una formulación de la funciones de pago en el caso de precipitaciones con el objetivo de encontrar una formula que nos permita ponerle precio a una opción climática de lluvia, para poder aplicarlo en el caso del Estado de Tabasco. Consecutivamente una vez obtenidos los resultados haremos una simulación del proceso de lluvia mediante un modelo binomial con 5 nodos (5 días).

3.1 ALGUNAS CONSIDERACIONES

Como se mencionó en el capítulo pasado, una de las distribuciones para la modelación de la lluvia y la más adecuada para el desarrollo deseado de este trabajo es la lognormal, mediante esta podemos utilizar un método para generar un proceso de precios el cual partirá de la base de una lognormal. Lo primero que haremos será dar algunas consideraciones que tendremos que debemos de tener en cuenta.

$$\text{Si } X \sim N(\mu, \sigma^2) \Rightarrow f_X(x) = \frac{e^{-\frac{[x-\mu]^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi} \sigma} \quad (1)$$

$$\text{Si } Y_t = e^X \Rightarrow f_Y(y) = \frac{e^{-\frac{[\ln(y)-x]^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi} \sigma y} \Rightarrow Y \sim \text{lognormal} \quad (2)$$

Algunas observaciones que nos serán de utilidad son:

$$f_X(\mu + \sigma z) * \sigma = f_Z(z) \text{ donde } f_Z(z) \sim N(0,1) \quad (3)$$

$$f_Y(e^x) * y = f_X(x) \quad (4)$$

3.2 HIPOTESIS DE LA FORMULA BLACK & SCHOLES.

Antes de empezar con la deducción de la formula de Black & Scholes, primero señalaremos las hipótesis bajo las cuales se cumple este resultado.

- a) El mercado se supone sin fricciones es decir no se cobran impuestos, no hay costos de transacción
- b) El activo no paga ningún dividendo durante su periodo de vida (0, T)

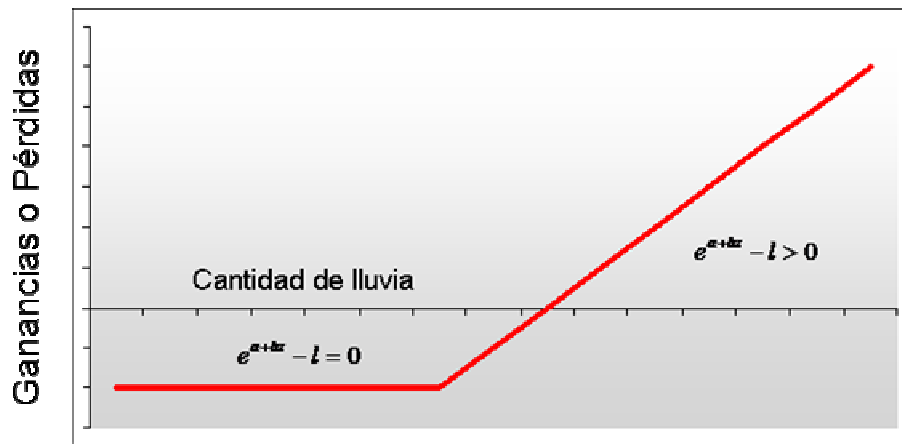
- c) La tasa libre de riesgo a la que se compra o presta se supone constante durante el periodo $(0, T)$
- d) No existen oportunidades de arbitraje en el mercado, es decir dos activos que proveen los mismos flujos de efectivo, deben tener el mismo precio.
- e) $\frac{dS_t}{S_t} = \mu dt + \sigma dW_t$ con $(W_t)_{t \geq 0}$ denota un movimiento browniano¹ y σ denota la volatilidad del activo, donde S_t representa el precio del activo subyacente

Podemos observar que, dado que el activo no paga ningún dividendo, lo que se obtiene sobre el intervalo $(t, t + dt)$, proviene de la ganancia que se genera de $S(t + dt) - S(t)$. Una vez dicho esto podemos proceder a deducir la formula de Black & Scholes.

3.3 DEDUCCIÓN DE LA FORMULA BLACK & SCHOLES PARA LA OPCION DE COMPRA (CALL)

Ahora procederemos a deducir la formula de Black & Scholes para una opción de compra (Call).

Figura 1. Grafica de un Opción Call



Elaboro: Pérez Abea Camarena, Efraim (2009)

Sea $h = \max\{y - l, 0\}$ donde $y \sim \text{lognormal}$ y h nos indica la parte positiva de una función. Esta función es definida así debido a que la función de pagos de una opción Call se establece de manera similar, y se busca saber cual es el valor esperado del activo en el tiempo $t = 0$ por lo que para poder obtener lo buscado primero procederemos a obtener la esperanza de h , para poder después aplicarlo en la función de pagos de la opción.

¹ El movimiento browniano en un inicio fue observado en el movimiento aleatorio de algunas partículas que se hallan en medio de un fluido (un ejemplo de ellos es el polen), este concepto fue adaptado para los movimientos aleatorios de las acciones.

$$E(h) = E(h|F_0)$$

$$\int_0^{\infty} hf_Y(y)dy = \int_0^{\infty} (y-l)^+ f_Y(y)dy \quad (5)$$

Proponemos el siguiente cambio de variable

$$\begin{cases} y = e^x \\ dy = e^x dx = y dx \\ \ln(y) = x \end{cases} \rightarrow \begin{cases} y \rightarrow 0 \Rightarrow x \rightarrow -\infty \\ y \rightarrow \infty \Rightarrow x \rightarrow \infty \end{cases}$$

Sustituyendo esto en (5) y aplicando (4) obtenemos

$$\int_{-\infty}^{\infty} (e^x - l)^+ f_Y(e^x) y dx = \int_{-\infty}^{\infty} (e^x - l) f_X(x) dx \quad (6)$$

Ahora proponemos el siguiente cambio de variable

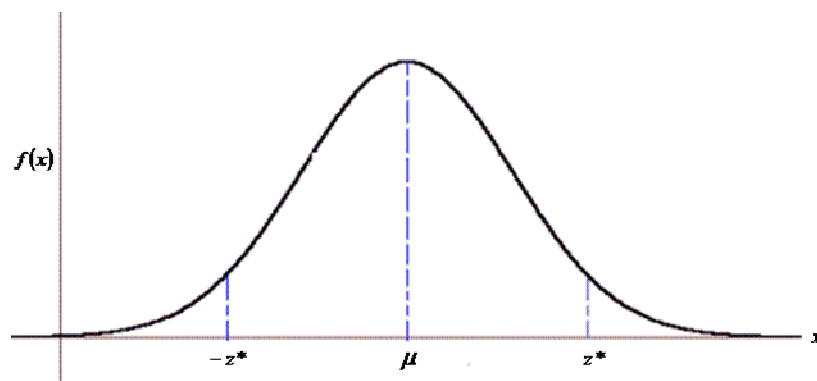
$$\begin{cases} x = a + bz \\ dx = b dz \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x \rightarrow \infty \Rightarrow z \rightarrow \infty \\ x \rightarrow -\infty \Rightarrow z \rightarrow -\infty \end{cases}$$

Sustituyendo en (6) y aplicando (3) obtenemos

$$\int_{-\infty}^{\infty} (e^{a+bz} - l)^+ f_X(a + bz) b dz = \int_{-\infty}^{\infty} (e^{a+bz} - l)^+ f_Z(z) dz \quad (7)$$

Dado que nos piden integrar solo la parte positiva entonces solo nos interesa integrar a partir de cierto número z^*

Figura 2. Gráfica de un Distribución Normal



$$z^* = \frac{\ln(l) - a}{b} \Rightarrow e^{a+bz} - l > 0$$

$$\Pr[N(b,1) > z^*] \Rightarrow \Pr[b + z > z^*] \Rightarrow \Pr[z > z^* - b]$$

entonces (9) se puede escribir como:

$$e^{\frac{a+b^2}{2}} \phi(-z^* + b) - l\phi(-z^*)$$

Por lo tanto:

$$E(h) = e^{\frac{a+b^2}{2}} \phi(-z^* + b) - l\phi(-z^*) \quad (10)$$

Con Donde $\phi(-z^* + b)$ es $\frac{e^{-\frac{(-z^*+b)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$

Ahora si definimos el proceso S_t (donde S_t es el precio del activo) como:

$$S_t = S_0 e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma\sqrt{t}z} \quad (11)$$

Debido a que la función de pago de una opción de compra (Call) esta dado por:

$$C_t = \max\{S_t - k, 0\}$$

Para obtener su precio en el tiempo $t = 0$ será necesario obtener su esperanza bajo una cierta medida de probabilidad llamado “medida de probabilidad neutral al riesgo”², para esto haremos mención de una manera informal del “Principio de Valuación neutral al Riesgo”

Principio de valuación neutral al riesgo.

En un mundo libre de arbitraje, el precio de un derecho contingente alcanzable V_0 (cualquier activo cuyo pago futuro depende del resultado de un evento incierto), en el tiempo $t = 0$ es igual al valor esperado bajo Q (medida de probabilidad neutral al riesgo) del derecho contingente descontado.

En términos coloquiales, lo que significa es que el valor esperado de cualquier activo el día de hoy, deber ser su precio spot, es decir no existe riesgo en el mercado.

Utilizando este principio deberemos de obtener el valor esperado de C_t traído a valor presente.

² La medida de probabilidad neutral al riesgo es aquella que permite que los valores esperados de los activos coincidan con las expectativas de los inversionistas, es decir que el valor presente en el tiempo $t = 0$ del activo subyacente sea igual a su precio spot.

$$\begin{aligned}
C_0 &= E_Q[C_t e^{-rt}] = e^{-rt} E_Q[\max\{S_t - k, 0\}] \\
C_0 &= e^{-rt} S_0 E_Q\left[\left(\frac{S_t}{S_0} - \frac{k}{S_0}\right)^+\right] \\
C_0 &= e^{-rt} S_0 E_Q\left[(e^{a+bz} - l)^+\right]
\end{aligned} \tag{12}$$

Donde $e^{a+bz} \sim \log normal$, tomando

$$a = \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t, \quad b = \sigma\sqrt{t}, \quad l = \frac{k}{S_0}$$

Para poder utilizar la ecuación (10) primero deberemos de obtener los valores de $-z^*y - z^* + b$, sabemos que $z^* = \frac{\ln(l) - a}{b}$ sustituyendo los valores de a, b y l en z^* tenemos que:

$$z^* = \frac{\ln(l) - a}{b} = \frac{\ln\left(\frac{k}{S_0}\right) - \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

Entonces obtenemos que

$$-z^* = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{k}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}} \tag{13}$$

y para $-z^* + b$

$$-z^* + b = \frac{\ln\left(\frac{k}{S_0}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}} + \sigma\sqrt{t} = \frac{\ln\left(\frac{k}{S_0}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}} \tag{14}$$

Si decimos que $-z^* = d_2$ y $-z^* + b = d_1$ entonces sustituyendo en (10) obtenemos:

$$\begin{aligned}
C_0 &= S_0 e^{-rt} \left[e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \frac{\sigma^2 t}{2}} \phi(d_1) - \frac{k}{S_0} \phi(d_2) \right] \\
C_0 &= S_0 \phi(d_1) - k e^{-rt} \phi(d_2)
\end{aligned} \tag{15}$$

Donde la ecuación (15) representa la formula de Black & Scholes para una opción de compra (Call).

3.4 DEDUCCIÓN DE LA FORMULA BLACK & SCHOLES PARA LA OPCION DE VENTA (PUT)

Para obtener la formula de una opción de venta (Put) el procedimiento es muy similar solo que se toma $h = \max\{l - y, 0\}$, y se sigue una lógica similar al que se hizo para la obtención de la opción Call. Sin embargo también podemos utilizar la paridad Put-Call donde esta se obtiene con la siguiente lógica:

Si tenemos dos portafolios A y B, donde el portafolio A esta compuesto por una Call " C_t " más una cantidad de efectivo dada por ke^{-rt} , y el portafolio B esta compuesto por una opción Put más una acción S_t , al momento de la expiración ambos portafolios deben de tener una ganancia de $\max(S_t, k)$ por lo tanto:

$$C_t + ke^{-rt} = S_t + P_t \Rightarrow P_t = C_t + ke^{-rt} - S_t \quad (16)$$

Si obtenemos la esperanza de P_0 bajo la medida de probabilidad neutral al riesgo Q obtenemos:

$$E_Q(P_0) = E_Q(C_t + ke^{-rt} - S_t) = C_0 + ke^{-rt} - E_Q(S_t)$$

Sabemos de la ecuación (11) que:

$$S_t = S_0 e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma\sqrt{t}z}$$

Entonces el valor esperado de S_t descontado será igual a:

$$E_Q(S_t e^{-rt}) = S_0 e^{-rt} E_Q \left[e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma\sqrt{t}z} \right] = S_0 e^{-rt} e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \frac{\sigma^2 t}{2}} = S_0$$

Donde $e^{\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \frac{\sigma^2 t}{2}}$ es la esperanza de la lognormal.

Entonces la ecuación (16) se convierte en:

$$P_0 = C_0 + ke^{-r(T-t)} - S_0$$

Como $C_0 = S_0 \phi(d_1) - ke^{-rt} \phi(d_2)$ entonces obtenemos

$$P_0 = S_0 \phi(d_1) - ke^{-rt} \phi(d_2) + ke^{-rt} - S_0 = -S_0 (1 - \phi(d_1)) + ke^{-rt} (1 - \phi(d_2))$$

Lo que implica que:

$$P_0 = ke^{-rt}\phi(-d_2) - S_0\phi(-d_1) \quad (17)$$

Y la ecuación (17) representa la fórmula de Black & Scholes para una opción de compra (Put).

3.5. FORMULACIÓN DE LAS FUNCIONES DE PAGO EN EL CASO DE LLUVIA.

Para el establecimiento de un día lluvioso según la información obtenida del Gobierno del Estado de Tabasco mediante la Dirección General de Protección Civil, con la información proporcionada por el Centro Nacional de Previsión del Tiempo del Servicio Meteorológico Nacional, se constituyen las siguientes escalas.

Tabla 1. Escalas que cuantifican el potencial de lluvia

Simbología	Característica	Escala
L	Lluvia Ligera	Menor a 5 mm ³
M	Lluvia Moderada	de 5 a 20 mm ³
F	Lluvia Fuerte	de 20 a 70 mm ³
I	Lluvia Intensa	70 a 150 mm ³
T	Lluvia Torrencial	mayor a 150 mm ³

Fuente:³

Debido a que ciertos sectores de la economía en el estado de Tabasco como por ejemplo, el sector primario (agrícola, ganadero, pesquero, entre otros), se ven beneficiados directamente por una lluvia moderada o ligera, y lo que verdaderamente les afecta son a partir de las lluvias fuertes, las cuales pueden causar pérdidas, definimos un día lluvioso (*Rainy Day*) como:

$$RD_i = \max(R_i - 20, 0)$$

Donde R_i la cantidad de lluvia generada en el día i medida en mm³.

El Índice generado por RD_i nos servirá para eliminar todos aquellos días para los cuales no se cumple con la condición de cobertura. Este indicador igualmente nos servirá para obtener los milímetros excedidos en un día a causa de una lluvia fuerte o superior, lo que hacemos a continuación es acumular estos milímetros mediante:

$$RDA = \sum_{i=1}^N RD_i$$

³ http://www.tabasco.gob.mx/noticias/vernotas_sp.php?id=5552

Donde RDA es el acumulado de los milímetros lluvia. De aquí obtenemos una fórmula para los pagos de una Call como:

$$\Theta = \alpha \max(RDA - K, 0)$$

De forma similar para una Put tenemos

$$\Theta = \alpha \max(K - RDA, 0)$$

Donde K denota el nivel de ejercicio, α el pago monetario que se generara por cada uno de los mm^3 excedidos.

Como consideración deberemos de tomar en cuenta que, debido a que el objetivo de la medición para una Call, es obtener el exceso de lluvia generado durante un periodo de tiempo y este a su vez puede ocasionar perdidas potenciales, la Put en este caso carecerá de sentido, debido a que esta lo que buscara cubrir, es que haya sequía en temporada de lluvia, y debido a que la región sobre la cual estamos trabajando, la probabilidad de que ocurra eso, tiende a cero.

3.6 RESULTADOS DEL MODELO EN TABASCO.

La aplicación del modelo en Tabasco para el año 2007, se realizó tomando en cuenta escenarios bimestrales, trimestrales, y anual.

Para la obtención de los escenarios, se consideraron las lluvias fuertes las cuales como se mencionó anteriormente son aquellas que ascienden a mas de $20mm^3$ de lluvia por día, si el precio de ejercicio K se tomó igual a $100mm^3$ obtenemos.

Tabla 2. Resultados en Tabasco

CALL		
k	20	
Contratos	1	
K	100	\$ Contrato
	mm^3 (excedidos)	\$1,000
Call Anual	340.20	\$340,200.00
Call 1-Trimestre	0.00	\$0.00
Call 2-Trimestre	0.00	\$0.00
Call 3-Trimestre	163.90	\$163,900.00
Call 4-Trimestre	176.30	\$176,300.00
Call 1. Bimestre	0.00	\$0.00
Call 2. Bimestre	0.00	\$0.00
Call 3. Bimestre	0.00	\$0.00
Call 4. Bimestre	0.00	\$0.00
Call 5. Bimestre	340.20	\$340,200.00
Call 6. Bimestre	0.00	\$0.00
Call "Jun-Oct"	340.20	\$340,200.00

*Cantidad establecida en Dólares

Lo cual representa la función de pagos de una Call durante el periodo de estudio.

Sabemos que el estado de Tabasco es por naturaleza un estado húmedo y que generalmente hay lluvias ligeras, sin embargo la formulación de la opción climática elimina los efectos de este tipo de lluvia que hasta cierto punto beneficia a la entidad y solamente cubre los eventos inusitados, por lo tanto podemos notar que durante el primer semestre del año, debido a los parámetros establecidos para el cálculo de la opción, esta no genera ningún tipo de pago, sin embargo, cuando el periodo atípico de lluvia azota al estado durante el año 2007, la opción financiera se ejerce, por lo que el tenedor de la opción climática recibirá la cantidad establecida mostrada en la tabla anterior.

En el ejemplo suponemos que las lluvias con importancia debido a su fuerza y las cuales pueden causar estragos son las pertenecientes a la escala "F" mostrada en la tabla 1, es decir solo tomamos en cuenta aquellas que superan los 20 mm³ de lluvia diarios.

Con esto podemos visualizar el objetivo primordial de la opción el cual es; cubrir las pérdidas generadas en periodos poco usuales del clima, pudiendo así disminuir las pérdidas ocasionadas por la catástrofe, o bien generando un ingreso en caso de que se haya usado como un instrumento de especulación.

Ahora utilizando el procedimiento de las ecuaciones (2) y (3) en el capítulo dos, podemos obtener las probabilidades del proceso, donde estas son:

$$\begin{aligned} P(X_t = 0 / X_{t-1} = 1) &= 0.076 & P(X_t = 1 / X_{t-1} = 1) &= 0.235 \\ P(X_t = 0 / X_{t-1} = 0) &= 0.924 & P(X_t = 1 / X_{t-1} = 0) &= 0.765 \end{aligned}$$

3.7 SIMULACIÓN

La importancia de una simulación para el estudio de un evento, es que está nos puede dar una cierta idea de cómo se puede ir generando el suceso, y en base a eso, ver si tiene el comportamiento deseable. Es por esto que se ha planteado hacer una simulación del proceso de lluvia tomando en cuenta tres diferentes escenarios.

En uno de los escenarios desarrollados se presenta un proceso de lluvia con una tasa de lluvia baja, es decir, buscamos ver si el acumulación de los milímetros cúbicos de lluvia son suficientes para hacer pagadera la opción.

El segundo escenario es una tasa de lluvia media, con esto se busca ver como se presentan los pagos de la opción con un comportamiento del proceso de lluvia más agresivo.

Finalmente presentamos una simulación con una tasa alta, con la cual queremos visualizar el comportamiento del pago de la opción cuando ocurren tormentas.

Para la realización de una simulación elegimos una distribución binomial, esto debido a que el proceso de lluvia puede simplemente tener dos posibilidades (llueve o no llueve).

El proceso generado para la simulación se hizo mediante 5 nodos, donde se estableció una cantidad de lluvia inicial de 30 mm^3 para ver como iba evolucionando el proceso, el ticket es de 100 mm^3 , el tamaño de contrato 1,000.00 dólares.

A continuación presentamos las simulaciones generadas.

TASA BAJA									
PROCESO DE LLUVIA					PRECIO DE LA OPCIÓN CLIMÁTICA				
				31.22					\$0.00
			30.91		30.91				\$0.00
		30.60		30.60					\$0.00
	30.30		30.30		30.30				\$0.00
30.00		30.00		30.00					\$0.00
	29.70		29.70		29.70				\$0.00
		29.41		29.41					\$0.00
			29.12		29.12				\$0.00
				28.83					\$0.00
					28.54				\$0.00

En el caso de que se hayan presentado lluvias ligeras durante un periodo de tiempo, lo que podemos observar es que, dada la baja intensidad, estas no sobrepasaron el ticket de la opción, que es como si visualizáramos comprar una opción que nos cubría contra la lluvia en tiempos de sequía o que de antemano sabemos que son de lluvia escasa.

TASA MEDIA									
PROCESO DE LLUVIA					PRECIO DE LA OPCIÓN CLIMÁTICA				
				151.88					\$127,812.50
			101.25		101.25				\$51,875.00
		67.50		67.50					\$21,050.00
	45.00		45.00		45.00				\$8,540.00
30.00		30.00		30.00					\$3,464.00
	20.00		20.00		20.00				\$800.00
		13.33		13.33					\$320.00
			8.89		8.89				\$0.00
				5.93					\$0.00
					3.95				\$0.00

Así mismo se tiene que con una tasa de media los pagos de la opción no se generan en todos los escenarios por lo que solo se estará cubriendo aquellos casos en los que se este sobrepasando el ticket de la opción

TASA ALTA									
PROCESO DE LLUVIA					PRECIO DE LA OPCIÓN CLIMÁTICA				
				470.47					\$836,238.80
			236.42		236.42				\$370,471.76
		118.80		118.80					\$154,269.23
	59.70		59.70		59.70				\$61,750.79
30.00		30.00		30.00					\$24,049.00
	15.08		15.08		15.08				\$5,103.38
		7.58		7.58					\$1,706.82
			3.81		3.81				\$0.00
				1.91					\$0.00
					0.96				\$0.00

Y finalmente, si tenemos un caso de tormentas, vemos que el costo de la opción se eleva, sin embargo la indemnización generada por este tipo de eventos es mucho mayor.

Esto nos indica, que el precio de la opción climática dependerá del lugar donde se quiere contratar, por lo que será más cara en lugares más expuestos a este riesgo. Las regiones cercanas a la costa, son mucho mas propensas a sufrir este tipo de eventos que regiones céntricas, por lo que en las primeras el costo de las opciones climáticas dado el riesgo que representan deberá de ser superior.

CONCLUSIONES.

La pérdida potencial que se genera a través de los riesgos climáticos es enorme, las opciones climáticas y en general los derivados climáticos, son una nueva herramienta que apenas se está desarrollando para la cobertura de estos riesgos.

La opción climática al cubrir los riesgos potenciales propiciados por un fenómeno adverso beneficia a los tenedores de estos instrumentos, generando así una mayor seguridad entre los inversionistas lo cual llevaría a una mejor estabilidad económica al tener un ingreso seguro “en el caso de que no se use como un instrumento de especulación”. Las pérdidas monetarias ocasionadas en el estado de Tabasco a causa de las inundaciones pudiesen haberse reducido considerablemente si se hubiesen tenido este tipo de instrumentos, lo que probablemente hubiera ocasionado una recuperación más rápida de la entidad.

Debido a que la opción climática se encuentra regida por sus parámetros iniciales, el éxito de este tipo de instrumento dependerá en gran parte de la correcta elección de estos, de donde podemos visualizar la importancia de tener una base de datos sólida mediante la cual podamos obtener los parámetros correctos.

Ahora bien si nos preguntamos cuales son los parámetros correctos, de cierta manera podríamos decir que dependerá de la aversión al riesgo que tenga el inversionista, es decir dependerá de la expectativa que tenga el inversionista respecto al clima así como de la entidad donde contraerá el derivado. Cabe destacar que esto es posible debido a que no son contratos estandarizados por lo cual se pueden crear “opciones hechas a la medida”

Sabiendo que la confiabilidad de una opción climática depende de sus insumos iniciales extraídos de una estación meteorológica en particular, sería deseable realizar una inversión tecnológica para su correcta medición, no solo con el objetivo de que los registros del fenómeno en las estaciones meteorológicas durante sean más confiables, si no también para la prevención y evaluación de catástrofes de esta índole.

De las grandes ventajas de las opciones climáticas comparadas contra los seguros climáticos es que aunque los dos sirven para cubrir riesgos del mismo tipo, la versatilidad de la opción climática al poder ser contratos a la medida deberá de tomarse en cuenta cuando se busque la cobertura. Así mismo el tenedor de una opción climática no necesita comprobar que haya tenido una pérdida con el fin de poder hacer efectivo su beneficio, mientras que en el contrato de seguro si.

Los peligros climáticos tienen un impacto tanto social como financiero, debido a esto, la correcta medición y pronóstico de estos pudieran servir para crear estrategias que permitan a la sociedad organizarse y enfrentar las situaciones adversas generadas por los fenómenos, por que si la capacidad de reacción

ante los desastres inminentes es lenta, se entorpecerá la recuperación de las afectaciones sufridas.

Así también teniendo una mejor control de los cambios climáticos, podremos ser capaces de desarrollar nuevos y mejores modelos para su registro y cobertura en el corto, mediano y largo plazo. Aunado a esto debido a que aproximadamente el 70%¹ de las compañías enfrentan el riesgo climático de una u otra forma, estas deberían de empezar a considerar la posibilidad de incluir este tipo de riesgo en la toma de decisiones debido a las grandes pérdidas que les pudiese ocasionar.

Los derivados climáticos pueden llegar a representar un gran negocio, pero debido al desconocimiento de los mismos o su aversión a este tipo de instrumentos ha propiciado que no se generen muchas transacciones.

Como es de nuestro conocimiento el clima esta en si mismo interrelacionado, es por esto que un gran reto a plantear es construir un modelo en el cual se consideren varios factores en su conjunto, es decir que se incluya la temperatura, la humedad, la lluvia, etc.... debido a que cada uno de ellos tiene una influencia directa sobre el otro, y no solo tomar la medición en particular de los eventos y con esto poder generar cálculos mucho mas confiables.

¹ NIGERATZE, CASANOVA. Opcit. Pág. 14

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

GEMAN HELYETTE, 1999, "Insurance and weather derivatives", Risk Books

NIGERATZE, CASANOVA. "Derivado de Temperatura para el estado de Chiapas". Tesina. Facultad de Estudios Superiores Acatlan. Abril 2005

SEGOB. Programa de Protección Civil 2001-2006. Sistema Nacional de Protección Civil, Secretaria de Gobernación. México, 2001

LANDA ROSALVA, MAGAÑA VICTOR y NERI CAROLINA, "Agua y clima: Elementos para la adaptación al cambio climático". Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2008

ARTICULOS

ALATON, PETER. "On Modeling and Pricing Weather Derivatives". Dept. of Mathematics, KTH. Stockholm. Applied Mathematical Finance, Volume 9. March 2002

BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. "Noticias del Mundo de los Derivados" Año XI, No 517, Junio 2008

Boletín informativo, de la Dirección General del Archivo Histórico y Memoria Legislativa. Año V, No 36, Abril-Junio 2005.

ESEVERRI, JOSÉ. (2009, 12 febrero de 2009). "Consume crisis bonos de Carbono", Negocios, Periódico Reforma.

HYE-KYUNG CHO, KENNETH P. BOWMAN, AND GERALD R. NORTH, "A comparison of Gamma and Lognormal Distributions for Characterizing Satellite Rain Rates from the Tropical Rainfall Measuring Mission", Department of Atmospheric Sciences, Texas A&M University, College Station, 2004.

ITURRIOZ, RAMIRO. "Derivados Climáticos, Una Nueva Herramienta de Cobertura de Riesgos en el sector de los Agronegocios". Buenos Aires, Mayo 2003.

KAMER, A. "Weather Derivatives. The legal Perspective". Weather Risk Management Association, Annual Meeting. Coral Gables, Florida. 2002.

MORENO, MICHEL. "Rain Risk". Speedwell Weather Derivatives 19, St Mary At Hill London. 2002.

ROLDAN JOSE. "Tendencias actuales en el modelado de la precipitación diaria", E.T.S.I. Agrónomos y de Montes, Universidad de Córdoba, Vol I, Num I

S.L. NEITSCH, J.G. ARNOLD, J.R. KINIRY, J.R. WILLIAMS, 2005, "Soil and water assessment tool theoretical documentations", Soil and Water Research laboratory, agricultural research service, 1994.

STERN, H, "Managing Weather Risk". Victorian Regional Office. Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia. 2001

STEVEN W. MARTIN, BARRY J. BARNETT, KEITH H. COBLE, "Developing and pricing precipitation insurance", Western Agricultural Economics Association, 2001.

MILLER .STUART, KEIPI KARI. "Estrategias e instrumentos financieros para la gestión del riesgo de desastres en América Latina y el Caribe" , Banco Interamericano de Desarrollo. Washington DC. 2006

Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático. Naciones Unidas 1998.

INTERNET

<http://cuentame.inegi.gob.mx/default.aspx> (Consultada 26-Mayo-2009)

<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx> (Consultada 18-Mayo-2009)

http://www.tabasco.gob.mx/noticias/vernotas_sp.php?id=5552
(Consultada 1-Junio-2009)

http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/acertadistico/producto_interno_bruuto.pdf (Consultada 23-Agosto-2009)

http://cambio_climatico.ine.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html
(Consultada 23-Agosto-2009)

http://206.132.98.197/conferencias_empresariales/conferencias%202008/mes%20de%20septiembre/Mecanismos%20de%20Desarrollo%20Limpio,%20como%20Oportunidad%20de%20Negocios.pdf (Consultada 23-Agosto-2009)