

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA



Derivados Climáticos: ñUna nueva Herramienta de Cobertura de Riesgos en el Sector Agrícolaò

Tesis de Grado presentada por

Adrián Rodríguez Jarpa

Como requisito para optar al grado de

MBA Magíster en Gestión Empresarial

Director de Tesis: **Dr. Patricio Rubio Romero**

Marzo 2017

Derivados Climáticos: ñUna nueva Herramienta de Cobertura de Riesgos en el Sector Agrícolaò

AUTOR:

ADRIAN RODRIGUEZ JARPA

TRABAJO DE TESIS, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Observaciones:

Dr. Patricio Rubio Romero.

é é é é é é é ..é é ..

Dr. Correferente Interno a Designar.

.....

Dr. Evaluador Externo a Designar.

.....

Santiago, marzo 2017

Todo el contenido, análisis, conclusiones
y opiniones vertidas en este estudio son
de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Adrián Rodríguez Jarpa

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Adrián Rodríguez Jarpa', with a stylized flourish at the end.

Fecha: Marzo 2017

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios y a todas aquellas personas que me han apoyado durante estos años de formación humana y profesional.

A mi profesor guía Sr. Patricio Rubio por su apoyo, enseñanza y aportes en el desarrollo y cumplimiento de los objetivos, los cuales han sido fundamentales para lograr terminar el proceso.

A la Negrita que siempre me ayuda y apoya, en el logro de mis metas, sin ese aporte no hubiese sido posible llegar a puerto.

RESUMEN EJECUTIVO

Los derivados climáticos componen un instrumento para reducir el riesgo financiero que afrontan compañías cuyas ganancias o flujos de efectivo están directamente correlacionados a las condiciones climáticas. Proporcionan cobertura frente a eventos altamente probables (lluvias, sequías, nieve, temperaturas demasiado altas/frías, etc.) de relativo bajo riesgo.

Un derivado del clima se basa en un subyacente que no es negociable como sí lo son los precios de activos financieros, este instrumento se apoya en el clima. En el caso de una opción climática aplicado a agricultura el objetivo es cubrir la incertidumbre sobre volúmenes producidos.

El propósito de este trabajo es demostrar que los derivados climáticos se pueden emplear como una forma de cobertura o seguro agrícola contra eventos específicos inesperados del clima. La transferencia del riesgo al mercado es una manera efectiva de cubrirse frente a riesgos de diversas naturalezas. Se analizan diferentes modelos de pricing de derivados de clima utilizando datos históricos de muestra para evaluar el impacto en las opciones de compra y venta, *call* y *put*, basados en riesgos climáticos de calor y lluvia de manera de evaluarlos teóricamente, enmarcados en el campo de las finanzas corporativas sobre riesgo y clima.

En Chile está poco desarrollado el mercado de derivados financieros, por lo cual este trabajo tiene como objetivo poner a disposición de las compañías el uso de estos instrumentos de cobertura para su investigación y así acompañar el resurgimiento a nivel internacional de la necesidad de protegerse contra las inclemencias de la madre naturaleza, que día tras día produce pérdidas cuantiosas y millonarias en las economías de los países.

Se presenta el uso de este tipo de instrumentos financieros que permite llegar a un nivel mayor de protección, el cual nos permite asegurar los volúmenes de rendimientos de venta y con ello volver más previsible los flujos de caja de las compañías y de los productores agrícolas.

ABSTRACT

Climate derivatives are an instrument to reduce the financial risk faced by companies whose profits or cash flows are directly correlated to the climatic conditions. They provide coverage against highly probable events (rain, drought, snow, too high/cold temperatures, etc.) of relatively low risk.

A derivative of the climate is based on an underlying that is not negotiable as are the prices of financial assets, this instrument is based on the climate. In the case of a climatic option applied to agriculture, the objective is to cover the uncertainty about volumes produced.

The purpose of this paper is to demonstrate that climate derivatives can be used as a form of agricultural insurance or hedge against specific unexpected climatic events. The transfer of risk to the market is an effective way to hedge against risks of different natures.

Different models of climate derivative pricing are analyzed using historical sample data to evaluate the impact of call and put options based on climatic risks of heat and rain to evaluate them theoretically, framed in the field of Corporate finance on risk and climate.

In Chile, the market for financial derivatives is underdeveloped. Therefore, the purpose of this paper is to make available to companies the use of these hedging instruments for their research and to accompany the resurgence at the international level of the need to protect themselves against inclement of mother nature, which day after day produces large losses and millionaires in the economies of the countries.

We present the use of this type of financial instruments, which allows us to reach a higher level of protection, which allows us to secure the volumes of sales yields and with this, make the cash flows of companies and agricultural producers more predictable.

INDICE

1.	Introducción	11
2.	Origen y propósito del estudio	14
3.	Objetivos	15
3.1	Objetivo Principal	16
3.2	Objetivos Específicos	17
4.	Alcance del estudio	19
5.	Estado del Arte	21
5.1	Antecedentes del Estado del Arte	23
5.1.1	Mercado y origen de los Derivados	23
5.1.2	Derivados financieros tradicionales	28
5.1.3	Métodos de valoración de instrumentos financieros tradicionales	29
5.1.4	Derivados climáticos	29
5.1.5	Situación Mundial de los Derivados Climáticos	30
5.1.6	Situación de los Derivados Climáticos en Estados Unidos	31
5.1.7	Situación de los Derivados Climáticos en Europa	33
5.2	Marco teórico del Estado del Arte	33
5.2.1	Riesgo Climático	33
5.2.2	¿A quién le afecta el riesgo climático?	34
5.2.3	¿Por qué cubrir el riesgo climático?	35
5.2.4	Características de los derivados climáticos	36
5.2.5	Variables protegidas	36
5.2.6	Usuarios Potenciales	36
5.2.7	Algunos ejemplos de aplicación	37
5.2.8	Ventajas del Uso	37
5.2.9	Industrias afectadas por los cambios climáticos	37
5.2.10	Limitantes de Uso	38
5.2.11	Diferencias entre Derivados Climáticos y Seguro Tradicionales	38
6.	Metodología de Trabajo	41
6.1	Pasos metodológicos	43
6.2	Carta Gantt	44
7.	Aplicación Metodológica	46
7.1	Índices basados en temperatura	46
7.1.1	Índices de días grado (Degree days)	46
7.1.2	Índices de temperatura media promedio	49
7.1.3	Índices de temperatura promedio acumuladas (CAT)	49
7.1.4	Índices de eventos	49

7.2	Índices basados en precipitaciones	50
7.2.1	Índices de precipitaciones acumuladas	50
7.3	Ejemplo de Derivados Climáticos	50
8.	Derivados climáticos aplicados a la agricultura	53
8.1	Riesgos climáticos en la agricultura	54
8.2	Manejo del riesgo climático en la agricultura	55
9.	Modelos de valorización de Derivados	59
9.1	Actuarial Pricing	60
9.2	Market based o arbitraje pricing	61
9.3	Desarrollo de un modelo de valorización	62
9.4	Valorización de un derivado para Los Angeles International Airport (LAX), CA, EE. UU	63
9.4.1	Datos	64
9.4.2	Definición del derivado	64
9.4.3	Burn Analysis (Modelo 1)	65
10.	Conclusiones	69
10.1	Cumplimiento de objetivos específicos	70
10.2	Cumplimiento de objetivo general	72
10.3	Conclusiones específicas	74
10.4	Otras Conclusiones	76
11.	Bibliografía	77
12	Webgráficas	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Temperatura máxima, mínima, promedio e índices de días grado, en ciudades de Estados Unidos,.	48
Tabla 2: Estadísticas descriptivas data histórica	64
Tabla 3: Definición del derivado climático	64
Tabla 4: Cálculo en Excel de los flujos por año de una opción Put y Call	65
Tabla 5: Precios de las opciones call y put calculados mediante burn analysis vs precios de las mismas opciones entregados por CelsiusPro.	66
Tabla 6: Diferencias entre los precios entregados por el modelo con respecto a los precios de CelsiusPro	68
Tabla 7: Grado de cumplimiento de los objetivos	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Valor nocional de contratos transados por año en millones de dólares	25
Gráfico 2: Número de contratos transados por año	25
Gráfico 3: Transacciones de derivados climáticos por industrias	27
Gráfico 4: Diagrama de pagos, opción put sobre precipitaciones acumuladas mensuales (mm.)	51
Gráfico 5: Diagrama de pagos, opción call sobre precipitaciones acumuladas mensuales (mm.)	52
Gráfico 6: de precios calculados mediante burn analysis vs precios de CelsiusPro para la opción call para distintos niveles strike.	67
Gráfico 7: de precios calculados mediante burn analysis vs precios de CelsiusPro para la opción put para distintos niveles strike.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Pasos Metodológicos	55
FIGURA 2: Carta Gantt	56
FIGURA 3: Riesgos independientes y correlacionados	58

1. INTRODUCCIÓN

Para la mitología griega y romana, el clima fue siempre un elemento de suma importancia. Tanto Zeus, Dios supremo de los griegos antiguos, y Júpiter, el más importante Dios romano, les enviaban tormentas, rayos y lluvias. La forma más propicia de ganar el favor de los dioses era por medio de sacrificios. Lo que posteriormente hacían esos dioses por los griegos y romanos, es lo que hoy en día pueden hacer los derivados climáticos: mitigar los daños económicos de sucesos climáticos.

El clima es un factor económico importante, ya que afecta la capacidad de generar valor de muchas empresas en diferentes sectores productivos, entre los que se destaca la agricultura. El riesgo climático afecta los ingresos y costos de una empresa generando incertidumbre y volatilidad en sus flujos de efectivo.

La cobertura de riesgos en los negocios por sucesos climáticos adversos no es nueva, los fenicios, griegos y romanos negociaban contratos con cláusulas de opción sobre las mercancías que transportaban en sus naves. Sin embargo, ha sido en los últimos años cuando los contratos derivados han permitido a las empresas mitigar los efectos de los riesgos climáticos.

Si bien existen seguros que cubren ante la pérdida total por catástrofes, estas coberturas no protegen ante las menores ganancias que una compañía sufrirá por una caída en la demanda de su producto, es decir que los primeros cubren un alto riesgo, pero con baja probabilidad de que ocurra mientras que los derivados sirven de cobertura de un riesgo más bajo y con mayores probabilidades de ocurrencia.

El objetivo de este trabajo es proporcionar el conocimiento de nuevas herramientas de transferencia de riesgo y consecuentemente, lograr que cada agente económico tenga una combinación apropiada entre riesgo-rentabilidad.

Este trabajo está organizado como sigue:

El capítulo 2 presenta el origen y propósito del estudio señalando los fundamentos de realizar el trabajo y la importancia que tiene en la economía actual el control del riesgo climático.

En el capítulo 3 se identifican los objetivos generales y específicos responder con la investigación.

En el capítulo 4 se describe el alcance del estudio, señalando que estará circunscrito al sector económico de la agricultura.

En el capítulo 5 se desarrolla el estado del arte, definiendo que es el riesgo climático y explicando la situación mundial y la aplicación en los países más importantes.

Se describe el tamaño de mercado de las operaciones de derivados climáticos y las características, aplicaciones, usuarios potenciales de estos instrumentos.

En el capítulo 6 se explica la metodología de trabajo, plan trabajo y Gantt de la investigación.

En el capítulo 7 se describe la aplicación metodológica de los índices asociados a la valorización de los derivados climáticos y su relación con las herramientas estadísticas, presentando ejemplos y resultados de la aplicación.

En el capítulo 8 se describe la aplicación de los derivados climáticos a la agricultura.

En el capítulo 9 se describen los modelos de valorización de derivados

Finalmente, a partir de lo obtenido en el capítulo anterior, se presentan las conclusiones (capítulo 10) del trabajo, colocando foco en los objetivos señalados en el capítulo 3.

CAPITULO II

ORIGEN Y PROPÓSITO DEL ESTUDIO

2. ORIGEN Y PROPÓSITO DEL ESTUDIO

El clima es un factor económico importante, ya que afecta la capacidad de generar valor a los inversionistas en diferentes sectores productivos, entre los que se destaca la agricultura.

Las coberturas de seguros cubren la pérdida total por catástrofes, pero no protegen ante menores ganancias que una compañía sufrirá por una caída en la demanda de su producto, es decir los seguros cubren un alto riesgo, pero con baja probabilidad de ocurrencia, mientras los derivados climáticos sirven de cobertura de un riesgo más bajo y con mayores probabilidades de ocurrencia, lo cual constituye un propósito del presente estudio.

La mayoría de los contratos de derivados climáticos tienen a la temperatura como subyacente y fueron desarrollados por compañías eléctricas y de gas debido a la alta correlación detectada entre el consumo de estos insumos y la temperatura.

En lo que respecta al sector agrícola, dada la fuerte correlación existente entre la fluctuación de los volúmenes de producción de siembra y el clima, es necesario estudiar las herramientas disponibles para el manejo del riesgo que minimizan los efectos financieros de tales fluctuaciones climáticas.

Para países subdesarrollados, los derivados climáticos crean nuevas oportunidades para sobrellevar los riesgos de catástrofes o desastres y segundo promover nuevos productos de seguros para sectores que son altamente dependientes del clima, como es el caso de la agricultura.

La justificación del presente trabajo está basada en la escasa bibliografía sobre el tema en América Latina, y escasa bibliografía en español sobre derivados climáticos en general.

Dado el avance de estos instrumentos a nivel mundial, y la importancia que tiene en clima en las diferentes actividades, es que se considera oportuna la realización de un trabajo al respecto. En cuanto a los antecedentes de este trabajo podemos mencionar los papers de Stern y Dawkins, (2003), Geyser, J.M (2004) entre otros, los cuales estudian los casos de Australia y África respectivamente. Cabe mencionar que el enfoque del presente trabajo es diferente del presentado en los papers tomados como antecedentes.

CAPITULO III

OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Describir el origen, aplicación y fundamentos de los derivados climáticos como una herramienta de cobertura para la mitigación de daños económicos producto de eventos climáticos que afectan a la agricultura utilizando métodos de valorización a partir de herramientas estadísticas y financieras.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Identificar el origen de los derivados climáticos como herramienta de cobertura de riesgos climáticos.
- b) Estudiar el mercado de los derivados climáticos en los diferentes países en que se han operado.
- c) Conocer ventajas, desventajas y limitantes del uso de los derivados climáticos como herramienta de cobertura de riesgos.
- d) Realizar un análisis comparativo entre los contratos de seguros generales y los derivados climáticos, indicando cuales son los alcances y limitantes de cada uno.
- e) Formular mediante el uso de finanzas corporativas, la aplicación de los derivados climáticos en la protección de los flujos de caja de una compañía.
- f) Describir los modelos de valorización de derivados climáticos utilizados.
- g) Concluir si es factible el uso de herramientas para la valorización y aplicación de los derivados climáticos.

CAPITULO IV
ALCANCE DEL ESTUDIO

4. ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance del estudio está circunscrito al sector agrícola, ya que existe una fuerte correlación, entre fluctuación de los volúmenes de producción de siembra y el clima, lo que afecta en forma directa a los ingresos y costos, generando incertidumbre y volatilidad en sus flujos de efectivo de una compañía.

La aplicación de derivados climáticos al sector agrícola, permite desarrollar una herramienta de cobertura de riesgos y mitigación de daños económicos, afectando positivamente la capacidad de generar valor de sus recursos a partir de la agricultura.

CAPITULO V

ESTADO DEL ARTE

5. ESTADO DEL ARTE

El primer derivado climático desarrollado fue un contrato over the counter entre Enron y Florida Power & Light, diseñado por Koch industries, en 1996. El contrato diseñado fue un Swap sobre la temperatura (sobre un índice Heating Degree Days o HDD) para el invierno de 1997 en Milwaukee, Wisconsin (WRMA, 2010). Estudios realizados estiman que, al año 2011, el tamaño del mercado de derivados climáticos es de US\$ 11,8 billones (anglosajones), completándose 466.000 transacciones. Por otro lado, el 70% de los contratos emitidos tuvieron como subyacente un índice sobre la temperatura promedio, otro 20% fue sobre precipitaciones (Stell, 2011).

Los mercados financieros donde se han desarrollado estos instrumentos con mayor fuerza son Estados Unidos, Europa, Japón, Australia y Canadá, dado que la mayoría de estos países se encuentra en el hemisferio norte, y debido a la estacionalidad que presenta el clima a lo largo del año, se han definido dos períodos de tiempo en que se clasifican estos contratos: días de calefacción, período comprendido entre noviembre y marzo, y días de aire acondicionado, período comprendido entre mayo y septiembre (Bloomberg, 2011).

La bolsa que opera el mayor número de estos derivados es Chicago Mercantile Exchange (CME Group), la cual comenzó ofreciendo contratos de futuros basados en el índice de días grado (HDD y Cooling degree days o CDD) para las principales ciudades de Estados Unidos donde se negocian estos derivados (Castro, 2009). Actualmente, CME Group ofrece derivados climáticos en 24 ciudades de EE.UU., 11 en Europa, 6 en Canadá, 3 en Australia y 3 en Japón (CME Group, 2010).

Los derivados climáticos que más rápido han crecido en los últimos años son los que tienen como subyacente a las precipitaciones, debido a su uso directo en la industria energética que es la industria que más utiliza este tipo de cobertura, un 46% de los derivados climáticos transados a nivel mundial tienen como usuario final a una empresa del sector energético (Stell, 2011). Otra industria muy dependiente del volumen de precipitaciones es la construcción, con un 23% de los contratos transados y la agricultura con un 16%. El problema de este tipo de contratos radica en la dificultad de modelar correctamente los volúmenes de precipitaciones. De esta manera modelar y valorizar contratos sobre este índice representa un desafío en el campo de los derivados climáticos.

Las condiciones del clima han afectado a gran parte de la economía. Algunos ejemplos de industrias con este problema son la energética, petrolera, vitivinícola, agrícola, pesquera, del turismo, entre otras. De acuerdo a una estimación realizada por el Instituto Meteorológico Británico, más del 80% de la actividad económica mundial depende del estado del clima (Auer, 2003). En particular, las condiciones meteorológicas afectan la capacidad de generar valor de muchas empresas, es decir, influyen directamente en sus costos e ingresos, generando incertidumbre y volatilidad en sus flujos de efectivo (Shimpi y Turner, 1999).

La variabilidad climática afecta a las empresas de distintas maneras. En muchos negocios el clima está altamente correlacionado con los niveles de ventas, por ejemplo, un centro de veraneo atraería a menos turistas si existe un verano lluvioso o una compañía de gas podría vender menos en un año con un invierno templado, una empresa de generación hidroeléctrica produciría menos energía en un año seco, como ocurrió en Chile en el año 2008 (BNE, 2009).

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

Si bien se han desarrollado instrumentos como seguros para cubrir pérdidas ante catástrofes naturales, estas coberturas no ofrecen protección ante eventos climáticos de mayor probabilidad o eventos climáticos no catastróficos. Para cubrir estos riesgos la tendencia ha sido diseñar una serie de instrumentos financieros llamados derivados climáticos, que permiten proteger a las empresas de la incertidumbre que provoca el clima en sus negocios. La principal diferencia de éstos con los derivados tradicionales radica en que el activo subyacente no es un activo negociable, como lo son las acciones, bonos no es un activo negociable, como lo son las acciones, bonos o commodities, sino que el subyacente es un parámetro climático que puede medirse objetivamente como la temperatura promedio, precipitaciones, velocidad del viento, etc., todos en un período y lugar determinado.

El aporte del presente trabajo es relacionar el tema de los derivados más allá del uso de una herramienta de las finanzas corporativas, sino que también aplicar el modelo a la disminución de los riesgos sistemático del sector agrícola, lo que permitirá agregar valor a una de las actividades principales del mundo, permitiendo un manejo apropiado de sus variables

meteorológicas críticas, y medir el impacto de estas variables en sus flujos y establecer en qué períodos del año son relevantes estas variables.

5.1. ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE

5.1.1 Mercado y origen de los Derivados

Si se analiza la evolución del mercado de derivados puede observarse que los distintos productos fueron surgiendo en base a las necesidades propias de distintas actividades. Los contratos de derivados se iniciaron como instrumentos para facilitar préstamos en el intercambio de activos. Ya en la era babilónica los templos actuaban como intermediarios en contratos de préstamo de commodities (productos agropecuarios en este caso), con una tasa de interés dada y un plazo prefijado: una persona tomaba un determinado producto y se comprometía a devolver una proporción mayor del mismo producto en un determinado plazo.

Esta operatoria es similar a adquirir en el mercado una determinada cantidad del activo y vender a futuro (y al mismo precio) una cantidad mayor. De manera similar a la anterior, los primeros antecedentes de los derivados sobre moneda aparecen como resultado de la evolución de los cambiums del Siglo XIV, período en el cual la conexión entre los diferentes países europeos se daba a partir del comercio. Cada uno de los centros comerciales tenía su propia moneda y en cada uno de los mercados se negociaba en la moneda local. Los comerciantes, entonces, tenían (tal como hoy) un riesgo de cambio al interactuar en mercados distintos al propio. El cambio implicaba dos movimientos:

- El pago de fondos en una determinada zona y a una determinada moneda
- El repago de esos fondos en un lugar diferente y en una moneda distinta.

Con el tiempo, estos contratos fueron reemplazados por un instrumento financiero al cual se llamó *lettera di pagamento* que luego derivó en lo que hoy conocemos como letra de cambio. Una letra de cambio era comprada por el prestamista en una moneda y el repago se producía ante la presentación de la misma en una moneda y lugar geográfico distinto. El tenor de estos instrumentos dependía, en general, del tiempo que el comerciante demoraba en viajar desde su lugar de origen y hasta el lugar en donde iba a reclamar los fondos. En la letra de cambio se especificaba entonces el tiempo en el cual podía hacerse efectivo el pago, de la

misma manera en la que se fijaba el importe al cual se tenía derecho contra su presentación.

¿A qué puede asimilarse la letra de cambio? A un contrato forward prepago. Se establece a qué tipo de cambio y en qué momento futuro se comprará determinada moneda (contrato forward sobre moneda) pero el pago del monto pactado contra entrega de la moneda se hace al estructurarse el contrato y no al momento de la entrega. Con el paso del tiempo, mercados organizados para el intercambio de letras de cambio surgieron en los principales centros comerciales. Así, estos instrumentos comenzaron a negociarse y estandarizarse.

En los párrafos anteriores se ilustran dos ejemplos en los cuales las necesidades de la actividad económica dieron lugar a la aparición de instrumentos que hoy conocemos como forwards. En todos los casos el instrumento derivaba en la cancelación de la obligación contra entrega del bien establecido: un producto agropecuario o un monto en determinada moneda. La aparición de los contratos de futuro vendría mucho después, en el siglo XIX, con la aparición en Chicago del Chicago Board of Trade (CBOT) y del Chicago Mercantile Exchange (CME).

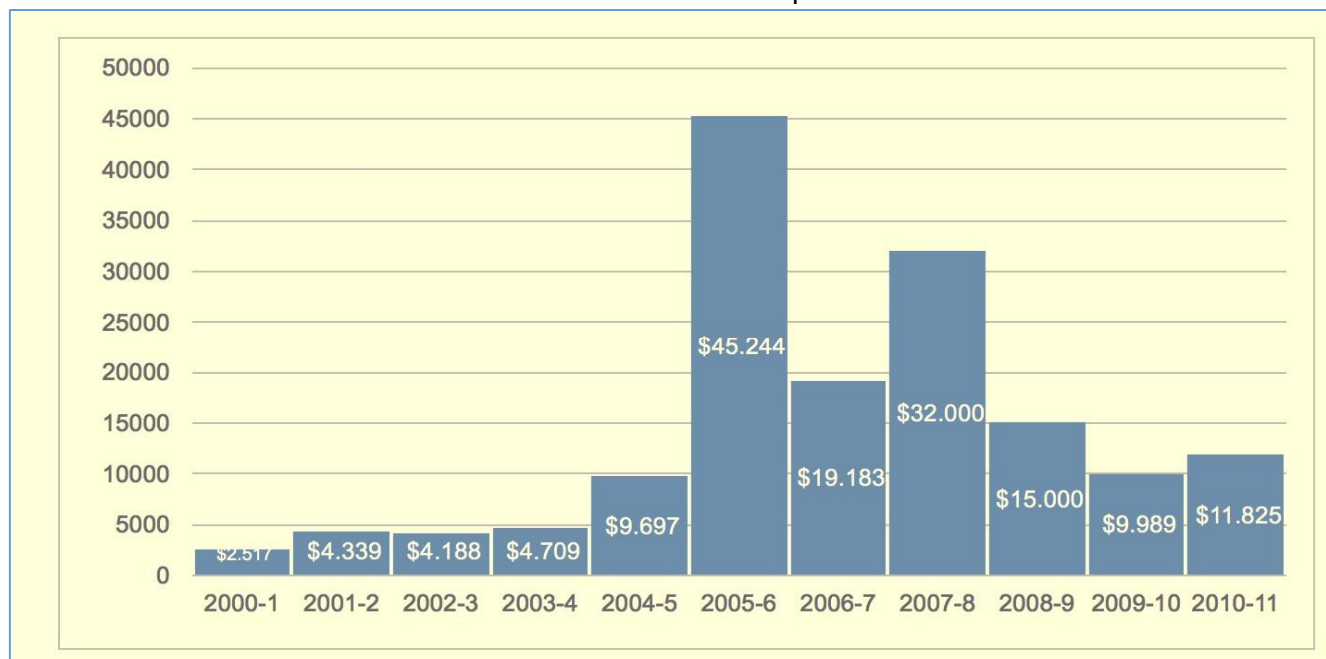
Los contratos futuros se diferenciaban de los forwards porque el mercado estandarizaba los elementos principales del contrato, reduciendo el número de aspectos a negociar entre compradores y vendedores.

Una de las causas que motivó su aparición fue la de establecer reglas claras al momento de la negociación, en respuesta al incumplimiento de contratos en el pasado por parte de distintos comerciantes. La finalidad principal de estos mercados era, y continúa siendo, la de establecer reglas y pautas al momento de contratar así como actuar como agente intermediario entre compradores y vendedores: cada parte negocia con el mercado y no entre sí. El mismo recorrido puede observarse en el caso de los derivados climáticos.

El primer derivado sobre una variable meteorológica se realizó en 1996, ENRON y Koch Industries concretaron la primera transacción over the counter, sobre temperatura para el invierno de 1997 en Milwaukee, Wisconsin (WRMA, 2010). De allí en adelante el mercado de derivados climáticos en EE.UU. creció de manera explosiva hasta el año 2007, cuando debido a la crisis subprime y la desconfianza generada por los derivados, bajó considerablemente el uso de este tipo de instrumentos.

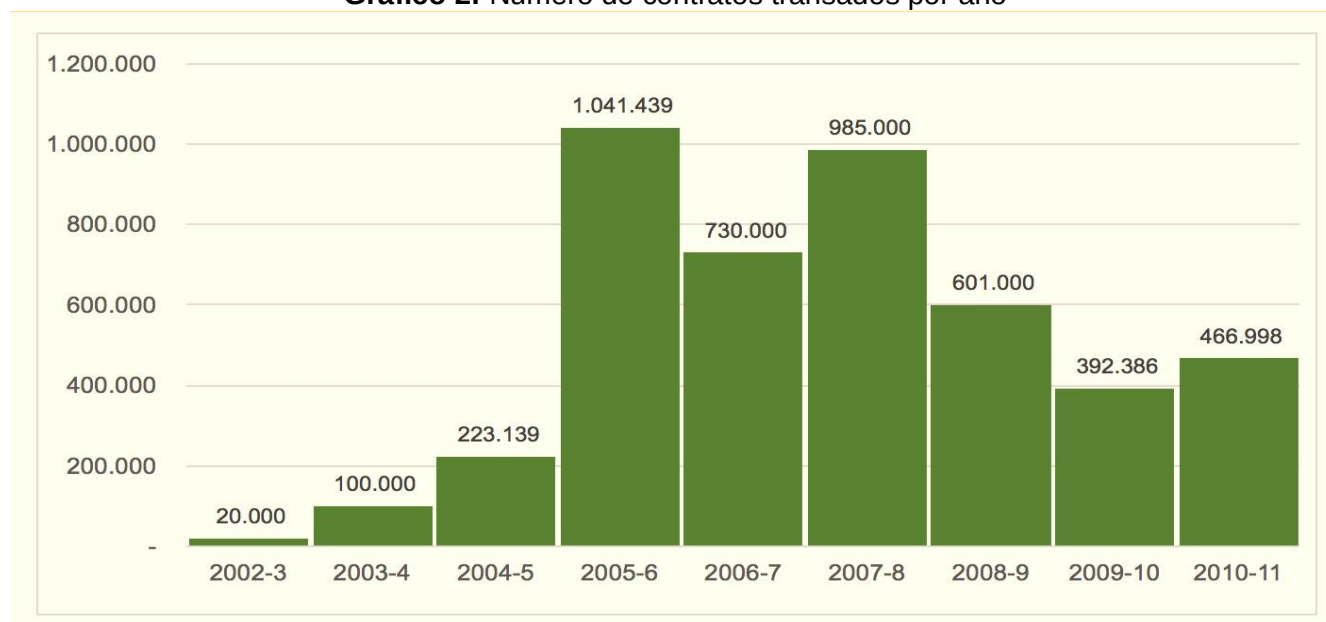
En los siguientes gráficos se aprecia la evolución del mercado, tanto en valor notional de los contratos transados en el grafico 1, como en el número de transacciones en la grafico 2, medidas para las empresas que pertenecen a WRMA y a las empresas que transan por medio de CME Group (Chicago Mercantile Exchange Group).

Gráfico 1: Valor nocional de contratos transados por año en millones de dólares



Fuente: WRMA Annual survey results, PricewaterhouseCoopers

Gráfico 2: Número de contratos transados por año



Fuente: WRMA Annual survey results, PricewaterhouseCoopers

Chicago Mercantile Exchange es la bolsa precursora a nivel mundial en el tema de los derivados climáticos. En septiembre de 1999 comenzó con la emisión de contratos de futuros basados en el índice de días grado (HDD y CDD) para las principales ciudades de Estados Unidos donde se negocian estos derivados, promoviendo el crecimiento de estas operaciones y generar propuestas para su óptimo funcionamiento (acceso a datos meteorológicos, estandarización de documentos, promoción a través de información). Entre los miembros de esta asociación encontramos bancos, reaseguradoras, compañías de inversión, proveedores de gas y compañías de energía, mostrando entonces el espectro de los diferentes usuarios de estos productos.

Las operaciones de cobertura se realizaron sobre la temperatura promedio diaria de las ciudades seleccionadas. Actualmente el CME Group empresa que surgió de la fusión de CME y CBOT (Chicago Board of Trade), es la bolsa más grande del mundo en cuanto a transacciones de futuros climáticos (Managing risk with rainfall option, Mariano Castro, 2009). Hacia 1 de junio de 2010, CME Group ofrece derivados climáticos en 24 ciudades de EE.UU., 11 en Europa, 6 en Canadá, 3 en Australia y 3 en Japón (CME Group, 2010).

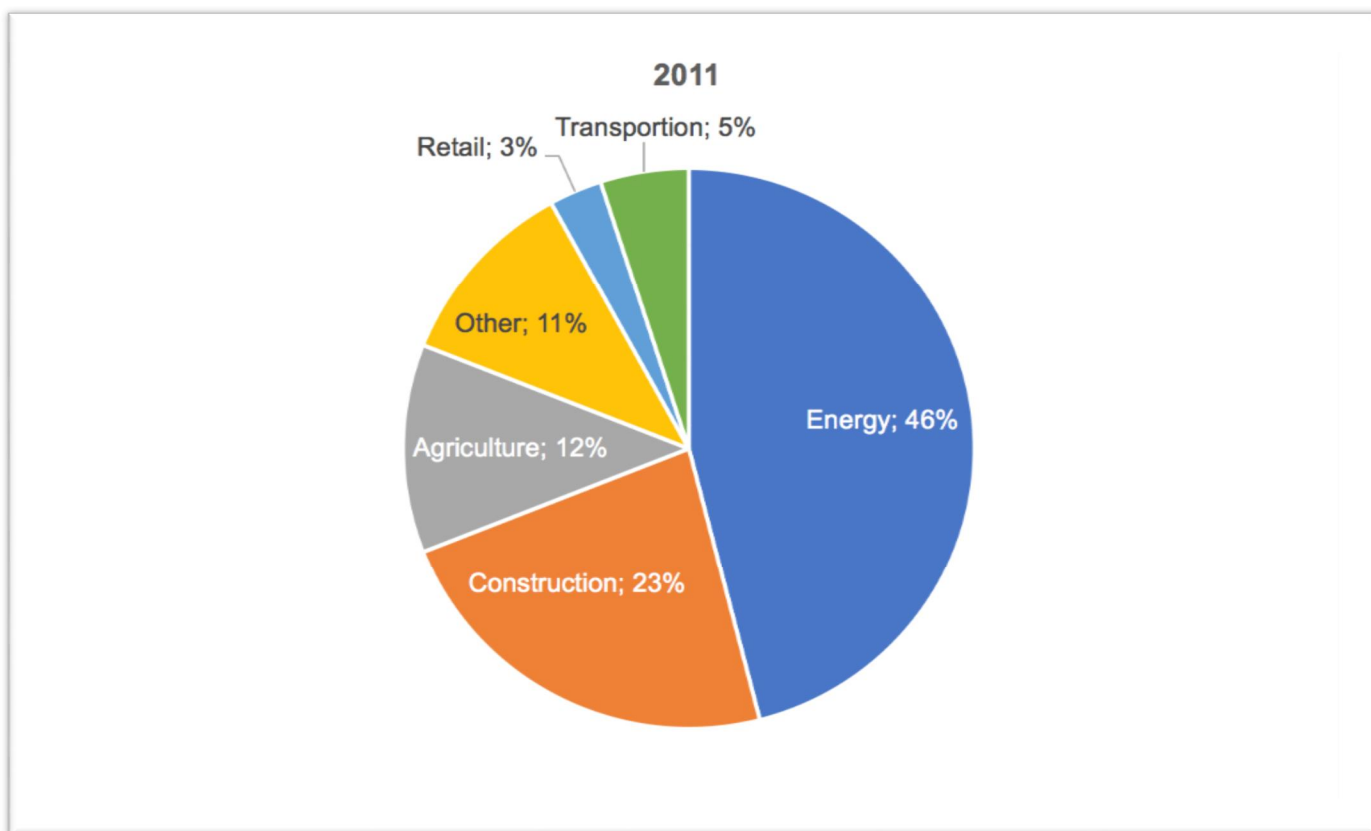
Es importante en esta reseña mencionar también a las catastrophe options lanzadas por el CBOT en Diciembre de 1993. Estos instrumentos vinculados con el clima fueron el primer antecedente de este tipo en los mercados estandarizados. Sin embargo, los mismos eran similares a los seguros porque requerían al tenedor que demostrara que se trataba de un instrumento de cobertura y que existía un interés económico al momento de adquirirla: en caso de producirse el evento que generaba el pay off debía demostrarse que se había sufrido una pérdida y que esta era consecuencia directa de alguno de los nueve eventos catastróficos enumerados. El crecimiento de las operaciones dentro de mercados estandarizados puede observarse claramente a través del crecimiento del Open Interest dentro de CME o el incremento en el volumen de operaciones. Este crecimiento obedece tanto a el mejor conocimiento de los usuarios respecto a los contratos como también a la búsqueda de una mayor seguridad en la cobertura tras la quiebra de Enron.

Actualmente en el mercado CME Group ofrece futuros y opciones de clima las cuales son similares a los futuros y opciones tradicionales, pero que difieren en el activo subyacente. Las opciones de clima ofrecidas son contratos para comprar o vender el valor del índice CDD o del HDD sobre períodos que van desde una semana a una temporada. Desde el año 2011 CME comenzó a ofrecer derivados sobre precipitaciones, nieve y huracanes.

Los principales clientes que ha tenido CME para contratos sobre precipitaciones han sido los generadores de energía hidroeléctrica y centros de golf (Piszcior, 2011).

Los inicios de la industria hace 12 años fueron desde el sector energético y aún sigue siendo el que más demanda este tipo de instrumentos, hacia el año 2011, el 46% de las transacciones fueron realizadas por empresas de la industria de la generación de energía como se observa en el gráfico 3, le sigue la industria de la construcción que en el año 2011 realizó un 23% de las transacciones y en tercer lugar está la industria de la agricultura con un 12%.

Gráfico 3: Transacciones de derivados climáticos por industrias



Fuente: WRMA Annual survey results 2011, PricewaterhouseCoopers

5.1.2 Derivados financieros tradicionales

Los derivados son contratos financieros de cobertura cuyo valor se deriva del precio de un activo subyacente, donde éste puede ser una acción, un bono, una divisa o un índice bursátil. Los activos subyacentes son usados como cobertura ante el riesgo por individuos y compañías para cubrirse ante fenómenos de volatilidad elevada, ya que permiten acceder al activo cubierto a un precio determinado con anticipación, eliminando la incertidumbre vinculada a los movimientos de los precios en los mercados.

Existen muchos tipos de derivados como los forwards, futuros, swaps y opciones, siendo estas últimas las más utilizadas por su flexibilidad, dado que al establecer el contrato se da al comprador el derecho, pero no la obligación, a comprar o vender bienes o valores a un precio predeterminado, hasta una fecha concreta.

Existen dos tipos de opciones: call y put. Una opción call, es un contrato que da al tenedor, el derecho, pero no la obligación, de comprar un activo a un precio determinado en la fecha o antes de la fecha fijada como límite. Por otro lado, una opción put es un contrato que da al tenedor el derecho, pero no la obligación, de vender un activo a un precio establecido en la fecha o antes de la fecha determinada. Los precios establecidos, tanto en las opciones put como call se les denomina Strike Price, la fecha del contrato se llama Maturity o Expiry Date y el precio pagado por las opciones es The Premium (Wang y Wang, 2011).

Adicionalmente, las opciones se pueden definir como europeas o americanas, donde las europeas solo pueden ser ejercidas hasta la fecha de vencimiento de la opción o Maturity, de lo contrario la opción expira. Mientras que las opciones americanas son más flexibles dado que permiten ser ejercidas en cualquier momento hasta la fecha de vencimiento.

5.1.3 Métodos de valoración de instrumentos financieros tradicionales

Los métodos más conocidos para valorar el precio de una opción son: el modelo de Black- Scholes y las simulaciones Monte Carlo. En el modelo de Black-Scholes los autores presentan una expresión diferencial que proporciona el valor teórico de las opciones europeas a partir de suponer que los precios de mercado siguen una distribución lognormal, existe cobertura continua, tasas de interés constantes y no arbitraje. Merton (1973) fue el primero en derivar una solución matemática para una opción call europea down-and-out, donde el subyacente fluctúa sobre una barrera y al cruzarla la opción deja de existir.

Por su parte Boyle en 1977 desarrollo una simulación por el método Monte Carlo, donde el proceso de generación de los retornos del activo subyacente incluyó el supuesto de riesgo neutral a la hora de derivar el valor de la opción; dentro de este trabajo se introdujo y verificaron técnicas para mejorar la eficiencia, confiabilidad y precisión de la estimación a partir del uso de variables antithetic y variables de control significativas, aproximando su valoración a opciones call europeas.

En esta misma dirección, Moon (2008) utiliza un modelo de Monte Carlo para calcular el precio de opciones en la bolsa utilizando una salida probabilística uniforme y al azar para estimar de manera eficientemente la primera vez que se golpea el precio, teniendo en cuenta que los precios del subyacente son descritos como un movimiento browniano

5.1.4 Derivados climáticos

Conceptualmente, los derivados climáticos son activos financieros que otorgan a su poseedor el derecho a comprar / vender una determinada cantidad de bienes y/o servicios a un determinado precio, en función de la evolución de las mediciones, bajo metodología estandarizada, de una variable sobre una estación de medición identificada durante un cierto periodo de tiempo

Los derivados climáticos pueden ser usados como estrategias de administración para mitigar el riesgo asociado a situaciones climáticas adversas o inesperadas, donde las ganancias o pagos no dependen del camino que tomen los precios de un activo tangible o almacenable sino del comportamiento de un derivado climático a través de una medida

subyacente o un índice, como la lluvia, la temperatura, la velocidad del viento, la humedad o las nevadas.

La diferencia que existe entre los derivados climáticos y los derivados tradicionales es que en los primeros el activo subyacente no tiene un valor intrínseco, no puede ser almacenado o tranzado, pero necesariamente debe ser cuantificable para ser gestionado como derivado climático (Alexandridis y Zapranis, 2013).

Los derivados climáticos, conforman un grupo de herramientas financieras conocidas como "Securities Climáticas". Este tipo de activos financieros provee pagos a su poseedor en función de la evolución real de variables climáticas durante un cierto periodo de tiempo, bajo metodología estandarizada, sobre una estación de medición determinada.

Generalmente los derivados climáticos están diseñados para cubrir eventos meteorológicos no catastróficos que causan fluctuaciones en los ingresos de muchas compañías, no necesariamente relacionadas con fenómenos de este tipo, que pueden generar pérdidas significativas o someter a las firmas a procesos de volatilidad inesperados producto de periodos con climas extremos o prolongados que afecten los costos de los insumos, la producción, las ventas o la prestación de servicios.

5.1.5 Situación Mundial de los Derivados Climáticos

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

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

De acuerdo a lo anterior, las compañías de energía no pueden fijar los precios de los energéticos sin tomar en consideración el clima.

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

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

Las compañías de seguros y las reaseguradoras también se están convirtiendo en importantes compradoras de este tipo de productos financieros. Primero por el hecho de

que muchos eventos climatológicos afectan su siniestralidad (Ej. a más lluvia más choques automovilísticos) y segundo, porque son un buen producto financiero para diversificar el riesgo de sus capitales y reservas.

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

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

Esto significa que sólo una pequeña cantidad de contratos es negociada en las Bolsas de Valores.

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

5.1.6 Situación de los Derivados Climáticos en Estados Unidos

El mercado de derivados climáticos surgió en los Estados Unidos en 1997 a través de transacciones de commodities sujetas a la temperatura. En la primera operación con derivados climáticos, una empresa de energía aportó protección a la contraparte - una empresa de servicios públicos - contra pérdidas provenientes de una temporada con temperaturas más elevadas.

Se han desarrollado diversos productos financieros adosados por ejemplo a indicadores de temperatura y a niveles pluviométricos, con grados distintos de complejidad.

Aunque sean productos concebidos de modo a que permitan su adaptación a las necesidades específicas de transferencia de riesgos de las contrapartes, los derivados climáticos pueden también ser negociados en el mercado de bolsa, asumiendo características estandarizadas. A partir de 1999 la Chicago Mercantile Exchange empezó la negociación electrónica de contratos futuros y de opciones sujetos al número de días calientes o fríos en un determinado horizonte de tiempo. La London International Financial Futures and Options Exchange patrocina desde el 2000 la negociación de derivados climáticos a través de la I-wex.com. Otras empresas privadas están desarrollando Webs para la transacción on-line de derivados de clima. La International Finance Corporation ha invertido recursos en proyectos

para introducir hedges climáticos en países emergentes, al objeto de perfeccionar la estabilidad económica de empresas relacionadas a los sectores de energía, agricultura, transporte, construcción, esparcimiento y seguros.

A pesar de las dificultades de popularización de un producto innovador y sofisticado, se estima que algunos miles de transacciones relativas a derivados climáticos ya han sido realizadas hasta el momento, sumando un monto en riesgo de aproximadamente US\$ 3.5 mil millones. Aprovechándose de la desreglamentación de su mercado, las empresas estadounidenses del sector de energía representan los principales operadores de derivados climáticos. Las empresas de seguro suponen el segundo grupo más activo en el mercado de derivados climáticos. Cada vez más, empresas aseguradoras están procurando evaluar mejor los riesgos asociados al clima para poner en marcha las operaciones con derivados. Otros players importantes que están interesados en estos productos son las instituciones financieras que buscan la securitización del riesgo climático y las empresas cuyos resultados son fuertemente influenciados por el clima, como es el caso de las empresas relacionadas al agro negocio, empresas de entretenimiento y hasta incluso empresas minoristas y de construcción civil.

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

La Weather Risk Management Association, un grupo de trading con sede en Washington, muestra que el número de acuerdos sobre riesgo climático concertados en todo el mundo prácticamente se ha triplicado alcanzando los 12.000 contratos negociados durante los 12 meses que llegan hasta marzo del 2003 en relación al mismo período del año anterior. Los contratos tienen un valor subyacente de 4.2 miles de millones de dólares.

5.1.7 Situación de los Derivados Climáticos en Europa

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

Sin embargo, existen factores que indican que es un mercado con potencial de crecimiento.

Uno de estos factores es que, en algunos países como Francia, la industria eléctrica no está totalmente desregulada y en otros como Inglaterra, existe mucha competencia entre proveedores de energía.

En Europa, el número de contratos casi se duplicó llegando a negociarse 1480 contratos desde los 765 previos. Los derivados convencionales son obligaciones financieras cuyos valores son precisamente derivados del valor de otras obligaciones, acciones, commodities, monedas u otros activos.

En cambio, los derivados de clima son comúnmente asociados a un índice que mide un aspecto del clima, como puede ser la temperatura o las precipitaciones, y los compradores, en general, pagan un premio anual del 5 al 20 por ciento del monto asegurado.

5.2. MARCO TEORICO DEL ESTADO DEL ARTE

5.2.1 Riesgo Climático

El riesgo climático está referido a las mermas económicas y, por tanto, sociales derivadas de movimientos adversos en determinadas variables climáticas. Es crucial señalar que en muchas ocasiones dichos movimientos no tienen que ser extremos (inundaciones o huracanes, o los posibles efectos del cambio climático) para sufrir un perjuicio; basta, por ejemplo, con que la temperatura se sitúe unos pocos grados por encima o por debajo de lo habitual o que llueva unos pocos días por encima o por debajo de la media para que los efectos negativos sean elevados. De hecho, en el contexto de los derivados climáticos, cuando hablamos de riesgo clima típicamente nos referimos a movimientos climáticos no extremos,

que son precisamente aquellos que hasta hace bien poco no eran tratados en los mercados financieros.

Por consiguiente, no hablamos tan sólo del conocido proceso de cambio climático, sino también y de manera especial, de fenómenos mucho menos dramáticos y mucho más habituales. Aunque el debate en torno al cambio climático añade gran urgencia a la gestión de los riesgos meteorológicos, dichos riesgos seguirían estando presentes incluso si el calentamiento global no se produjese. La meteorología ha tenido siempre una influencia económica crucial, desde los orígenes de la civilización. Es obvio que las exposiciones climáticas de los agentes económicos han existido desde mucho antes que se empezase a hablar del cambio climático.

Junto a los efectos de los eventos climáticos violentos, no debe olvidarse que otros movimientos meteorológicos más moderados y "semi-normales" también generan graves perjuicios. Es por tanto imperativo enfocarse en ambas fuentes de riesgo.

Es obvio que al referirnos también a riesgos no extremos el abanico de entidades con exposición económica al clima se extiende considerablemente. No sólo el número de agentes expuestos a una variación moderada de la temperatura o la precipitación (o la insolación o el viento) es mucho mayor que el de aquellos expuestos a un huracán o una inundación, sino que además estos últimos fenómenos se dan con mucha menor frecuencia. Es decir, el riesgo por variaciones no extremas es, generalmente, más extendido y más frecuente. Urge, por tanto, tomarlo en consideración.

5.2.2 ¿A quién le afecta el riesgo climático?

Cualquier agente económico que pueda sufrir pérdidas económicas derivadas del comportamiento de una o varias variables meteorológicas tiene riesgo clima: empresas o entidades públicas cuyos ingresos se vean reducidos, o sus costes incrementados si, por ejemplo, llueve más o menos, hace más o menos frío, o el viento es más o menos rápido.

Existen elevadas variables climáticas que pueden generar malas noticias. No sólo la temperatura, la lluvia, o el viento sino también la insolación, la nieve, la escarcha, la humedad o los tifones. Todas ellas pueden ocasionar pérdidas significativas. Parece difícil encontrar empresas o entes públicos que no estén expuestas al menos a una de esas variables. Algunos

estudios estiman que más del 75% de la actividad económica mundial está afectada directa o indirectamente por el clima.

A diferencia de otros riesgos (tipos de interés, divisa, precio de las materias primas) el riesgo clima no puede generalmente ser eliminados salvo que se abandone la actividad económica en cuestión. Una entidad podría en principio dejar de endeudarse o de hacer transacciones de comercio exterior sin que eso la obligue a cambiar de actividad, pero no podría evitar el factor clima tan fácilmente. Una empresa que deje de vender si hace mucho calor o si nieva muy poco generalmente no estará libre de ese riesgo climático salvo que se dedique a otra cosa.

5.2.3 ¿Por qué cubrir el riesgo climático?

La cobertura del riesgo clima proporcionaría ventajas económicas, de reputación, y estratégicas; en particular:

Protección de beneficios y prevención de pérdidas.

Parte integral de una estrategia responsable e innovadora de control de riesgos.

Servir los intereses de inversores, accionistas, empleados.

Aparecer como una entidad especialmente sólida, lo que podría favorecer la entrada de capital y crédito.

Obtención de ventajas comparativas.

Es necesario cubrir el riesgo climático dado el impacto negativo potencial que puede tener sobre costos, ingresos y flujo de caja. Este tipo de riesgo suele provocar desaceleración en los negocios antes que interrupción de los mismos. Los mercados de capitales y las compañías aseguradoras proveen productos que pueden mitigar la exposición a una amplia gama de dificultades relacionadas con el clima, tales como:

Niveles de precipitación

Temperaturas altas o bajas

Viento

Caudal hidrológico

5.2.4 Características de los derivados climáticos

- Son productos financieros que permiten a una organización contrarrestar un riesgo financiero debido a una variable climática.
- Permiten a las compañías controlar los efectos del clima en la demanda de sus productos. Esta protección reduce la volatilidad de futuras ganancias y permite tener un flujo de efectivo más predecible.
- Por lo tanto, las señales de alarma para los accionistas debido a una adversidad en las condiciones climáticas son menos frecuentes.
- Constituyen un derecho para su poseedor a recibir un determinado monto de dinero en función de la evolución de la variable climática protegida.
- La variable subyacente que origina los pagos es la evolución de una variable climática durante un cierto período de tiempo, medida sobre una determinada estación de medición.
- La cobertura está basada en un índice climático.
- Representan un activo financiero para las empresas que lo poseen.

5.2.5 Variables protegidas

- Temperaturas medias diarias.
- Temperaturas absolutas máximas y mínimas.
- Precipitaciones
- Nieve
- Humedad
- Vientos

5.2.6 Usuarios Potenciales

- Mercado de Energía, Entretenimiento, Agribusiness, Transporte, Turismo y Retail.
- Aplicable a toda compañía cuyos cash flows estén relacionados con la evolución de una variable climática.

5.2.7 Algunos ejemplos de aplicación

- Cobertura de pérdida de Frutos (precipitaciones / diferenciales de temperaturas máximas y mínimas).
- Cobertura de Precios por adelantamiento / atraso de la cosecha. (Temperaturas acumuladas durante el ciclo del cultivo).
- Abastecimiento de materia prima de calidad a la planta de procesamiento.

5.2.8 Ventajas del Uso

- Estabilización de Cash flows.
- Acceso a coberturas no amparadas por las pólizas de seguro.
- Posibilidad de configuraciones de coberturas más flexibles.
- Mejora las relaciones de la empresa con la cadena de valor
- Mejora el ajuste de planes y presupuestos
- Mejora la administración de stocks
- Sirven de aval para el financiamiento
- Mejora las ventajas competitivas de la empresa

5.2.9 Industrias afectadas por los cambios climáticos

- Comercializadores y distribuidores de energía:

Veranos o inviernos moderados reducen los volúmenes de venta, mientras que climas extremos aumentan los costos de mantenimiento.

- Transporte:

Altos niveles de precipitaciones pueden incrementar los costos de transporte o reprogramación de rutas.

- Entretenimiento, hospedaje, viajes y turismo:

Largos períodos de clima extremo o precipitaciones inusualmente elevadas pueden reducir las reservas en hoteles o aerolíneas, alquiler de vehículos, y la asistencia a espectáculos y eventos deportivos. Períodos de fuertes tormentas pueden aumentar el número de cancelaciones de vuelos, incrementando así los costos de reprogramación de la aerolínea y reduciendo la capacidad de la empresa para satisfacer las demandas de sus clientes.

- **Venta al público:**

Largos períodos de clima inclemente o altas precipitaciones reducen la afluencia de público y las ventas, al tiempo que aumentan los costos de calefacción o aire acondicionado.

- **Construcciones:**

Largos períodos de climas extremos (especialmente en invierno y primavera) provocan demoras en los proyectos durante las cuales las constructoras se ven obligadas a seguir pagando los costos fijos de las obras.

5.2.10 Limitantes del uso

- Por tratarse de coberturas de índices requieren:
- De una estación de medición representativa de la evolución de la variable en la unidad de riesgo.
- De un stock de datos climáticos, en cantidad y calidad, para su tarificación.
- De un esfuerzo de diseño de cobertura importante (establecer las relaciones causa ñ efecto entre la evolución de la variable climática protegida y la exposición a riesgo de la empresa).
- De un período perentorio para el desarrollo previo a su implementación.

5.2.11 Diferencias entre Derivados Climáticos y Seguro Tradicionales

Los seguros tradicionales contra eventos climáticos inesperados cubren eventos cuya probabilidad es baja pero el riesgo es muy alto. Los derivados de clima al contrario cubren eventos de bajo riesgo, pero de alta probabilidad como los son fluctuaciones en el calor, en el frío o en la lluvia en una temporada definida. Por ejemplo, una empresa que administra un parque de diversiones puede cubrirse con un derivado de clima frente pronósticos de tiempo realizados por meteorólogos que afirman que habrá una temporada más fría que el promedio histórico. La empresa puede prever que sus ingresos se verán afectados por el clima y así asegurar por medio de un derivado de clima un pay-off prefijado por cada unidad de calor menor a la esperada. Este evento es de bajo riesgo, pero de alta probabilidad de ocurrencia. Por otro lado la misma compañía puede adquirir un seguro contra catástrofes climáticas como

lo puede ser un terremoto o una inundación-evento que es de alto riesgo, pero de baja probabilidad de ocurrencia.

La principal diferencia entre ambos es que los seguros pagan de acuerdo a las pérdidas inducidas por un evento climático, mientras que el pago de los derivados climáticos no depende directamente de las pérdidas, sino que de un índice sobre un parámetro climático que sea medible objetivamente. La idea es que las pérdidas o ganancias que tenga la compañía puedan estar altamente correlacionadas con la variable climática sobre la cual se emite el derivado, de modo de que sirva como instrumento de cobertura financiera frente a esta variable.

Por otro lado, en el caso de los derivados climáticos es necesaria una reevaluación periódica (diaria, semanal, mensual) de las posiciones del derivado, mark to market. Esto no es necesario en el caso de los seguros. Además existe una serie de otras diferencias que tienen que ver con la contabilidad de las empresas, las tasas impositivas de ambos en cada país y las características contractuales que estos puedan tener.

CAPITULO VI
METODOLOGIA DE TRABAJO

6. METODOLOGIA DE TRABAJO

La realización de este trabajo, se ha llevado a cabo mediante la revisión documental con el objetivo de aprender y entregar información sobre los derivados climáticos.

Dado que no existe demasiada información en profundidad sobre este tema en lengua española, se ha tenido que recurrir en algunos casos a la traducción de textos. Así mismo una de las fuentes de información más importantes ha sido el Chicago Mercantile Exchange, al tratarse de la bolsa precursora a nivel mundial de los derivados climáticos.

Como en Chile no contamos con un mercado de derivados climáticos, se ha estudiado el tema tomando en cuenta los papers, tesis y ensayos que han efectuado alumnos de distintas universidades, los cuales pretenden mostrar el potencial de esta herramienta para el mercado financiero de nuestro país.

El trabajo lo hemos estructurado metodológicamente de la siguiente forma:

Se recopiló información desde las páginas web y material bibliográficos que se han escrito sobre los derivados climáticos, colocando énfasis en la relación con la ingeniería financiera, finanzas corporativas, usos de opciones financieras de compra y venta, y el uso de estos instrumentos para su valorización.

Posteriormente se analiza el tamaño de mercado, volumen, sectores de la industria que lo han utilizado, desarrollo en cada país, y años en que ha habido operaciones relevantes, desde el año 2007 al año 2012 principalmente.

En función de lo anterior, se estima que el 23% de la economía estadounidense y próximamente una tercera parte del PIB mundial (Weather Risk Management Association, WRMA, 2009) dependen directamente del clima. Así mismo, la rentabilidad de prácticamente todos los sectores como la construcción, turismo, la energía, y la agricultura, entre otros dependen de las temperaturas. El Ex Secretario de Comercio de Estado Unidos William Daley, mencionó en 1998 que “el clima no es solamente un tema ambiental; es un factor principal de la economía. Al menos 1 trillón de dólares de nuestra economía es sensible al clima” (Cabello, F., 2009) Entonces los riesgos de las empresas frente al clima son evidentes.

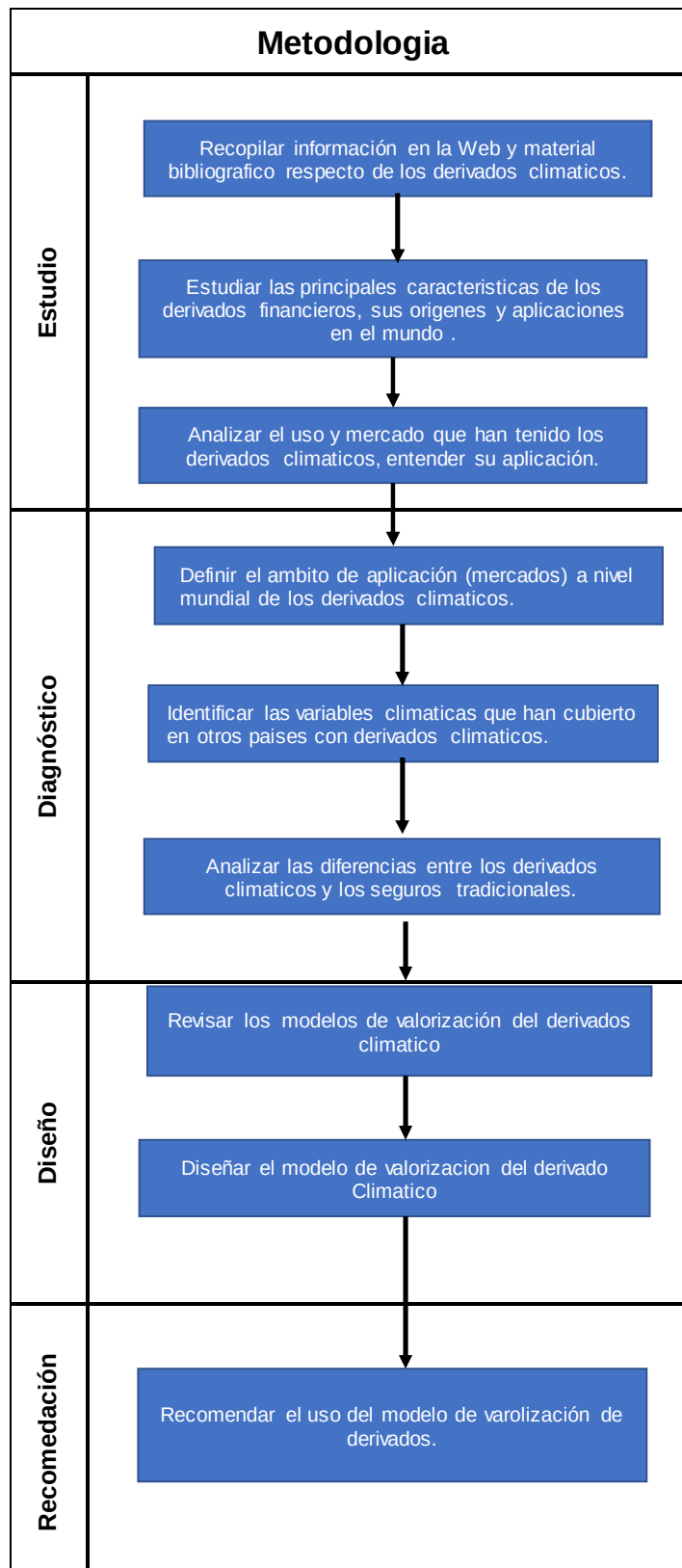
Considerando que el uso de los derivados climáticos, está relacionado con el clima y la cobertura de las variables que afectan al flujo de caja de las compañías, en la etapa de diagnóstico, se procede a identificar las variables críticas y su correlación con el derivado climático a evaluar.

Posteriormente se comparan las coberturas de las pólizas de seguros generales y las coberturas de los derivados climáticos, ante siniestros ocasionados por desastres naturales, identificando sus diferencias y similitudes.

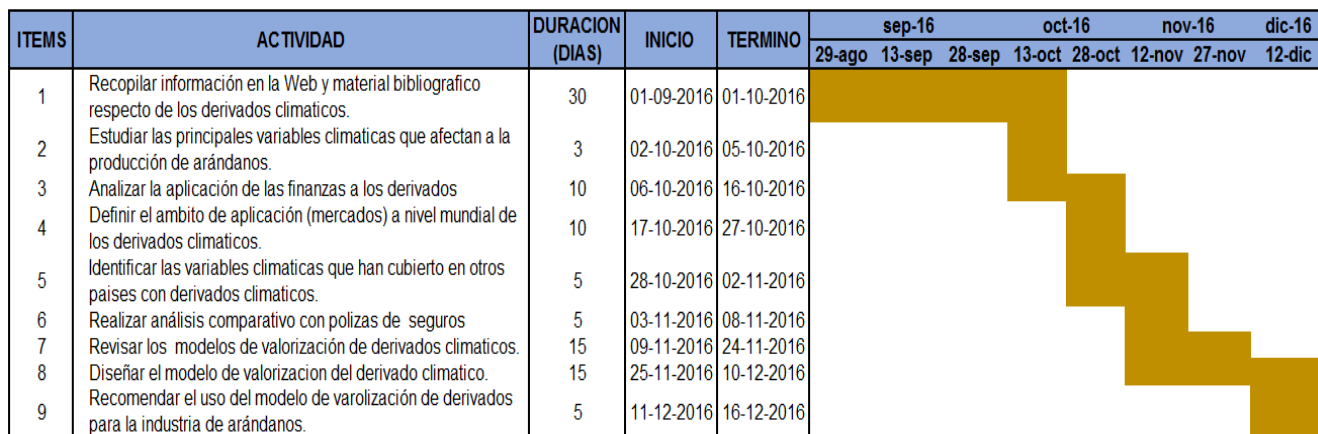
Se plantea un modelo de valorización, obteniendo sus precios y mecanismos de cobertura, para valorizar sus utilidades que se perciben.

Finalmente se exponen las conclusiones analizadas por cada tipo de objetivo específico y general diseñado para el presente trabajo.

6.1 Figura 1: PASOS METODOLOGICOS:



6.2 Figura 2: CARTA GANTT:



CAPITULO VII
APLICACIÓN METODOLOGICA

7. APLICACIÓN METODOLOGICA

Como se comentó, el clima afecta a distintas industrias de diversas maneras, de forma de cubrir estos riesgos, los derivados climáticos se han definido sobre las más variadas variables climáticas, entre ellas, la temperatura, los niveles de lluvia o nieve caída, la velocidad y dirección del viento, índices de humedad ambiental, cantidad de horas de sol, etc. En la actualidad la mayor parte de los contratos transados se basan en la temperatura (Barrieu y Scaillet, 2008), sus valores mínimos o máximos diarios, o también sobre sus promedios diarios.

En la mayoría de los casos, el promedio diario se define, por convención, como el punto medio entre la temperatura mínima y máxima diaria. El segundo mercado más importante, dentro de los derivados climáticos, son los basados en las precipitaciones (Stell, 2011). Este tipo de contrato es muy útil para las industrias de la agricultura y la generación de energía, debido a que sus resultados dependen altamente de esta variable. Algunos de los índices más utilizados en estos contratos son: Para contratos basados en temperatura están los índices de los días grado, índices de temperatura promedio, índices de temperatura media promedio, índices sobre los promedios de temperatura acumulados e índices sobre eventos y para contratos basados en precipitaciones se define un índice sobre precipitaciones acumuladas en distintos períodos.

7.1 Índices basados en temperatura:

7.1.1 Índices de días grado (*Degree days*)

Este índice fue construido en la industria de la producción energética, y está diseñado para correlacionar la demanda doméstica por calefacción con la demanda energética por aire acondicionado.

Å HDD: Heating Degree days, días frescos o días de calefacción.

Å CDD: Cooling Degree days, días cálidos o días de aire acondicionado.

El cálculo de los HDD o CDD está basado en la temperatura diaria promedio, definida como:

$T_i =$	$T_i MAX + T_i MIN$
	2

Donde T_i es la temperatura promedio en el día i , $T_i MAX$, es la temperatura máxima en el día i , y $T_i MIN$ es la temperatura mínima en el día i .

De este modo, se calculan diferenciales para los días dentro del período previamente acordado, como diferencias entre una temperatura definida a priori, o temperatura base (generalmente 18°C o 65°F, la cual se considera como una temperatura confortable, no hay frío ni calor), y la temperatura diaria promedio (T_i). Si la temperatura media está por sobre la temperatura base, la diferencia se denominará CDD, si ocurre lo contrario se denominará HDD. Las ecuaciones que definen estos índices son:

$$CDD = \sum (T_i - 18^\circ C) \quad \forall T_i > 18^\circ C$$

$$HDD = \sum (18^\circ C - T_i) \quad \forall T_i < 18^\circ C$$

Entonces el índice HDD mide la temperatura promedio en la mitad del año que se considera como frío (invierno) y el CDD la mide en la otra mitad del año considerada cálida (verano).

A continuación, se muestra un ejemplo de los valores diarios para HDD y CDD en distintas ciudades de EE.UU. (tabla 1). □

Tabla 1: Temperatura máxima, mínima, promedio e índices de días grado, en ciudades de Estados Unidos, 29-03-2011.

United States	High (°F)	Low (°F)	Mean (°F)	HDD	CDD
Albuquerque	64	46	64	1	0
Atlanta	52	43	52	13	0
Baltimore	52	29	46	19	0
Boston	49	32	42	23	0
Chicago	40	27	35	30	0
Cincinnati	44	32	42	23	0
Columbus	46	26	43	22	0
Dallas	55	50	50	15	0
Des Moines	40	31	40	25	0
Houston	76	64	74	0	9
Indianápolis	46	34	44	21	0
Kansas City	45	35	43	22	0
Las Vegas	71	54	70	0	5
Little Rock	52	47	48	17	0
Memphis	58	46	56	9	0
Minneapolis	40	22	38	27	0
New York	47	32	43	22	0
Philadelphia	52	31	49	16	0

Fuente: Bloomberg Finance L.P.

7.1.2 Índices de temperatura media promedio

Estos índices fueron diseñados como una medida de la variabilidad de la temperatura, la cual es muy utilizada en la industria de la generación de energía. Estos índices se definen como el promedio, en el período del contrato, de las temperaturas medias diarias. Lo cual se define como:

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$$

Donde T es la temperatura media promedio, T_i es la temperatura promedio en el día, es el número de días que dura el período sobre el cual se calcula el índice. Es importante notar que este índice se usa principalmente en Japón.

7.1.3 Índices de temperatura promedio acumuladas (CAT)

Estos índices se definen como la suma de las temperaturas promedio diarias sobre el periodo del contrato, se define de la siguiente manera:

$$X = \sum_{i=1}^N T_i$$

Por lo general este tipo de índices se usan en el verano europeo.

7.1.4 Índices de eventos

Conocidos como índices de los días críticos, son usualmente definidos como el número de días en el contrato en que ocurre un evento meteorológico determinado. Ejemplos de este tipo de eventos puede ser un exceso de lluvias caídas en el período, o un aumento de la temperatura por sobre un parámetro definido. Otra definición de "evento" podría ser el número de veces que una secuencia de días, experimenta lluvias por sobre o por debajo de un parámetro definido.

7.2 Índices basados en precipitaciones

7.2.1 Índices de precipitaciones acumuladas

Se definen como la suma de las precipitaciones diarias durante un período (semana, mes, temporada), se definen de la siguiente manera:

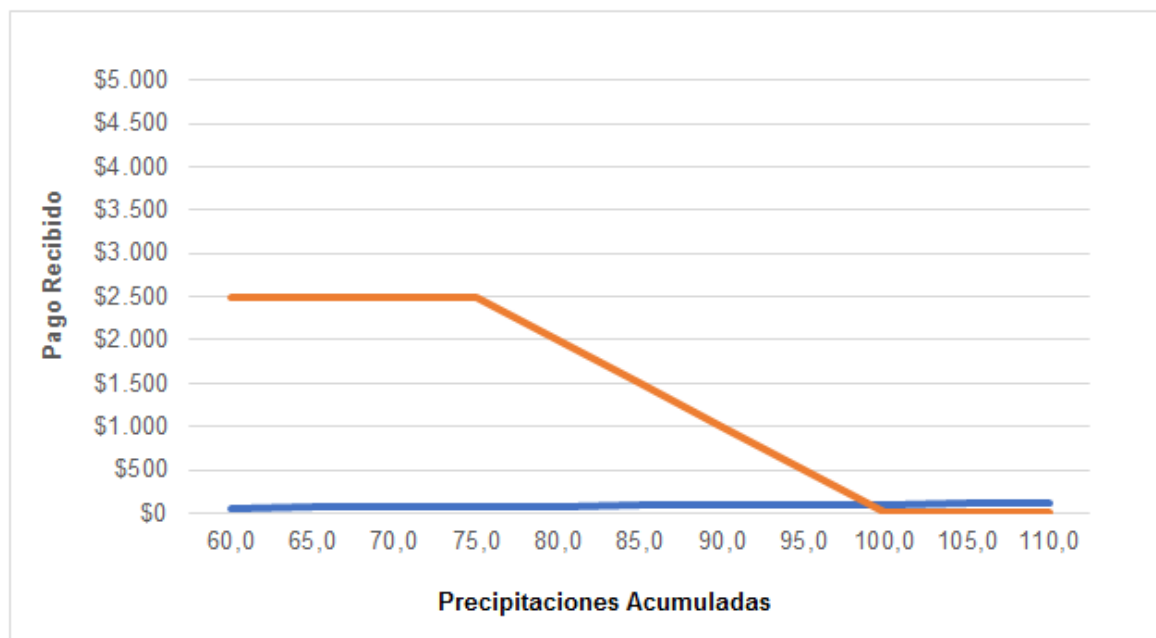
$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

7.3 Ejemplo de derivados climáticos

Al igual que con los derivados tradicionales, se pueden definir opciones put y call sobre variables meteorológicas. Para definir una opción climática, en primer lugar, se debe definir la variable subyacente, se utilizará en este caso un índice sobre precipitaciones acumuladas mensuales. Luego se define un nivel strike sobre el cual se quiera establecer una cobertura.

En el caso de un agricultor, probablemente querrá cubrir el riesgo que implica un déficit de precipitaciones en algún mes, el cual provocará un gasto extra en términos de riego y probablemente un retraso en la fecha estimada de cultivo. El instrumento adecuado para este agricultor será la compra de una opción put, por ejemplo, con un strike de 100 mm. de lluvia caídos. Es decir, el agricultor recibirá una compensación por cada milímetro de lluvia por debajo de este nivel strike. Por otro lado, hay que definir cuánto dinero se recibirá por cada mm. de precipitaciones. Supongamos que se establece un valor de \$100 por cada mm. debajo del strike. El diagrama de pagos de esta opción se vería de la siguiente manera.

Gráfico 4: Diagrama de pagos, opción put sobre precipitaciones acumuladas mensuales (mm.)



Fuente: Bacchini, 2009

Se puede observar que además de las condiciones antes explicadas, se estableció un pago máximo para la opción, lo que es muy común en los derivados climáticos. En este caso en las condiciones del derivado se estableció un pago máximo de \$2.500.

Al igual que una opción tradicional el pago del derivado puede ser calculado de la siguiente manera:

$$Put = MAX (STRIKE - I_t; 0) * TICKER$$

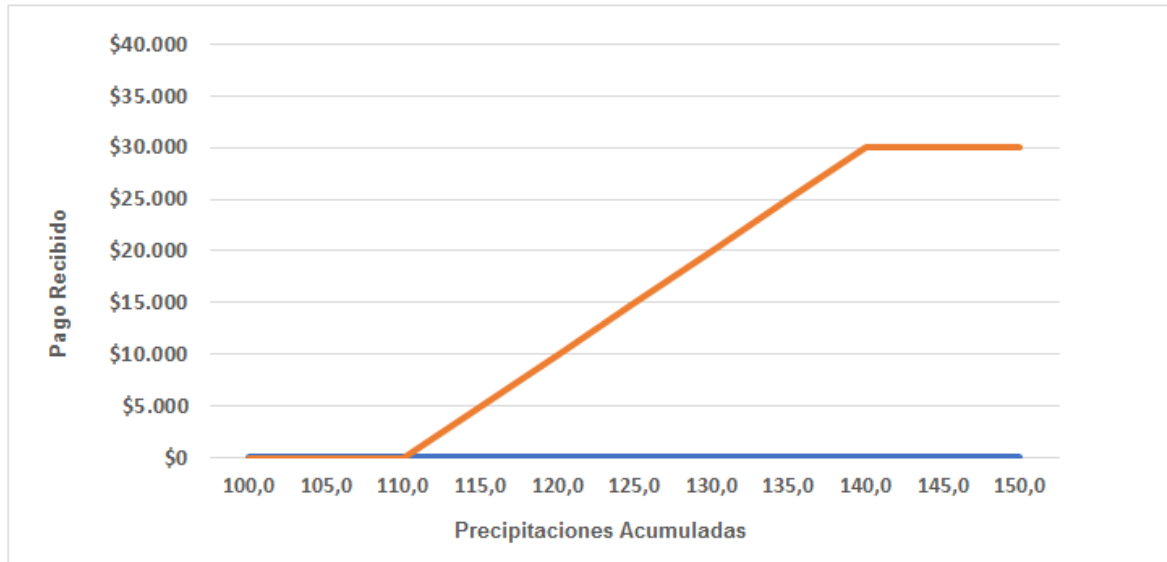
Dónde: I_t , es la cantidad de lluvia caída en el mes t , y TICKER es el monto pagado por cada mm. bajo el Strike.

Si, por el contrario, se desea cubrir sobre un exceso de lluvias, por ejemplo, en la industria pesquera cuando llueve más de lo que llueve un año promedio, se afecta a los peces que se crían en cautiverio, provocando que estos no crezcan lo que crecerían en un año normal y por lo tanto un empresario de la industria pesquera querría cubrirse de este riesgo. El instrumento adecuado para esta cobertura sería una opción call sobre las precipitaciones acumuladas en un mes. Fijamos un nivel strike de 110 mm., un valor de pago de \$1.000 por mm. sobre el strike y un pago máximo de \$30.000. El pago del derivado se calcularía:

$$Call = MAX (I_t - STRIKE; 0) * TICKER$$

El diagrama de pagos de esta opción se vería entonces:

Gráfico 5: Diagrama de pagos, opción call sobre precipitaciones acumuladas mensuales (mm.)



Fuente: Bacchini, 2009

CAPITULO VIII
DERIVADOS CLIMATICOS APLICADOS A LA AGRICULTURA

8. DERIVADOS CLIMÁTICOS EN AGRICULTURA

Actualmente en nuestro país, no existe aplicación formal de una política de cobertura de riesgos de daños producto de variaciones en las condiciones climáticas que afecten al retorno de la inversión de las compañías agrícolas, el Estado solo tiene instrumentos de apoyo para pequeños agricultores en caso de heladas o daños a consecuencia de desastres naturales.

8.1 Riesgo climático en agricultura

Existen distintas fuentes de riesgos en agricultura los cuales pueden resumirse dentro de tres grandes áreas de administración: producción, climáticos, de mercado, de incertidumbre macroeconómica.

Los tres primeros riesgos pueden reducirse considerablemente, mediante la diversificación, práctica que consiste en invertir en actividades con distinta exposición al riesgo.

De todos los riesgos que afectan a los productores agropecuarios, el clima adverso es típicamente el más difícil de predecir y consecuentemente de mitigar sus consecuencias, al mismo se le denomina riesgo agroclimático.

Afortunadamente, los productores agropecuarios tienen una gran variedad de instrumentos con la cual pueden manejar el riesgo climático, como por ejemplo el riesgo de sequía, de manera estabilizar sus costos, ingresos y consecuentemente sus ganancias. Ellos pueden asegurarse modificando sus opciones de cosecha, variando los aspectos de su tecnología de cosecha. Una segunda posibilidad es la compra de contratos de seguro de cosecha. Una tercera alternativa posible es acudir a los instrumentos que ofrece el mercado financiero. En la actualidad este tercer instrumento de manejo del riesgo está siendo sujeto de atención considerable, y este capítulo se focaliza en las ventajas de los derivados climáticos como instrumento de manejo de riesgo climático.

Como se mencionó anteriormente las condiciones climáticas son una fuente principal de riesgo de producción en el sector agrícola. Con lo cual la adopción de tecnología para mejorar el rendimiento, se dificulta por su alto coste inicial y un período de reembolso posiblemente largo. En este contexto es que los derivados climáticos se convierten en un producto financiero relativamente nuevo con un desembolso positivo durante condiciones climáticas indeseables. Si bien, estos productos no pueden reducir el riesgo de producción, pueden compensar pérdidas de rentabilidad.

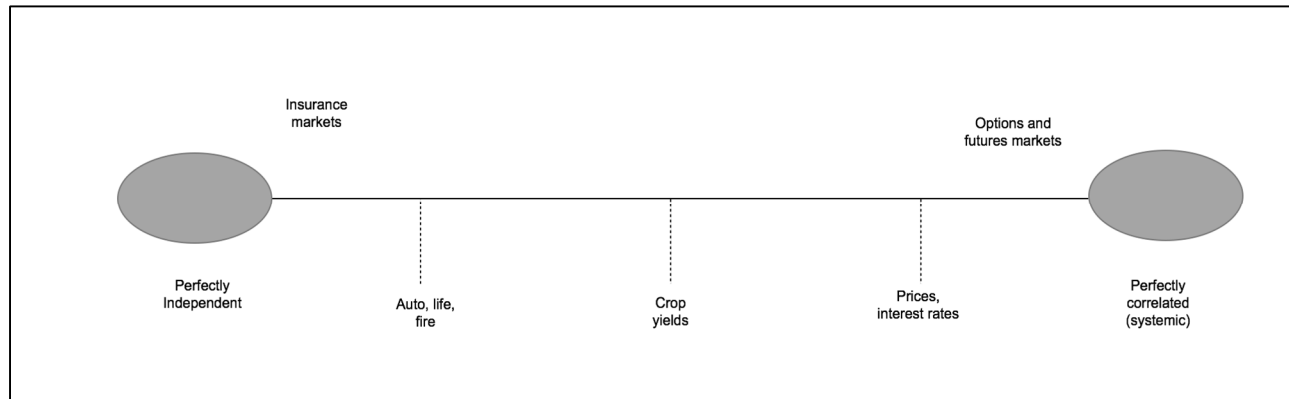
8.2 Manejo del riesgo climático en la agricultura

Los contratos derivados inicialmente desarrollados en el sector energético se están convirtiendo en una herramienta de cobertura muy promisoría en la producción agrícola, tanto para los países desarrollados como subdesarrollados.

Las aplicaciones en la agricultura se han focalizado en las precipitaciones como variable crítica que impacta en los rendimientos de los cultivos en la fase de crecimiento, antes que, en la temperatura, a pesar de que una cobertura que combine lluvia-temperatura es posible.

Como lo expresan Skees y Barnett (1999), hay varias ventajas conceptuales de los instrumentos de mercado de capitales en relación con contratos tradicionales de seguros, como el medio de aseguramiento contra riesgos catastróficos, como la sequía. Los mercados de seguros están bien considerados como mecanismos para compartir riesgos no correlacionados. Para acontecimientos altamente correlacionados espacialmente como la sequía, los mercados de capitales pueden proporcionar una institución superior para compartir el riesgo. Si los instrumentos del mercado de capitales son escritos en base a la ocurrencia de un acontecimiento de sequía, ellos reducirán el riesgo moral y los problemas de selección adversa que pueden disminuir la eficacia de contratos tradicionales de seguros.

FIGURA 3: Riesgos independientes y correlacionados



Fuente: Miranda y Glauber (1997)

La probabilidad de eventos extremos (particularmente sequía e inundaciones) aumenta la distribución de la función de ganancias de un productor debido a una modificación en la temperatura media, así como el posible incremento en la variación de la temperatura. El efecto cambio climático en agricultura es ilustrado en la figura siguiente.

Para una variable de distribución normal como la temperatura un pequeño incremento en su media de largo plazo, y/o varianza, puede producir cambios fundamentales en la probabilidad de ocurrencia, como heladas o precipitaciones, la situación es aún más compleja, especialmente para climas secos. Los cambios en la media total de precipitaciones pueden ser acompañada con otros cambios como frecuencia de precipitaciones. Todo esto influye en las ganancias de los productores agrícolas.

Una de las principales ventajas de los derivados climáticos es que pueden ser usados para cubrir los riesgos bajos, con eventos de alta probabilidad, esto se opone a la mayoría de los productos de seguro que cubren riesgos altos, con baja probabilidad de ocurrencia como incendios, inundaciones. Los derivados climáticos en agricultura ofrecen la posibilidad de cubrirse contra los principales factores que influyen los rendimientos de cultivos-lluvia, particularmente crecimiento de estación de lluvia, y temperatura, para cubrirse contra heladas.

La demanda de derivados climáticos depende de la correlación entre eventos climáticos como lluvia o temperatura y rendimiento.

Los derivados climáticos son contratos cuyos pagos se especifican por parte del vendedor al comprador y están basados en el valor de un índice de variables climáticas (Vedenov y Barnett, 2004; Jewson y Brix, 2005). Por ejemplo, el contrato diseñado para proteger al comprador de pérdidas causadas por la sequía especificaría pagos basados en la cantidad de precipitaciones, niveles de precipitación inferiores a lo normal conducen a pagos más altos. La mayor parte de la literatura sobre derivados climáticos se ha enfocado en cuestiones relacionadas a la valoración de estos derivados y sobre la combinación apropiada de variables climáticas sobre las cuales basar el instrumento.

Es sabido que los seguros pueden producir riesgo moral (Arrow, 1963), es decir, una de las partes aseguradas toma menos cuidado para evitar la pérdida que una parte que no se encuentra asegurada. En el caso más extremo, el seguro cubre totalmente la pérdida potencial y la parte asegurada no tiene en absoluto ningún incentivo para tener cuidado. Por lo tanto, es de interés determinar si los sostenedores de derivados climáticos en el sector agrícola se enfrentan a este tipo de problemas.

CAPITULO IX
MODELOS DE VALORIZACIÓN DE DERIVADOS

9. MODELOS DE VALORIZACIÓN DE DERIVADOS

En los mercados climáticos podemos ver a un CALL como una forma que sus tenedores tienen de cubrirse frente a *excesos* climáticos, como por ejemplo demasiada lluvia. Proveen protección frente a aumentos en el nivel del índice y permiten capitalizar cualquier movimiento del índice a la baja. Son generalmente utilizados por las empresas cuyas ventas se ven expuestas al riesgo climático.

De forma análoga, un PUT puede entenderse como una forma que los tenedores adoptan para cubrirse frente a *déficits* climáticos, como por ejemplo insuficientes precipitaciones o nevadas. Los PUTS otorgan protección frente a bajas en el nivel del índice y permiten capitalizar cualquier movimiento del índice al alza.

El uso conjunto de CALLS y PUTS permite crear estrategias más complejas, como por ejemplo los COLLARS, muy utilizado en Estados Unidos es una estrategia que utilizan las empresas proveedoras de energía a través de la compra de un PUT con un nivel de ejercicio bajo (que actúa como un límite inferior) y la venta de un CALL con un nivel de ejercicio alto (que actúa como un límite superior) una empresa cuyas ventas están expuestas al riesgo climático puede establecer un rango dentro del cual no efectuar ni recibir pagos.

Si el índice excede el límite superior, la empresa tendrá que hacer un pago por el ejercicio del CALL; que se supone tendrá más flujo de caja para hacer frente al pago; y si en cambio el valor del índice cae por debajo del límite inferior, ejercerá el PUT y recibirá el pago dado que el índice se sitúa por debajo del strike, de esta forma la empresa proveedora se cubre de los mayores costos porque tendrá que producir energía eléctrica mediante fuentes alternativas que de por sí serán más costosas.

Esta estrategia se utiliza para nivelar sus flujos de caja, al combinar estos resultados con sus resultados operativos, la empresa consigue estabilizar su flujo de fondos fuera del rango establecido, dentro del rango el flujo de fondos sigue su tendencia normal. Esta estrategia es más barata para la empresa que la sola compra de un PUT, no obstante, la venta del CALL la obliga a limitar sus ganancias potenciales por movimientos al alza en el índice.

9.1 Valuación

Históricamente para la valuación de derivados financieros se utilizó la tradicional fórmula de Black-Scholes, pero esta no es aplicable en este campo, si bien puede convertirse por medio de la indexación la variable climática en un subyacente transable es imposible crear una cartera sin riesgo combinando el derivado climático y su subyacente.

Dado que las variables climáticas presentan estacionalidad (podemos hablar de ciclos anuales, de una estación y hasta diarios) otra propuesta para la valuación de los derivados climáticos consiste en el uso de *mean-reverting models*. Estos fueron específicamente planteados para la valuación de *derivados vinculados a la temperatura*.

Concretamente se propone que la temperatura diaria promedio sigue un proceso estocástico cuya media vuelve (se revierte) a una media determinística, el modelo incluye, por supuesto, tendencia (para contemplar el calentamiento global y estacionalidad). La media determinística a la que se hace referencia puede estimarse a partir de los registros históricos de temperatura efectuando una regresión.

Se debe ser cuidadoso con la aplicación de este tipo de modelos ya que la incorrecta estimación de alguno de los parámetros o la omisión de alguna variable puede conducir a importantes errores.

Como el comportamiento de la precipitación es muy diferente al comportamiento de la temperatura para el pricing de este derivado vamos a dejar de lado los modelos anteriores y la valuación se va a construir con un modelo sencillo y muy aplicado en la industria de seguros y en la valuación de derivados del clima que consiste en el *Burn analysis* o *Burn rate* (Cao & Wei, Octubre 1999 i Dischel, Octubre 1998); a través de una simulación de Montecarlo con cierta distribución dada (utilizando datos históricos) podemos obtener el nivel esperado de precipitación mensual acumulado para el período o periodos en donde queremos valuar. Luego relacionaremos la precipitación con la rentabilidad esperada en un cultivo y así podremos establecer el precio asignado a cada mm. de lluvia precipitado.

9.2 Market based o arbitrage pricing (Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012)

Consiste en mirar los precios de mercado y determinar el precio de no-arbitraje para el derivado. Es importante destacar que para utilizar este método debe existir un mercado de derivados climáticos que sea observable, lo cual no ocurre en Chile, pues no existe tal mercado.

¿Qué método será el más apropiado para valorizar derivados climáticos? No existe una respuesta absoluta, todo depende del mercado existente en el lugar de diseño del contrato y del tipo de contrato (Jewson y Brix, 2005).

Para valorizar Swaps sobre el clima existen dos formas de valorización. La primera tiene que ver con técnicas de actuarial pricing, en la cual se calcule el valor en base a las probabilidades de todos los posibles resultados. Esto se realiza utilizando data meteorológica histórica, de modo de conocer la distribución de la variable, luego se realizan simulaciones de la variable regidas por la función distribución antes encontrada. La segunda forma tiene que ver con mirar los precios de mercado de los swaps, lo cual sólo se puede realizar si existe un mercado observable.

Para valorizar opciones de clima existen 3 maneras: La primera consiste en calcular el valor en base al promedio de los flujos futuros esperados, descontados a una tasa libre de riesgo. Este es el método más utilizado para valorizar opciones sobre el clima. Un segundo método, consiste en la observación de los precios de mercado, el cual no es posible aplicar en Chile, debido a la no existencia de un mercado de derivados climáticos. Y finalmente, se pueden utilizar métodos de valorización mediante no arbitraje, dentro de estos métodos el más conocido es el de Black-Scholes (B-S).

Es amplia la discusión en torno a la factibilidad de utilizar el modelo de B-S para valorizar derivados climáticos, principalmente debido a que las variables meteorológicas no cumplen los supuestos que hace este modelo. Estos supuestos son:

- Los precios de los subyacentes deben seguir un proceso de movimiento browniano geométrico. □
- Es posible tomar posiciones cortas en el subyacente. □
- No existen oportunidades de arbitraje. □
- No existen costos de transacción. □
- Es posible tomar prestado y prestar dinero una tasa de interés libre de riesgo

A continuación, se citan algunos estudios que justifican el por qué no se debería utilizar el modelo de B-S para la valorización de derivados climáticos: Según Pino, Rendoll y Torres (2009), *“El clima no sigue una caminata aleatoria. A diferencia de un activo subyacente, Las variables como la temperatura tienden a permanecer en bandas relativamente estrechas... El clima no es aleatorio, dada su naturaleza es previsible en el corto plazo y al azar (dentro de los promedios históricos) en el largo plazo... Las variables como la temperatura o la lluvia no son transables y no están sujetas a factores de la economía, no cumpliendo las condiciones básicas de Black and Scholes”*

De acuerdo a Campbell y Diebold (2005), *“there is no way to construct a portfolio of financial assets that replicates the payoff of a weather derivative... the only way to price options reliably is by using forecasts of the underlying weather variables”*

Por otro lado, algunos autores proponen una versión modificada de B-S para poder valorizar derivados climáticos:

Jewson y Zervos (2003), sostienen que *“Black and Scholes partial differential equations can be adapted for the pricing of weather options that are hedged using weather swaps”*

Meissner y Burke (2010), discuten el tema de que *“The B-S model requires that the market is complete... This condition is satisfied since a liquid temperature futures market exists”*

De esta forma, la discusión aún no ha sido resuelta del todo y, más aun, para mercados como el chileno aún no se pueden usar las adaptaciones propuestas por estos autores debido a la no existencia de un mercado líquido de futuros sobre un índice climático.

9.3 Desarrollo de un modelo de valorización (Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012)

En este capítulo se propone un modelo de valorización utilizando las técnicas de *actuarial pricing*, el cual permitirá encontrar el precio al que se debería transar una opción europea sobre precipitaciones. Para poder encontrar este precio es necesario modelar a la variable subyacente del contrato. De acuerdo a las características de la variable precipitaciones, el primer paso para desarrollar un modelo de predicción es decidir con qué frecuencia se desea modelar, es decir, podemos modelar precipitaciones acumuladas diariamente (Cao, Li y Wei, 2004), por semana (Banjo, 2006), mensuales (Castro, 2009) o con la frecuencia que se desee. En el presente trabajo se utilizará el modelo presentado estudiará

la modelación de precipitaciones acumuladas mensuales, debido a su alto impacto en la industria energética que, desde los inicios, ha sido la industria que más demanda este tipo de cobertura.

Por otro lado, en capítulos anteriores se comentó que la modelación de la variable precipitaciones se puede abordar desde dos perspectivas: el estudio de las dinámicas atmosféricas y la estadística. El primero tiene el problema de que, pese a que sus resultados son bastante certeros, sólo son confiables en un intervalo de 0 a 10 días, pero en horizontes de tiempo mayores entra en juego un fenómeno que se conoce como la teoría del caos la cual hace imposible obtener predicciones confiables. De esta manera, como se pretende modelar la acumulación mensual de la variable, se utilizará un modelo estadístico basado en información meteorológica histórica. Para esto se cuenta con una base de datos con 50 años de información sobre las precipitaciones acumuladas mensuales en el estado de California, EE.UU.

La razón por la cual se escoge este lugar es que están disponibles los precios a los que una empresa alemana de manejo de riesgo climático, llamada CelsiusPro, transa sus opciones europeas call y put sobre precipitaciones acumuladas mensuales. Esto permitirá poder comparar los resultados obtenidos mediante el modelo, entregando una orientación al orden de magnitud que debieran tener los precios propuestos por el modelo.

9.4 Valorización de un derivado para Los Angeles International Airport (LAX), CA, EE.UU.

9.4.1 Datos

Los datos a utilizar serán las precipitaciones mensuales acumuladas en el mes de enero para una estación meteorológica ubicada en Los Angeles International Airport (LAX), CA, EE.UU. (1950- 1999), sumando un total de 50 observaciones.

Es importante recalcar que el análisis estadístico de datos meteorológicos posee varias complejidades, debido principalmente a que presenta estacionalidades. Para tratar este tema, sólo se consideran valores para la variable en el mismo mes, durante el período de medición. Con esta metodología se elimina el efecto de las estaciones del año. Claramente existen otras estacionalidades de mayor y menor escala, que no se considerarán para este análisis, de esta manera el primer supuesto es justamente que no existe estacionalidad en los datos.

Un primer análisis que se puede realizar a la data histórica es encontrar sus estadísticas descriptivas (tabla 2):

Tabla 2: Estadísticas descriptivas data histórica

	Min (mm.)	Max (mm.)	Nº de obs.	Nº ceros	Promedio (mm.)	Desviación estándar	Skewness	Kurtosis
Data histórica	0	322,8	50	2	76,469	74,336	1,513	2,002

Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012.

9.4.2 Definición del derivado (Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012)

Como se comentó en un comienzo, las variables que definen a un derivado climático son las siguientes:

Tabla 3: Definición del derivado climático

Opciones Call y Put	
Variable Meteorologica	Precipitaciones
Indice que agrega a la variable	Precipitaciones mensuales acumuladas (mm.)
Estación de mediciones	Los Angeles International Airport (LAX), CA, EE.UU
Minima fluctuación del indice	0,001 puntos del indice (0,001 mm.)
Tick	1 mm.equivale a US\$1.000
Periodo del contrato	1 mes
Tipo de opción	Opción Europea
Función de pagos	Put = $\text{Max}(\text{Strike} - \text{It}; 0) * \text{Ticker}$ Call = $\text{Max}(\text{It} - \text{Strike}; 0) * \text{Ticker}$

Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012.

9.4.3 Burn Analysis (Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012)

Para tener una primera aproximación hacia el precio del derivado se aplica una valorización mediante *burn analysis*, que consiste en ver cómo se habría comportado el contrato en los años anteriores, es decir, evaluar a los contratos con los datos históricos existentes para la variable estudiada.

Los derivados diseñados serán opciones europeas put y call sobre las precipitaciones acumuladas mensuales en un lugar en particular. Para valorizar este contrato, en primer lugar, se debe escoger un nivel strike, luego calcular los pagos que habría realizado el derivado directamente sobre la muestra y luego obtener su precio como la esperanza de los flujos que hubiese pagado el derivado. Estos flujos se descuentan a una tasa de interés libre de riesgo. El detalle del procedimiento para calcular cuántos milímetros por sobre el strike existen para cada año, con un strike de $K = 60$ mm., se observa a continuación. (Tabla 4)

Tabla 4: Cálculo en Excel de los flujos por año de una opción Put y Call

Muestra (LAX)			
	Enero (P.Acum)	P-Strike	Strike-P
1950	64,26	4,60	0,00
1951	71,63	11,63	0,00
1952	183,64	123,64	0,00
1953	28,70	0,00	31,30
.	.	.	.
.	.	.	.
1996	270,00	210,00	0,00
1997	8,38	0,00	51,62
1998	322,83	262,83	0,00
1999	49,28	0,00	10,72
   Datos Muestra MAX(0;P*-K) MAX(0:K-P*)			

Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012

En primer lugar, se toma la muestra y se calculan los índices de pago para la opción call y para la opción put. En el caso de la call a cada observación se le resta el nivel definido como strike, luego se calcula el promedio de estas diferencias y se multiplica por el valor en dinero

que se asigna a cada milímetro de precipitaciones, en este caso US\$1.000. Este resultado se descuenta a la tasa libre de riesgo para traer el precio al valor presente. El proceso para la opción put es análogo con la diferencia de que el índice de pago será el strike menos el valor observado para cada año. De esta manera podemos ver que la opción call realiza pagos de acuerdo a cuántos mm. de lluvia hubo por sobre el strike y de esta manera se utilizará para cubrir excesos de lluvia en algún mes y la opción put paga por cada mm. de lluvia por debajo del strike, utilizándose para cubrir el riesgo de déficit de precipitaciones.

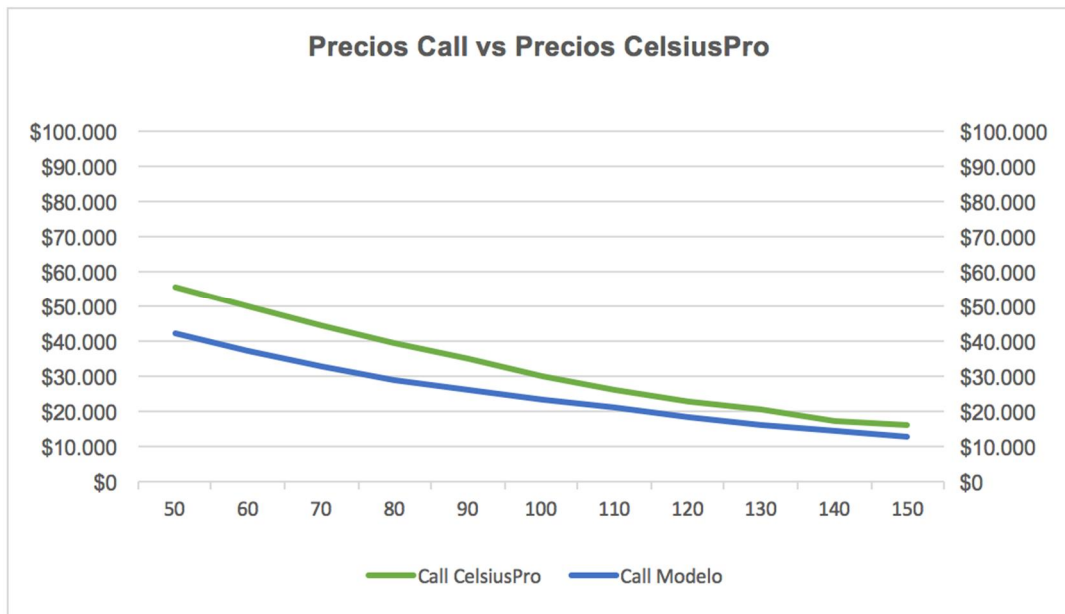
Los valores obtenidos para los precios de las opciones put y call, calculados para distintos niveles strike y la comparación con el precio entregado por CelsiusPro para estos mismos contratos se pueden observar en tabla 5. Posteriormente se realiza una comparación entre los precios obtenidos mediante este método versus los precios para los mismos derivados entregados por CelsiusPro. Los gráficos con estos resultados para las opciones call y put se pueden observar en el grafico 5 y grafico 6, respectivamente.

Tabla 5: Precios de las opciones call y put calculados mediante burn analysis vs precios de las mismas opciones entregados por CelsiusPro.

Strike	Modelo		CelsiusPro	
	Precio Call	Precio Put	Precio Call	Precio Put
10	\$ 69.570	\$ 576	-	\$ 2.002
20	\$ 61.217	\$ 1.927	-	\$ 6.551
30	\$ 53.723	\$ 4.138	-	\$ 12.585
40	\$ 47.494	\$ 7.614	-	\$ 19.375
50	\$ 42.348	\$ 12.172	\$ 55.572	\$ 26.667
60	\$ 37.429	\$ 16.957	\$ 49.962	\$ 34.403
70	\$ 32.830	\$ 22.062	\$ 44.743	\$ 42.511
80	\$ 29.243	\$ 28.180	\$ 39.886	-
90	\$ 26.280	\$ 34.922	\$ 35.342	-
100	\$ 23.483	\$ 41.829	\$ 30.442	-
110	\$ 21.017	\$ 49.068	\$ 26.410	-
120	\$ 18.637	\$ 56.392	\$ 23.061	-
130	\$ 16.414	\$ 63.873	\$ 20.549	-
140	\$ 14.638	\$ 71.802	\$ 17.488	-
150	\$ 13.095	\$ 79.963	\$ 16.530	-

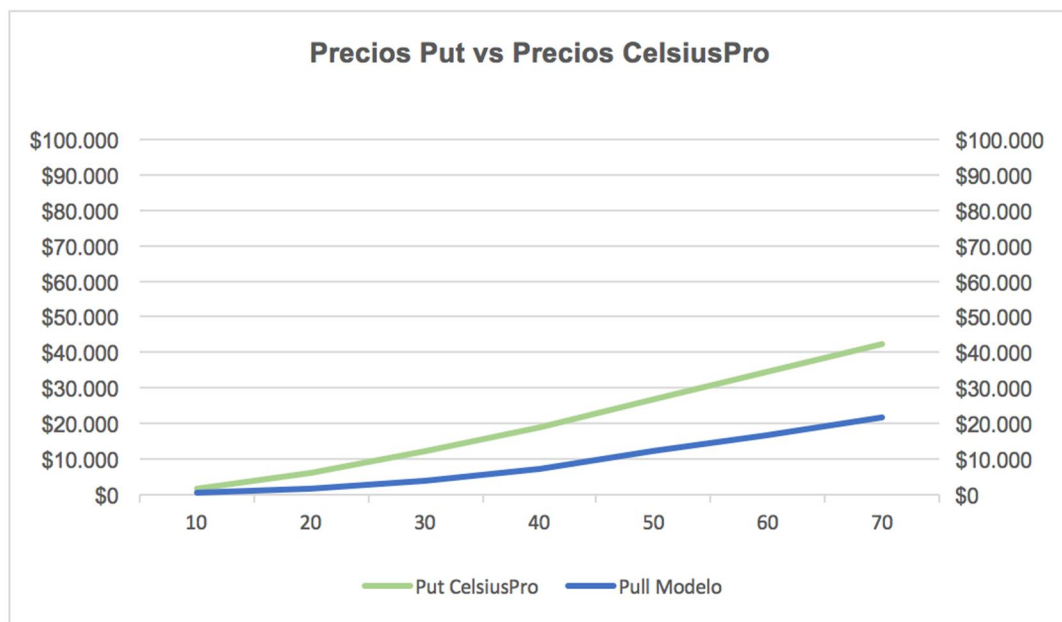
Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012

Grafico 6: de precios calculados mediante burn analysis vs precios de CelsiusPro para la opción call para distintos niveles strike.



Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012

Gráfico 7: de precios calculados mediante burn analysis vs precios de CelsiusPro para la opción put para distintos niveles strike.



Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012

De estos resultados se observan diferencias para los precios de las opciones call de entre 16% y 27% con respecto a los precios que entrega CelsiusPro y diferencias de entre 48% y 71% para los precios de las opciones put. El detalle de estas diferencias se encuentra en la tabla 8.

Tabla 6: Diferencias entre los precios entregados por el modelo con respecto a los precios de CelsiusPro.

Strike	Dif.Call	Dif.Put
10		71%
20		71%
30		67%
40		61%
50	24%	54%
60	25%	51%
70	27%	48%
80	27%	
90	26%	
100	23%	
110	20%	
120	19%	
130	20%	
140	16%	
150	21%	

Fuente: Henríquez Vega, Tesis 2012

Con esta valorización se tiene una aproximación al valor que tendría el precio de estos contratos. Este tipo de modelos tiene un buen funcionamiento para el promedio de los años, pero presenta deficiencias para predecir valores extremos, es decir precipitaciones muy altas o muy bajas, pues solo considera el promedio de las precipitaciones. Para tener un modelo que funcione de mejor manera en estos casos extremos, que es donde el emisor del contrato debe realizar los mayores pagos y por ende son de gran interés, se buscará realizar un modelo que discrimine entre estos casos y les entregue más importancia a los casos extremos.

Es importante recalcar que los precios del modelo están calculados sin considerar el riesgo que asume la compañía al vender estos contratos, de esta forma, es lógico pensar que el modelo subestime estos precios. La compañía emisora, en este caso CelsiusPro, agregará un spread al precio, el cual debiese ser estimado como el riesgo de mantener esa posición.

CAPITULO X

CONCLUSIONES

10. CONCLUSIONES

En este capítulo se describen las conclusiones finales del trabajo, para esto se hace un resumen del cumplimiento de los objetivos específicos y generales.

Para visualizar de manera gráfica el logro de los objetivos, se presenta la tabla 25, donde se muestra el grado de cumplimiento que más adelante se aplicará a cada uno de los objetivos.

Tabla 7: Grado de cumplimiento de los objetivos:

Optimo	85% - 100%
Bueno	50% - 84%
Regular	10% - 49%
Deficiente	0% - 9%

Fuente: Elaboración propia

10.1 Cumplimiento de objetivos específicos

Objetivo 1: Cumplimiento: Bueno

Identificar el origen de los derivados climáticos como herramienta de cobertura de riesgos climáticos

Tal como se describe en el Capítulo xx del Estado del Arte, la comercialización de este tipo de derivados tuvo inicio en la industria energética en el año 1999, lo cual sigue siendo el sector que más utiliza estos derivados con un 46% de las transacciones realizadas en los años 2010-2011. Otras industrias donde estos contratos han tenido un gran desarrollo son la industria de la construcción y la agricultura.

Objetivo 2: Cumplimiento: Optimo

Estudiar el mercado de los derivados climáticos en los diferentes países en que se han operado

En el capítulo 5.1.1 se desarrolla en detalle el mercado existente, indicando la cantidad de contratos y montos transados de Derivados Climáticos, junto a la clasificación de transacciones por tipo de industria.

Objetivo 3: Cumplimiento: Bueno

Conocer ventajas, desventajas y limitantes del uso de los derivados climáticos como herramienta de cobertura de riesgos

En el capítulo 5.2 que hace referencia al Marco Teórico del estado del arte, se define el riesgo climático y se identifica el por qué se requiere el uso de esta herramienta para disminuir el riesgo climático que afecta a las compañías agrícolas.

Objetivo 4: Cumplimiento: Optimo

Realizar un análisis comparativo entre los contratos de seguros generales y los derivados climáticos, indicando cuales son los alcances y limitantes de cada uno

En el capítulo 5.2.11 se presentan las diferencias estructurales que hay entre los derivados climáticos y los seguros generales, la cual radica en que los seguros generales cubren catástrofes climáticas, mientras que los derivados climáticos cubren eventos de bajo riesgo, pero de alta probabilidad de ocurrencia.

Objetivo 5: Cumplimiento: Regular

Formular mediante el uso de finanzas corporativas, la aplicación de los derivados climáticos en la protección de los flujos de caja de una compañía

En el desarrollo de la aplicación metodológica se formuló mediante el uso de herramientas de derivados financieros, específicamente opciones de compra y venta (put y call) la aplicación de estos conceptos a los derivados climáticos, asociándolos a variables climáticas (temperatura máxima, mínima) con variables de precipitaciones.

Objetivo 6: Cumplimiento: Regular

¶Describir los modelos de valorización de derivados climáticos utilizados

En el capítulo 7, se presentan los resultados del modelo de valorización de derivados, dada su complejidad y poca experiencia empírica, es complejo describir el uso de los modelos de valorización como una herramienta en donde se puedan aplicar los resultados obtenidos.

Objetivo 7: Cumplimiento: Bueno

¶Concluir si es factible el uso de herramientas para la valorización y aplicación de los derivados climáticos

Durante el periodo que duró la investigación, se analizaron las herramientas estadísticas disponibles para la valorización de derivados climáticos, logrando concluir que son de complejidad y de escasa aplicación, dado que las variables subyacentes (datos históricos) requieren de fuentes fiables de información, para la correcta aplicación en los procesos de valorización de derivados climáticos.

10.2 Cumplimiento de objetivo general

Cumplimiento: Bueno

¶Describir el origen, aplicación y fundamentos de los derivados climáticos como una herramienta de cobertura para la mitigación de daños económicos producto de eventos climáticos que afectan a la agricultura utilizando métodos de valorización a partir de herramientas estadísticas y financieras

Este documento se ha presentado con el propósito de presentar a los derivados de clima como una alternativa para tomar medidas contingentes contra el riesgo de eventos climáticos específicos que afectan la productividad agrícola. Desde que se empezaron a transar los

derivados de clima, surgió un mercado emergente que ha crecido diez veces en su tamaño del año 2001 a la actualidad (WRMA- Weather Risk Management Association, 2009). El uso de los derivados de clima abre campo para un mecanismo de mercado para asegurar la variabilidad en la producción, contrario a las coberturas tradicionales de commodities que aseguran un precio. La eficacia de los derivados de clima como medida contingente para neutralizar el riesgo depende de la identificación de los eventos climáticos específicos que afectan la productividad.

Las condiciones climáticas específicas establecidas contribuirían significativamente para administrar el riesgo en la productividad agrícola por medio de los derivados de clima. Por otra parte, se expuso el pricing de estos derivados en donde se debe enfatizar que los datos, las estadísticas y las probabilidades que se obtienen para determinar el pricing y el pay-off deben ser específicos de la región que se evalúa. Se debe medir los eventos climáticos específicos (lluvia y temperatura) en un lugar determinado durante un tiempo definido y por una estación meteorológica definida para evitar una selección adversa²³. Otra posibilidad consiste en tomar los datos de varias estaciones meteorológicas y ponderar los datos obtenidos. Esto pretende minimizar los riesgos que pueden surgir a partir de los datos en que se basa la evaluación y valoración.

La posibilidad de que eventos climáticos específicos puedan ser atados a riesgos en la productividad agrícola es muy significativa, puesto que permite plantear herramientas financieras dependientes del clima para mitigar riesgos causados por el mismo. En los derivados de clima el riesgo subyacente no es la variabilidad en la productividad, sino la causa directa de la variabilidad en la productividad (efecto). En vez de asegurar o permitir la cobertura del efecto i como lo hacen los derivados convencionales- que se expresa con un precio, los derivados de clima posibilitan asegurar la causa misma en la variabilidad.

La ventaja de estos instrumentos climáticos por otra parte es que el asegurador no necesita una prueba del daño causado por el cambio climático en la producción, sino que el pay-off se realiza según los eventos específicos registrados durante el periodo de tiempo estipulado en el contrato.

La mayor desventaja de los derivados climáticos es *el riesgo base*, reflejando el hecho las variables climáticas subyacentes son medidas en ubicaciones específicas y pueden diferir las realizaciones de las mismas variables en diferentes ubicaciones. Debido a que los fenómenos climáticos como las lluvias tienden a estar bien ubicadas, aun una relativamente

escasa distancia entre las medidas de estaciones y el campo podrían resultar en drásticas discrepancias entre las pérdidas ocasionadas y los pagos de los derivados.

Idealmente, los derivados climáticos se deberían realizar sobre un índice en la misma localización donde el derivado es usado como instrumento de cobertura de riesgo climático, consecuentemente se eliminaría completamente el riesgo de base. Desde un punto de vista práctico, a pesar de que sería eficiente, eso sería obviamente una proposición poco posible de llevar a cabo, aunque podría eliminar las principales desventajas del índice del contrato como menor costo de transacciones (en relación a los seguros de cultivos tradicional) y la posibilidad de transferir el riesgo al mercado de capitales.

Para propósitos prácticos, un derivado climático debería ser diseñado para un área geográfica relativamente amplia. Con un nivel de agregación que sirviera para un campo en un país específico. A pesar de ello, un derivado climático diseñado a nivel de país podría encontrar dificultades tanto por la disponibilidad de datos climáticos y un mercado limitado para la realización de los contratos.

El problema potencial con los derivados climáticos es que a veces hay una pobre correlación entre lluvia y rendimiento de cultivos. Para circunscribir el problema, los investigadores y la industria de seguros están investigando contrato de índices y el desarrollo de modelos que vinculan lluvia a rendimiento. Ese tipo de modelos podría ofrecer a los productores agrícolas mayor cobertura, podrían saber el efecto de un evento climático y podrían asegurarlo en forma más efectiva.

10.3 Conclusiones específicas

Uno de los tópicos que ha frenado, en cierta medida, al desarrollo de estos mercados ha sido la dificultad de encontrar el precio adecuado al cual transar estos instrumentos, principalmente porque los subyacentes de estos contratos no se comportan como el resto de los activos financieros y muchos de los supuestos que hacen los principales modelos de valorización conocidos para derivados no se cumplen en este tipo de subyacentes meteorológicos.

La negociación con derivados climáticos hasta la fecha se ha desarrollado tan sólo discretamente, a pesar de las mejoras y de las adaptaciones que han sufrido desde su introducción tanto los productos diseñados como los índices utilizados.

La cobertura de los riesgos climáticos mediante el recurso a las operaciones de derivados puede ser una buena alternativa para los países que más fuertemente se ven afectados por el clima.

Lo interesante de este instrumento es que va más allá de la típica protección de precios que hoy en día se puede realizar en el mercado financiero a través de futuros, también da un paso más a la administración del riesgo como es la necesidad de cubrirse de recibir flujos de cajas variables, lográndolos estabilizar mediante la negociación de un Swap.

La importancia de estos derivados seguramente irá en aumento a causa de los cambios bruscos que están sucediendo hoy en día en el clima del planeta, inestabilidades climáticas causadas por el paradigma de la sociedad de consumo que se apoya en un crecimiento no sustentable consumiendo grandes cantidades de combustibles fósiles y destruyendo millones de bosques cada año. Esto solo puede llevar al calentamiento global y a provocar desbalances en el frágil equilibrio del sistema climático ambiental de la tierra.

Las costosas consecuencias ya la estamos padeciendo en forma acelerada hace más de 30 años con crecimientos exponenciales de desastres naturales y pérdidas millonarias para los Estados, para las empresas y para la sociedad en su conjunto. La pregunta que queda por responder es la siguiente: *¿Siempre estará a nuestro alcance instrumentos en el mercado que nos permita protegernos de los desequilibrios que nosotros mismos producimos?* sinceramente creo que no es como pretender tener siempre disponible un cuarto en nuestra casa donde dormir tranquilos cuando acabamos de prender fuego el techo de ella, no importa en qué cuarto nos mudemos tarde o temprano el fuego nos llegará.

10.4 Otras conclusiones

Resulta interesante investigar sobre nuevas variables que actúen como subyacentes de para estos derivados de acuerdo a las necesidades que vayan surgiendo en las distintas industrias.

Claramente se podría realizar coberturas sobre cualquier variable meteorológica, el problema de hacerlo radica en los modelos de predicción de estas variables que resultan muy complejos en algunos casos, de esta manera, se puede afirmar que hay mucho que avanzar en este ámbito. Se recomiendan estudios desde el lado financiero acompañados por meteorólogos para profundizar en los modelos de predicción.

Si bien los derivados climáticos que han tenido mayor desarrollo son los derivados sobre la temperatura, en países como Chile y el resto de Latinoamérica aún no existe un mercado donde se puedan transar estos instrumentos, lo cual significa una muy buena oportunidad de desarrollo. El primer paso a dar en este ámbito sería la creación de un índice climático por parte de alguna institución financiera, y de esta manera entregar una fuente estándar y de fácil acceso a datos meteorológicos.

Por otro lado, otros tipos de instrumentos podrían ayudar a satisfacer las necesidades que puedan surgir, hasta el momento los derivados climáticos más utilizados son opciones y futuros. Nuevos instrumentos como swaps o estrategias de opciones también podrían ayudar a cubrir estas necesidades.

11. BIBLIOGRAFIA

Auer, J. 2003. Weather derivatives heading for sunny times. Frankfurt Voice, Deutsche Bank Research, p. 1.

Banjo, M. 2006. A first look at pricing rainfall options. School of economics and finance, Queensland University of Technology.

Campbell, S. y Diebold, F. 2005. Weather forecasting for weather derivatives. American Statistical Association.

Castro, M. 2009. Managing weather risk with rainfall option. Universidad Torcuato di Tella, Buenos Aires, Argentina.

Cao, M. y WEI, J. 2003. Weather derivatives: A new class of financial instruments. Working paper, University of Toronto, Canada.

Cao, M., Li, A. y WEI, J. 2004. Precipitation modeling and contract valuation: A frontier in weather derivatives. The Journal of Alternative Investments, p. 1.

Cruz J., Llinas A., 2010. Modelo analítico de derivados de clima para eventos específicos de riesgo en la agricultura en Colombia. Working paper.

De Paz Cobo, S. 2004. Derivados vinculados al seguro. Universidad Pontificia de Salamanca, Facultad del CC del Seguro, Madrid, España.

Henríquez, P. 2012. Derivados climáticos: Valorización de opciones sobre precipitaciones. Universidad de Chile.

Mussio, V. 2010. Derivados climáticos aplicados a la agricultura, Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

Lee, Y. y OREN, S. 2009. An equilibrium pricing model for weather derivatives in a multi-commodity setting. Department of Industrial Engineering and Operations Research, University of California, Berkeley, CA.

12. WEBGRAFIA

- Bizee Degree Days, www.degreedays.net
- Bloomberg, www.bloomberg.com
- Banco Central de Chile, www.bcentral.com
- CME Group, www.cmegroup.com
- Enviromental Finance, www.environmental-finance.com
- PricewaterhouseCoopers, www.pwc.com
- Stephen Jewson web page, www.stephenjewson.com
- Weather Risk Management Association, www.wrma.org