



**Universitat de les  
Illes Balears**

Facultat d'Economia i Empresa

**Memòria del Treball de Fi de Grau**

# Derivados sobre clima

Raúl Medina Granados

**Grau de Administració d'Empreses**

Any acadèmic 2015-16

DNI de l'alumne: 37342260N

Treball tutelat per Maria Magdalena Massot Perelló  
Departament d'Economia de l'Empresa

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Paraules clau del treball:

Derivado, clima, riesgo climático, futuros, opciones, HDD, CDD.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de tablas .....	4
Índice de gráficos.....	5
Índice de imágenes .....	6
Resumen / Abstract.....	8
<b>1. Introducción .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Objetivos del trabajo.....</b>	<b>11</b>
<b>3. Metodologías y técnicas aplicadas .....</b>	<b>12</b>
<b>4. Los mercados de derivados.....</b>	<b>13</b>
4.1. Conceptos previos.....	13
4.1.1. Los derivados financieros.....	13
4.1.2. Mercados de futuros y forwards: definición, posiciones y valoración .....	14
4.1.3. Mercados de opciones: definición, posiciones y valoración .....	17
4.2. Estrategias con futuros/forwards y opciones .....	25
4.2.1. Estrategias con futuros/forwards.....	25
4.2.2. Estrategias con opciones .....	28
4.3. Métodos de valoración de opciones .....	31
<b>5. Los derivados climáticos .....</b>	<b>34</b>
5.1. Introducción .....	34
5.2. Aproximación conceptual.....	35
5.3. Origen y evolución de los mercados de derivados sobre clima .....	36
5.4. Situación actual del mercado español .....	40
5.5. Ámbitos de aplicación y principales ventajas.....	46
5.6. Ventajas e inconvenientes. Diferencias con los seguros tradicionales...48	
5.7. Principales índices y subyacentes sobre clima.....	49
5.7.1. Índice HDD ( <i>Heating Degree Days</i> ) .....	50
5.7.2. Índice CDD ( <i>Cooling Degree Days</i> ) .....	50
5.7.3. Otros índices .....	51
Índice CAT ( <i>Cumulative Average Temperature</i> ).....	51
5.7.4. Principales subyacentes.....	52

5.8. Tipos de contratos. Futuros y opciones sobre clima y posibles estrategias. ....	52
5.8.1. Elementos del contrato.....	52
5.8.2. Futuros sobre clima.....	54
5.8.3. Opciones climáticas .....	65
5.9. Métodos de la valoración: en busca de un consenso académico.....	74
<b>6. Derivados climáticos en acción: un caso práctico .....</b>	<b>76</b>
6.1. Descripción de la actividad.....	76
6.2. Datos históricos, regresión y estimación de ingresos.....	76
6.3. Análisis de cobertura mediante derivados sobre clima.....	80
6.3.1. Futuros sobre clima (posición corta CDD).....	81
6.3.2. Opciones sobre clima (posición larga opción Put CDD).....	84
6.4. Discusión.....	86
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>88</b>
<b>8. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación según los principales tipos de derivados financieros.....	13
Tabla 2. Parámetros básicos que intervienen en la valoración de un futuro. ...	17
Tabla 3. Factores determinantes del precio de una opción y su efecto.....	19
Tabla 4. Resultado económico de una posición larga en una opción Call. ....	22
Tabla 5. Resultado económico de una posición corta en una opción Call. ....	23
Tabla 6. Resultado económico de una posición larga en una opción Put. ....	23
Tabla 7. Resultado económico de una posición corta en una opción Put. ....	24
Tabla 8. Criterios básicos de toma de posiciones en opciones.....	24
Tabla 9. Estrategias especulativas básicas en futuros.....	28
Tabla 10. Estrategias especulativas básicas con opciones.....	30
Tabla 11. Fases del proceso de contratación de derivados climáticos.....	42
Tabla 12. Premisas básicas de la influencia del comportamiento de cada variable sobre la actividad turística.....	45
Tabla 13. Matriz de actividades, variables climáticas y riesgos a cubrir.....	47
Tabla 14. Comparativa entre derivados sobre clima y seguros tradicionales. Principales fuentes de diferencias. ....	49
Tabla 15. Simulación del cálculo del valor acumulado del índice CDD para el mes de objeto de la cobertura. ....	56
Tabla 16. Modelización del resultado económico de la PL en el futuro sobre HDD, según el valor acumulado del índice.....	57
Tabla 17. Temperaturas reales registradas en Madrid-Retiro (suposición a efectos de calcular la liquidación del contrato). ....	60
Tabla 18. Modelización del resultado económico de la PC en el futuro sobre CDD, según valor acumulado del índice.....	61
Tabla 19. Simulación del cálculo del valor acumulado del índice CDD para el mes de objeto de la cobertura. ....	64
Tabla 20. Matriz de decisiones en futuros sobre clima.....	65
Tabla 21. Simulación del cálculo del valor acumulado del índice HDD para el mes objeto de la cobertura. ....	67
Tabla 22. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Call sobre HDD, según el valor acumulado del índice.....	68
Tabla 23. Simulación del cálculo del valor acumulado del índice CDD para el mes objeto de la cobertura. ....	71
Tabla 24. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Put sobre CDD, según el valor acumulado del índice.....	72
Tabla 25. Matriz de decisiones en opciones climáticas.....	74
Tabla 26. Temperaturas máximas, mínimas y promedio registradas en los meses de julio y agosto de la temporada anterior. ....	77
Tabla 27. Relación entre temperatura promedio y número de hamacas efectivas ocupadas durante los meses de julio y agosto de la temporada anterior. .	78
Tabla 28. Estimación de hamacas efectivas ocupadas, ingresos por día y en el período, en función de la temperatura promedio del período. ....	80
Tabla 29. Cálculo del valor del CDD acumulado para el mes de julio y agosto de 2016, a partir de temperaturas estimadas. ....	82
Tabla 30. Modelización de resultados económicos utilizando como cobertura una posición corta en futuros sobre CDD. ....	83

Tabla 31. Modelización de resultados económicos utilizando como cobertura una posición larga en opciones Put sobre CDD. ....	85
--	----

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultado de una posición larga en un contrato de futuros. ....	15
Gráfico 2. Resultado de una posición corta en un contrato de futuros. ....	16
Gráfico 3. Resultado económico de la opción Call. ....	20
Gráfico 4. Resultado económico de la opción Put. ....	20
Gráfico 5. Estrategia de cobertura con futuros, tomando una posición corta. ..	26
Gráfico 6. Estrategia de cobertura con futuros, tomando una posición larga. ..	27
Gráfico 7. Estrategia de especulación con futuros. Fuente: elaboración propia. ....	27
Gráfico 8. Estrategia de cobertura con opciones, tomando una posición larga sobre una opción Put. ....	29
Gráfico 9. Estrategia de cobertura con opciones, tomando una posición larga sobre una opción Call. ....	30
Gráfico 10. Precios de convergencia entre el modelo de Monte Carlo y de Black-Scholes. ....	33
Gráfico 11. Evolución del valor nominal negociado en derivados climáticos por las empresas asociadas al WRMA y CME Group. ....	39
Gráfico 12. Evolución del número de contratos negociados en derivados climáticos por las empresas asociadas al WRMA y CME Group. ....	39
Gráfico 13. Distribución por sectores de actividad de los contratos en derivados climáticos por las empresas asociadas al WRMA y CME Group. ....	40
Gráfico 14. Modelización del resultado económico de la PL en el futuro sobre HDD, según el valor acumulado del índice. ....	58
Gráfico 15. Modelización del resultado económico de la PL en el futuro sobre HDD, según la temperatura promedio final registrada durante el período de referencia (valor ex post). ....	59
Gráfico 16. Modelización del resultado económico de la PC en el futuro CDD, según valor acumulado del índice. ....	62
Gráfico 17. Modelización del resultado económico de la PC en el futuro sobre CDD, según la temperatura promedio final registrada durante el período de referencia (valor ex-post). ....	63
Gráfico 18. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Call HDD, según valor acumulado del índice. ....	69
Gráfico 19. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Call HDD, según la temperatura promedio final registrada durante el período de referencia (valor ex-post). ....	69
Gráfico 20. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Put CDD, según valor acumulado del índice. ....	73
Gráfico 21. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Put CDD, según la temperatura promedio final registrada durante el período de referencia (valor ex-post). ....	73
Gráfico 22. Resultado económico previsto según temperatura promedio estimada en el período (cobertura mediante posición corta en futuros sobre CDD). ....	84

Gráfico 23. Resultado económico previsto según temperatura promedio estimada en el período (cobertura mediante posición larga en opciones Put sobre CDD).....	85
Gráfico 24. Resumen de las diferentes estrategias de cobertura.....	87

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Portal web de Bolsas y Mercados Españoles (BME), en su sección sobre derivados climáticos.....	41
Imagen 2. Evolución del índice “peso económico insolación” durante el año 2015.....	43
Imagen 3. Evolución del índice “peso económico temperatura” durante el año 2015.....	43
Imagen 4. Evolución del índice “peso económico viento” durante el año 2015.....	44
Imagen 5. Evolución del índice “peso económico precipitación” durante el año 2015.....	44
Imagen 6. Valor del índice “turismo”, por Comunidad Autónoma, a día 28/11/2015.....	46
Imagen 7. Captura de pantalla de una plataforma de negociación digital, con indicación de las especificaciones de un contrato de futuros sobre HDD..	53
Imagen 8. Resultados obtenidos en la regresión mediante el programa econométrico GRETL©.....	79

*“Todo el mundo habla del clima,  
pero nadie hace nada al respecto”*

Mark Twain (1835-1910)

## RESUMEN / ABSTRACT

Los derivados sobre clima surgen como una herramienta propicia para la gestión del riesgo asociado a variables climáticas. A diferencia de los derivados financieros tradicionales, en este caso el subyacente viene determinado por una variable climática (temperatura, precipitación, etc.), caracterizada ésta por no ser transable como cualquier otro activo financiero. Estos derivados toman fundamentalmente la forma de futuros, forwards, opciones y swaps. Aunque surgieron varias décadas atrás su utilización en nuestro entorno es aún limitada. Los motivos que explican esta situación pueden encontrarse en la escasez de mercados organizados, su complejidad o el estigma que aún soportan los derivados tras la irrupción de la crisis financiera global. Aún así, se espera que en los próximos años estos derivados crezcan de manera importante, máxime teniendo en cuenta que prácticamente cualquier actividad económica está sujeta, sea directa o indirectamente, a los vaivenes meteorológicos. De este modo, los derivados sobre clima ofrecen la posibilidad a las organizaciones (sean privadas o públicas) de ampliar su portfolio de gestión del riesgo, junto a todos los demás (riesgo de crédito, de precio o de tipo de cambio).

*Weather derivatives emerged as a tool for managing risk associated with unpredictable weather conditions. Unlike traditional financial derivatives, the underlying asset – such as temperature, rain, etc. – is non-tradeable, it cannot be priced. These derivatives mainly take the form of futures, forwards, options and swaps. Although they appeared several decades ago, their use in our region is still limited. The reasons for this situation can be found in the lack of organised markets for these products, their complexity or the stigma that derivatives are still suffering after the outbreak of the global financial crisis. However, it is expected that these derivatives will grow significantly in the upcoming years, especially considering that virtually any economic activity is subject, directly or indirectly, to weather fluctuations. Thus, they offer organisations (whether private or public) the possibility to expand their risk management portfolio, going beyond traditional risks (credit, price or exchange rate risk).*



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como principal objetivo ofrecer una aproximación al mercado de los derivados climáticos. Éstos, aunque no son precisamente nuevos, están experimentando un crecimiento muy significativo, en línea con la mayor concienciación que tienen las empresas y los diferentes agentes del mercado sobre la necesidad de tomar algún tipo de gestión del riesgo relacionado con los fenómenos climatológicos. Debido a su enorme aplicabilidad práctica en innumerables actividades económicas, se considera del todo necesario empezar a divulgar este tipo de productos, especialmente, entre el empresariado de nuestro entorno, puesto que la economía de nuestra región está absolutamente expuesta a este tipo de riesgo.

A pesar de tratarse de una temática compleja, se ha pretendido utilizar un lenguaje claro y conciso, siempre con la intención de concienciar y hacer ver al lector la importancia que tienen los derivados sobre clima. En el medio plazo, aquellas empresas que tomen posiciones en este sentido, serán percibidas como más sólidas, innovadoras y seguras.

Así, el trabajo en primer lugar hace un repaso genérico de la terminología específica de los principales mercados de derivados, más concretamente los futuros, forwards y opciones. Se explica, brevemente, qué son, cómo funcionan, qué tipos de posiciones y coberturas se pueden tomar, así como las estrategias más difundidas sobre las mismas. Asimismo, se comentan otros aspectos de carácter más técnico como la cuestión del arbitraje o los diferentes métodos de valoración.

Una vez se han fijado los cimientos conceptuales anteriores, es posible entrar a analizar los derivados climáticos. La búsqueda exhaustiva de literatura específica ha sido de enorme importancia dada la escasez de bibliografía académica al respecto (limitada a nivel nacional). Así, se ha acudido fundamentalmente a artículos académicos de investigadores, revistas y estudios extranjeros, así como consultar páginas web de organismos oficiales relacionados directamente con estos mercados. A partir de toda esta revisión de la literatura, ha sido posible abarcar este tipo de derivados de manera completa, analizando su funcionamiento, ventajas e inconvenientes, variables subyacentes, mercados, índices, aplicabilidades y métodos de valoración. Respecto a este último punto, procede poner al lector en alerta, pues a día de hoy aún existe un interesante debate entre los investigadores sobre la forma “correcta” de valorar los derivados climáticos. Además, se estudian las diferentes coberturas y estrategias que se pueden llevar a término con los mismos.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, este trabajo pretende ser de utilidad a potenciales usuarios de los derivados sobre clima. Por ello, se ha elaborado un ejemplo práctico sobre una actividad económica habitual en nuestro entorno. Mediante el mismo, el lector podrá alcanzar a visualizar el atractivo que pueden llegar a tener estos derivados, pudiendo entender las diferentes coberturas y posiciones posibles que se podrían tomar y sus

implicaciones. Es más, se evalúan los resultados obtenidos por cada una de ellas y se discute su conveniencia.

El trabajo finaliza remarcando las principales conclusiones obtenidas a largo de la elaboración de este trabajo. También se añaden todas las referencias bibliográficas consultadas y citadas.

## 2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

Más allá de cumplir el objetivo principal de entender qué son los derivados sobre clima, se persiguen toda una serie de objetivos específicos complementarios:

- \* Ofrecer una base terminológica sólida, partiendo de la definición y funcionamiento concreto de los derivados financieros (concretamente futuros, forwards y opciones), permitiendo entender los mismos. También aproximar al lector a los principales mercados mundiales de negociación y contratación de derivados.
- \* Explicar adecuadamente qué son los derivados climáticos, y especialmente por qué resultan relevantes para las empresas. Comprender su forma de negociación y contratación, coberturas y estrategias, y especialmente su construcción y liquidación. También introducir las principales discusiones actuales acerca de los posibles métodos de valoración de estos derivados.
- \* Plasmar la aproximación teórica anterior en un ejemplo práctico, cercano a la realidad de una empresa dedicada a una actividad habitual en nuestro entorno. Mediante este ejemplo, se pretende aplicar las diferentes coberturas que se pueden efectuar, modelizando los diferentes resultados económicos que se pueden obtener y proceder a discutir la idoneidad de cada estrategia.
- \* Por último, y tal vez el más ambicioso y difícil de conseguir, concienciar al lector y al sector empresarial de la importancia, adecuación, flexibilidad y versatilidad de este tipo de productos, especialmente en una ámbito geográfico como el nuestro, donde la práctica totalidad de la economía gira en torno al sector servicios.

Por otro lado, la motivación principal que ha justificado la elaboración del presente trabajo es cubrir el *gap* informativo existente sobre el funcionamiento específico de los derivados sobre clima. Así, la inmensa mayoría de la bibliografía que versa sobre esta materia bien trata de aspectos generales, introductorios y puramente conceptuales, o bien se adentra en discusiones muy complejas relacionadas con la valoración económica de los mismos. Es decir, es poca la literatura académica y divulgativa que se centre en explicar *cómo* funcionan exactamente (fundamentalmente, cómo se calculan los valores de ejercicio o *strike*) y se construyen estos derivados, a efectos de poder posteriormente proceder a la liquidación de las posiciones tomadas. Así pues, este trabajo pretende aportar más información para cubrir este relativo vacío de información.

### **3. METODOLOGÍAS Y TÉCNICAS APLICADAS**

A lo largo del presente trabajo se han aplicado diferentes metodologías y técnicas, empezando en primer lugar por una exhaustiva revisión de la literatura. Esta se ha fundamentado, especialmente, en la búsqueda de artículos académicos de universidades extranjeras. Algunos de ellos son sumamente complejos, siendo mayoritarios los dedicados a la investigación de modelos de valuación (punto débil de los derivados climáticos y actual debate entre expertos). Asimismo, se han consultado algunas tesis, disertaciones y libros especializados en la materia a fin de poder cubrir todo el ámbito cubierto en esta investigación. Es remarcable mencionar la escasez de información especializada en derivados climáticos en español, y mucho menos a nivel nacional. Sin embargo, es previsible que dicha situación se revierta en los próximos años, dado el indudable interés que este tipo de derivados está despertando entre los diferentes agentes.

En paralelo con la revisión de la literatura, el trabajo se completa con una serie de gráficos y tablas que permiten entender mejor las diferentes ecuaciones y formulaciones matemáticas que se añaden a las explicaciones. Dichos gráficos se han elaborado mediante programas de explotación estadística de datos.

Finalmente, el ejemplo práctico que acompaña este trabajo ha requerido la aplicación de técnicas estadísticas y econométricas, haciendo uso del programa econométrico GRETL©, ampliamente difundido para la realización de modelos de regresión. De este modo, juntamente con la elaboración de diferentes cálculos y gráficos, se ilustrarán los resultados obtenidos en el ejemplo práctico en función de cada tipo de cobertura realizada con los derivados sobre clima.

## 4. LOS MERCADOS DE DERIVADOS

### 4.1. Conceptos previos

#### 4.1.1. Los derivados financieros

Los derivados financieros pueden definirse como un “activo financiero que representa un derecho sobre otro activo financiero” (Ross, Westerfield y Jordan, 2010: 733). Tal y como afirman estos autores, la utilización de este tipo de activos se centra de manera habitual en la administración del riesgo de las empresas (p. 733). Es decir, su valor es derivado de la posible evolución que presenten los precios de otros activos subyacentes (precios al contado), así como de las tasas de interés (es decir, valor de dinero en el tiempo). Dichos activos subyacentes pueden ser de diferente índole, como por ejemplo una acción, un índice bursátil, o un bien de naturaleza física, como podría ser una mercancía (Gray y Place, 1999: 5). Este positivo efecto sobre la gestión del riesgo resulta del hecho de conocer, en el momento de formalizar el contrato, con certeza el importe a satisfacer o a recibir en una fecha futura acordada. Es decir, se consigue mitigar el denominado “riesgo de precio”, consistente en aquél asociado a la variabilidad que pueden experimentar los precios, en este caso, de los activos subyacentes.

En resumen, la idea fundamental que subyace sobre estos tipos de productos es su idoneidad para limitar los riesgos y, a su vez, reducir la volatilidad que pueda producirse en los resultados de las empresas (Lucas y Lumberras, 2012: 28).

Según la Comisión Nacional del Mercado de Valores (2006: 9), los principales tipos de productos derivados son los que a continuación se especifican:

Tipología	Categoría de derivado financiero	Supervisión
Productos derivados	Negociados en mercados regulados:	En España, supervisados por la CNMV
	<i>Futuros y opciones financieras y no financieras</i>	
	<i>Warrants</i>	
Productos derivados OTC	Productos negociados en mercados secundarios <i>Over-the-counter</i> :	No supervisados
	<i>Contratos a plazo (forwards)</i>	
	<i>FRA's</i>	
	<i>Permutas financieras (swaps)</i>	
	<i>Opciones</i>	
Productos estructurados	Negociados en mercados regulados:	En España, supervisados por la CNMV
	<i>Certificados</i>	
	<i>Turbowarrants</i>	No supervisados
	No negociados en mercados regulados:	
<i>Derivados de crédito</i>		
Otros productos no negociables	De naturaleza mixta	En España, supervisados por la CNMV
	Contratos financieros atípicos (CFAs)	

Tabla 1. Clasificación según los principales tipos de derivados financieros.  
Fuente: elaboración propia a partir de CNMV (2006: 9).

Debido al objeto de este trabajo, se centrará el foco en el funcionamiento de futuros/*forwards* y opciones, pues los derivados climáticos que más adelante se analizarán presentarán su forma en estos tipos de productos. Como es de intuir pues, los derivados financieros no son los únicos existentes, sino que hoy en día pueden encontrarse derivados sobre materias primas (*commodities*), energía, seguros, clima, etc.

No obstante, a pesar de esta aparente diversidad, y según datos de la *World Federation of Exchanges* publicados en 2008 (disponible en González Pueyo (2009: p. 14), los contratos de derivados (regulados) están principalmente vinculados con los índices de renta variable (35,3%), acciones individuales (28,3%), tipos de interés (24,1%), materias primas -agrícolas y metales- (5,7%), energía (3,2%), divisa (2,9%) y otros –crédito, inflación, clima- (0,4%).

#### **4.1.2. Mercados de futuros y forwards: definición, posiciones y valoración**

Pueden definirse los futuros y los *forwards* como “contratos entre dos partes en los que se acuerda la obligación de comprar o vender un activo determinado (el subyacente) a un precio acordado (precio de ejercicio o *strike*) en una fecha futura (vencimiento)” (Lucas y Lumbreras, 2012: 29). La diferencia fundamental entre ambos, radica en que mientras los primeros, es decir los futuros, pueden ser contratados en mercados organizados, los segundos no. De hecho, los *forwards* se negocian en el denominado mercado “OTC” (*Over-the-counter*). Estos mercados OTC, si bien pueden resultar más flexibles (pues no se recurre a contratos estandarizados como en los mercados de futuros), sí que presentan algún riesgo de crédito, el cual es uno de sus principales inconvenientes (Hull, 2009: 4).

En los futuros y *forwards*, pueden tomarse dos tipos de posiciones: posición larga (PL) y posición corta (PC). A continuación se explica brevemente en qué consiste cada tipo de posición y qué repercusión tiene sobre el resultado final.

##### *Posición larga (PL)*

Situación en la que el agente que contrata el futuro o *forward*, en la fecha de vencimiento del mismo, recibe el activo. Es decir, el comprador del contrato.

##### *Posición corta (PC)*

Contrariamente a lo que sucede en la posición larga, cuando el agente que toma el contrato tiene la obligación de entregar el activo en la fecha de vencimiento, se dice que está tomando una posición corta (es decir, es el vendedor).

Así pues, en el momento del vencimiento se entenderá que el contrato queda cancelado cuando se ha producido el intercambio de recursos. Si este tipo de contratos son tan ampliamente difundido en la actualidad, podría resultar sorprendente pensar que cualquier persona debe cancelar su posición entregando o recibiendo necesariamente el activo subyacente (que, recuérdese, pueden ser bienes físicos como, por ejemplo, materias primas).

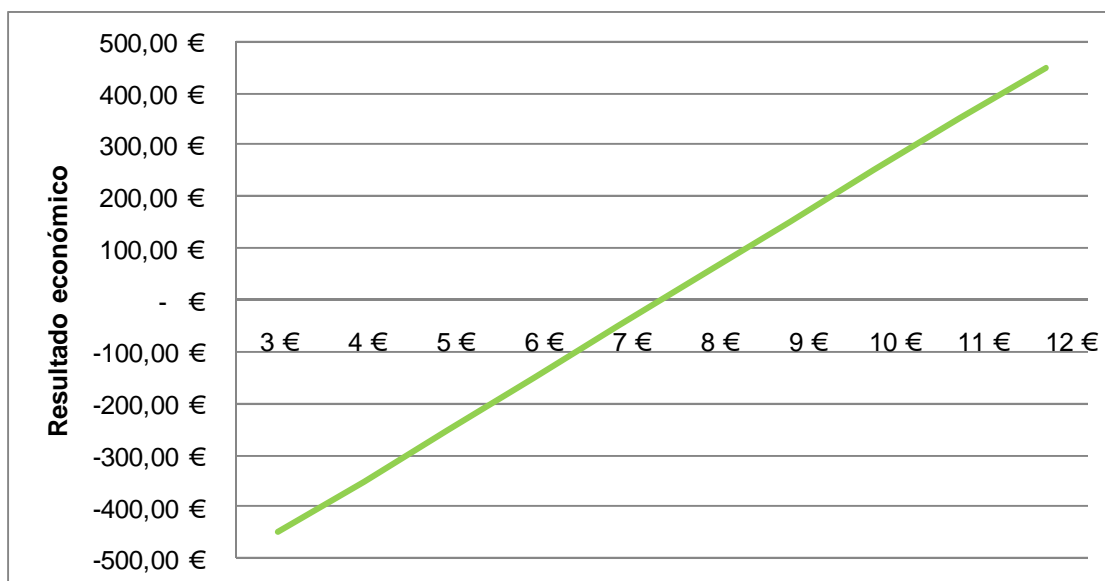
Por ello, al vencimiento del contrato es posible realizar efectivamente la compraventa del subyacente, o bien “intercambiar el beneficio o pérdida que hubiese resultado de realizar esa compraventa” (Lucas y Lumbreras, 2012: 29). A esto último, se le conoce como “cancelación por diferencias”.

Una vez se conocen los tipos de posición que pueden tomarse, la siguiente cuestión a resolver es cómo se determina el resultado de dichas posiciones. Es decir, qué efectos puede tener el hecho de tomar un tipo de posición u otra, y cuándo resulta aconsejable cada una de ellas (pues no cubren ambas el mismo tipo de riesgo). Así, el cálculo del resultado queda definido por las siguientes formulaciones:

Resultado PL	$F_n - F_0$
Resultado PC	$F_0 - F_n$

Donde,  $F_n$  es el valor final del activo subyacente (en el momento de vencimiento) y  $F_0$  el valor al que se contrata el futuro.

A modo de ejemplo, supóngase que el día 1 de enero de 2015 se toma una posición larga sobre acciones de Iberdrola, que cotizan a 7€, donde el tamaño del contrato es de 100 acciones y el futuro a seis meses cotiza a 7,50€.

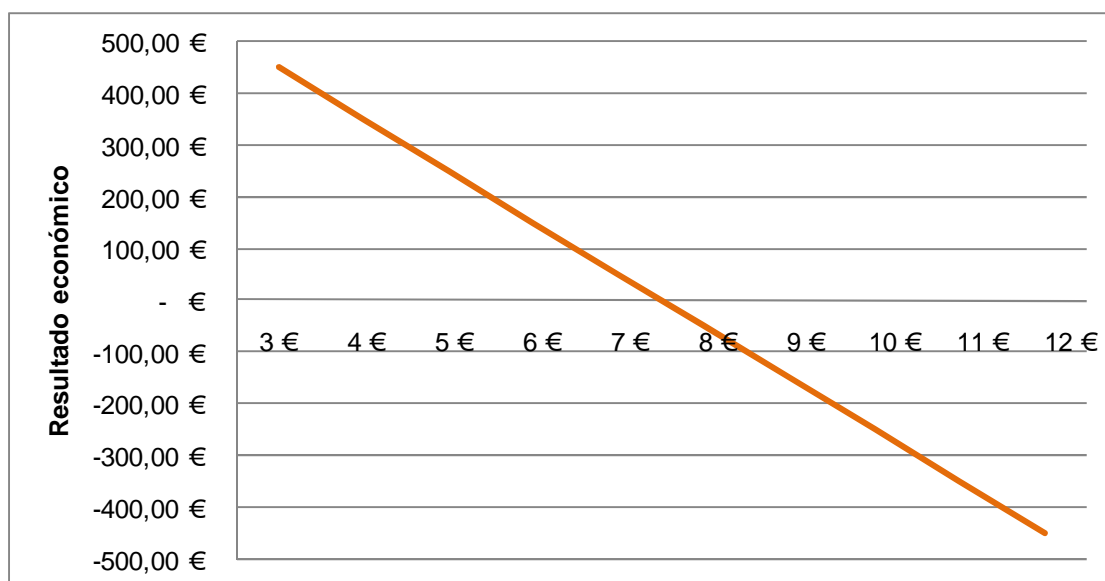


**Gráfico 1. Resultado de una posición larga en un contrato de futuros.**  
Fuente: elaboración propia.

Del gráfico anterior, nótese que el punto muerto se sitúa precisamente cuando el subyacente cotiza al precio del futuro a seis meses en el momento de formalización del contrato. Además, se observa que a medida que se incrementa el precio de la acción, mayor es el beneficio obtenido en el futuro, y viceversa. Mediante este contrato se pretende mitigar el riesgo de incremento del precio.

Ahora, considérese que un agente, ante los mismos supuestos del ejemplo anterior, desea el día 1 de enero tomar una posición corta sobre un contrato.

Esto es, el 30 de junio deberá hacer entrega de las 100 acciones a la contraparte. Los resultados obtenidos serán simétricamente inversos, tal y como se deduce del siguiente gráfico:



**Gráfico 2. Resultado de una posición corta en un contrato de futuros.**  
Fuente: elaboración propia.

En este caso concreto, el riesgo que desea cubrir el agente es el de caída del precio de la acción. Resulta obvio alcanzar dicha conclusión, puesto que lo que se pretende es asegurar un precio de venta, máxime cuando es esperable una caída en la cotización de la acción. Así, si se observa el gráfico, se aprecia que a mayor caída del precio de la misma, mayor es el beneficio obtenido por el tomador de la posición corta.

Una vez se conocen los principales tipos de posiciones a tomar y el comportamiento de sus resultados, procede explicar sucintamente cómo se determina el precio teórico del futuro o forward. Naturalmente, dicho precio no puede ser cualquiera, sino que éste está intrínsecamente ligado con el precio actual del activo subyacente. Así, los parámetros que se deben tomar en consideración a la hora de determinar el precio del futuro son los siguientes.



Parámetro	Símbolo
Precio del futuro en el momento "0"	$F_0$
Tiempo hasta el vencimiento, expresado en años.	$T$
Precio del activo subyacente en el momento "0".	$S_0$
Precio del activo subyacente a vencimiento.	$S_t$
Tasa libre de riesgo, expresada en capitalización compuesta anual, para el período "T". Es la tasa a la cual los agentes pueden invertir y pedir prestado.	$r$

**Tabla 2. Parámetros básicos que intervienen en la valoración de un futuro.**  
Fuente: elaboración propia a partir de Lucas y Lumberras (2012: 39).

La expresión matemática es la siguiente:

$$F_0 = S_0 \cdot e^{rT}$$

Nótese que, para simplificar, se toma como activo subyacente un activo financiero (y no una mercancía), sin pagos intermedios, ni costes de almacenamiento. Si se desea considerar estos diferentes aspectos, las fórmulas para determinar el precio teórico del futuro variarían (considerando dichos pagos intermedios –diferenciando si esta cuantía es conocida o no, o si son proporcionales en forma de tasa-, si es una mercancía adquirida como activo de inversión o de consumo, si existen costes de almacenamiento, etc.).

Es importante tener en cuenta que toda aquella situación en la que no se cumpla la igualdad anterior, es decir, el precio del futuro en el mercado y el precio teórico del mismo no coincidan, permitirá que se generen oportunidades de arbitraje, dado que no existirá una correcta valoración de activos en el mercado (Massot, 2011: 10). Dicha situación no es baladí, pues los arbitrajistas constituyen un grupo importante de participantes en el mercado. Tal y como afirma Hull (2009), "el arbitraje implica asegurar una utilidad libre de riesgo, realizando simultáneamente transacciones en dos o más mercados" (p. 15).

#### 4.1.3. Mercados de opciones: definición, posiciones y valoración

Según la Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNMV), una opción es "un contrato que otorga a su comprador el derecho, pero no la obligación, a comprar o vender una determinada cuantía del activo subyacente, a un precio determinado llamado precio de ejercicio (o *strike*), en un período de tiempo estipulado o vencimiento" (2006: 26). De esta definición se desprende que la diferencia fundamental con los futuros y *forwards* es que existe un derecho y no una obligación de ejercer. Es decir, una vez se alcance el vencimiento (si es una opción europea), el comprador o el vendedor de la misma puede decidir si ejercer o no en función de la diferencia que exista entre el *strike* y el precio al contado del subyacente a dicho vencimiento. Si fuese una opción americana,

no sería necesario esperar hasta ese momento, pues se puede ejercer en cualquier momento de la vida de la opción.

Por otro lado, en el momento de formalizar el contrato de opción debe desembolsarse una cantidad, que se conoce con el nombre de “*prima*”. Las opciones, igual que sucede con el caso de los futuros y *forwards*, pueden tomar como referencia diferentes tipos de activos subyacentes (acciones, divisas, índices, futuros, etc.).

Seguidamente se presentan los principales tipos de opciones, así como las posiciones que pueden tomarse sobre las mismas, a fin de entender mejor su funcionamiento particular.

*Opciones Call*: la opción *call* es aquella que otorga al poseedor de la misma “el derecho a comprar el activo subyacente a un precio fijado en (o hasta) una fecha determinada” (Estrada, 2006: 316). Nótese el matiz que introduce el autor cuando señala que el derecho puede ejercerse en o hasta la fecha determinada, en clara alusión a la antes mencionada diferencia existente entre las opciones europeas (ejercidas o no en el vencimiento) y las americanas (ejercidas o no en cualquier momento hasta llegar a la fecha de vencimiento).

*Opciones Put*: por el contrario, este segundo tipo de opción otorga el derecho a vender dicho activo subyacente, al precio fijado o *strike* ( $X$ ), en (o hasta) la fecha de vencimiento de la misma.

Además, las opciones se pueden clasificar en función del flujo de caja que pueden generar en un momento “ $t$ ” cualquiera de su vida en caso de ser ejercidas:

Opción “*In the Money*” (ITM). En caso de ser ejercidas, producen un flujo de caja positivo. Si se trata de una opción de compra (*Call*), se traduciría en  $S^* > X$ , entendiendo  $S_0$  como el valor del subyacente y  $X$  como el precio de ejercicio. En caso de ser una *Put*, también sería ITM en caso de cumplirse que  $X > S^*$ .

Opción “*At the Money*” (ATM). El flujo de caja generado es nulo, es decir, los valores de  $S^*$  y  $X$  son coincidentes ( $S^* = X$ ).

Opción “*Out of the Money*” (OTM). Situación contraria a la opción ITM, donde el ejercicio produce flujos negativos. Para el caso de una *Call*, se cumpliría que  $S^* < X$ , mientras que en las opciones *Put* la condición es que  $X < S^*$ .

En referencia a la prima, el valor de la opción se descompone en dos elementos, uno de carácter interno (*valor intrínseco*, el cual no puede ser inferior a 0) y otro de carácter externo (*valor temporal*, relacionado con el valor del dinero en el tiempo y la volatilidad del subyacente). A su vez, hasta un total de seis factores influyen en el precio que pueda tener una opción en un momento dado (véase tabla siguiente).

Factor	Influencia sobre la prima de la opción
Precio del subyacente ( $S_t$ )	Call: $\Delta S_t : \Delta \text{Call}$
	Put: $\Delta S_t : \nabla \text{Put}$
Precio de ejercicio (X)	Call: $\Delta X : \nabla \text{Call}$
	Put: $\Delta X : \Delta \text{Put}$
Dividendos ( $d_t$ )	Call: $\Delta d_t : \nabla S_t > \nabla \text{Call}$
	Put: $\Delta d_t : \nabla S_t > \Delta \text{Put}$
Tipos de interés (r)	Call: $\Delta r : \Delta \text{Call}$
	Put: $\Delta r : \nabla \text{Put}$
Tiempo a vencimiento (T)	Call (europea): $\Delta T : \Delta \text{ efecto sobre } r \text{ y } \sigma : \Delta \text{Call}$
	Put (europea): $\Delta T : \Delta \text{ efecto sobre } r \text{ y } \sigma : \Delta \text{Put}$ , salvo que sean muy ITM
	Call y put americanas: $\Delta T : \Delta \text{Call y } \Delta \text{Put}$ . En cualquier caso mayor o igual a cero. Si una put europea está muy ITM: con más t, menos valor. Una americana igual no incrementará su valor.
Volatilidad ( $\sigma$ )	Call: $\Delta \sigma : \Delta \text{Call}$
	Put: $\Delta \sigma : \Delta \text{Put}$

**Tabla 3. Factores determinantes del precio de una opción y su efecto.**  
Fuente: elaboración propia.

Una vez se conocen los tipos básicos de opciones y los factores que inciden sobre el precio su precio, se pueden exponer las condiciones que harán que un inversor pueda ejercer o no en el momento de vencimiento (T):

Para el caso de una Call ( $C_t$ ), el precio en T será:

$$C_t: \text{Max} \{S_t - X, 0\}$$

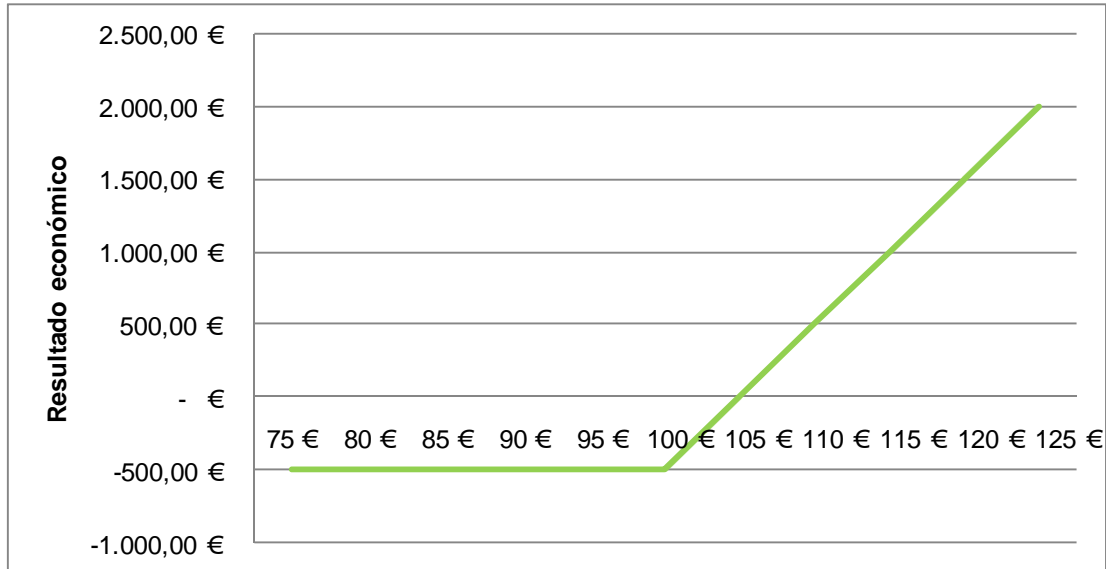
Para el caso de una Put ( $P_t$ ), el precio en T será:

$$P_t: \text{Max} \{X - S_t, 0\}$$

Una vez se han fijado los principales aspectos de las opciones, es conveniente ilustrar su funcionamiento mediante dos ejemplos sencillos.

#### *Ejemplo 1: Opción Call*

Considérese un inversor que desea adquirir una opción de compra europea sobre acciones de Inditex, que cotizan en bolsa a 98€. Se sabe que la prima de la opción se sitúa en 5€ y que el precio de ejercicio es de 100€. El tamaño de la opción es de 100 acciones y el vencimiento de la opción es a los 6 meses. Los resultados en función del precio que tome el subyacente en el vencimiento, serán los siguientes.

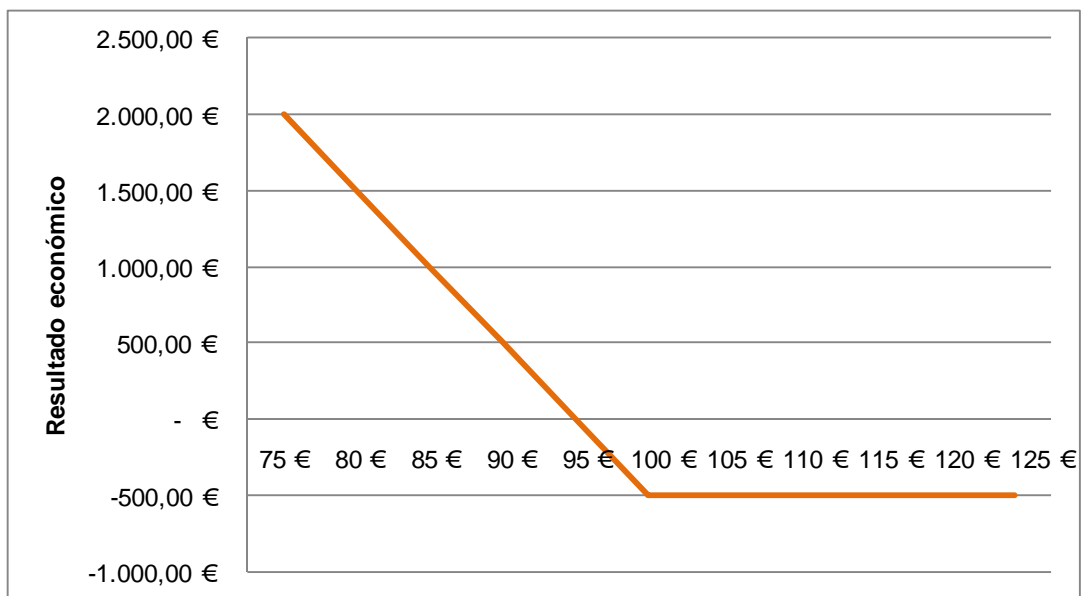


**Gráfico 3. Resultado económico de la opción Call.**  
Fuente: elaboración propia.

Del gráfico anterior se deduce que si al vencimiento la acción cotiza a menos de 100€, el inversor decidirá no ejercer la opción, incurriendo en unas pérdidas limitadas a la prima pagada (es decir 5€ x 100 acciones = 500€). En cambio, no se establece un límite superior a los beneficios potenciales, en caso de subida importante en el valor del activo subyacente. Por lo tanto, esta opción se considera adecuada cuando se desean adquirir acciones en el futuro y se estima que éstas experimenten una subida.

*Ejemplo 2: Opción Put*

Si, por el contrario, considerando ahora una opción Put, y manteniendo constante el resto de condiciones (prima, vencimiento, precio de ejercicio, activo subyacente y cotización del mismo), el resultado sería este otro:



**Gráfico 4. Resultado económico de la opción Put.**  
Fuente: elaboración propia.

La lógica que se esconde tras el gráfico anterior es contraria a la que subyacía con la opción de compra. Ahora, si el activo en el momento T se sitúa por encima del umbral de los 100€ (siendo éste el punto muerto, coincidente con X –el valor de ejercicio-), las pérdidas se limitarían a la prima satisfecha. Por el contrario, en caso de caída en el valor de la acción (en relación al precio de ejercicio), implicaría para el inversor la obtención de ganancias. Es por ello que dichas opciones son adecuadas en caso de esperar una bajada en las cotizaciones del subyacente (en este caso, la acción de Inditex).

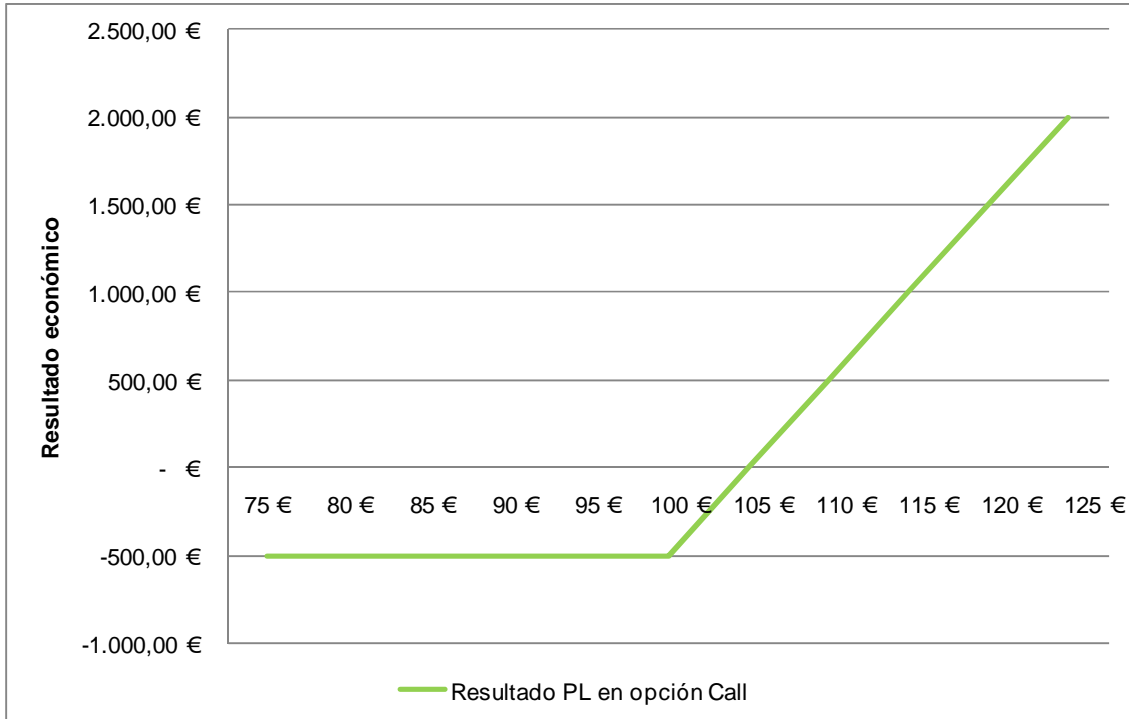
Ahora que se conoce el comportamiento gráfico de cada tipo de opción, es momento de incorporar otra variable al análisis: la posición tomada. En otras palabras, para cada contrato de opción existen dos lados: la posición larga (el inversor compra la acción), y la posición corta (el inversor vende la acción). Por ello, en cada opción se pueden dar hasta cuatro tipos de posiciones: una posición larga o corta sobre una opción *Call*, y una posición larga o corta sobre una opción *Put*. Con el fin de amenizar la explicación y hacer más comprensible el comportamiento de cada posición, se han elaborado sencillos ejemplos con sus correspondientes gráficos:

#### *Caso 1: Posición larga en una opción Call.*

Suponiendo los supuestos del ejemplo anterior sobre opciones, se cumple que:

$$\text{Resultado} = \text{Max} \{S_t - X, 0\} - C_t$$

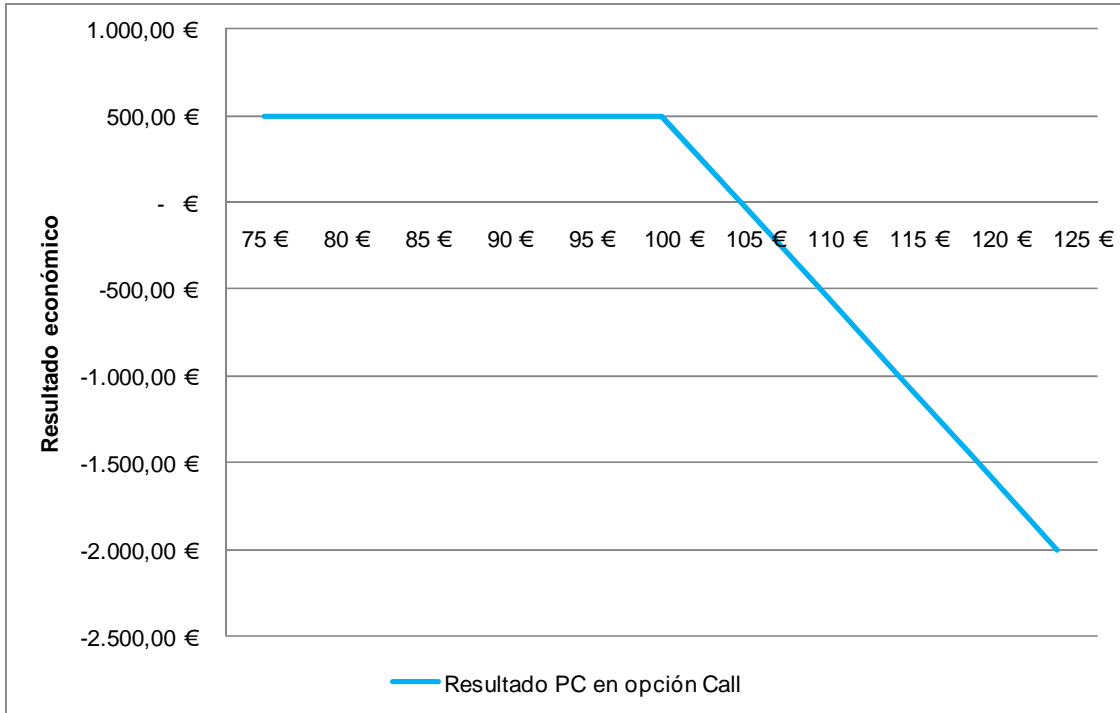
Siendo el resultado el mismo que el que se producía con una opción *Call*, vista anteriormente. Se aprecia, por tanto, que mediante esta posición se establece un suelo, limitando pérdidas ante una eventual caída en la cotización de la acción, mientras que los potenciales beneficios son ilimitados.



**Tabla 4. Resultado económico de una posición larga en una opción Call.**  
**Fuente: elaboración propia.**

*Caso 2: Posición corta en una opción Call.*

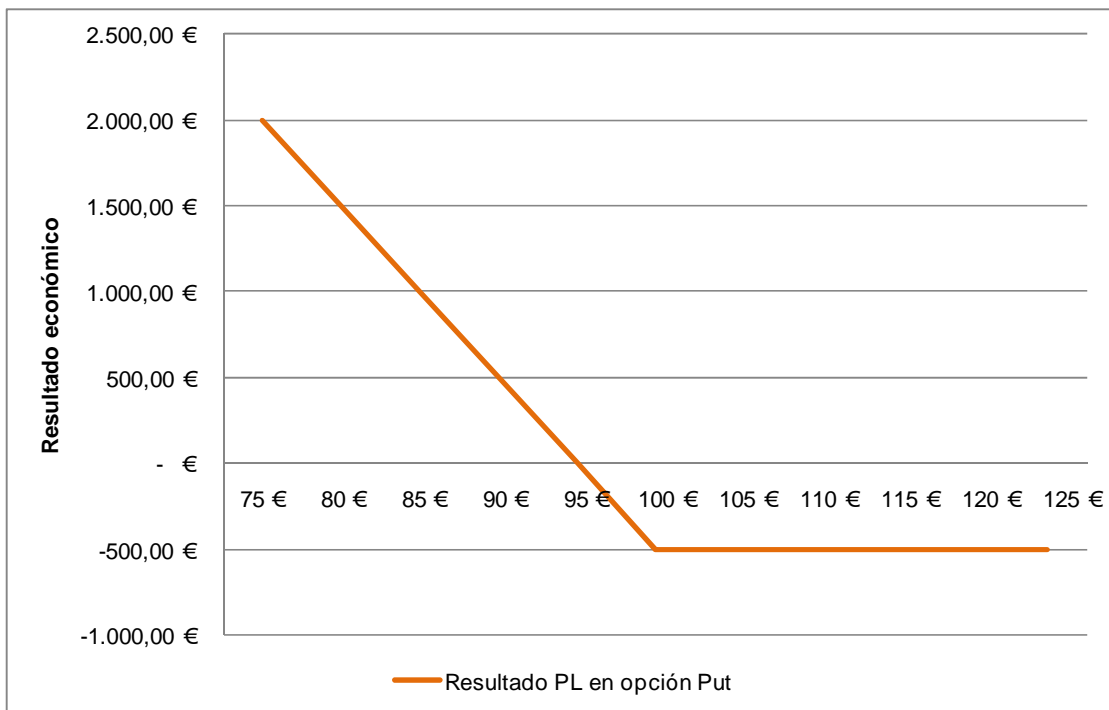
En este caso, el resultado que se obtendrá será contrario al anterior. Así, la bajada en el precio del subyacente permite al inversor obtener ganancias, aunque, eso sí, limitadas a la prima desembolsada. Por el contrario, a medida que se produzca una subida en la acción, las pérdidas tenderán al alza sin limitación de ningún tipo.



**Tabla 5. Resultado económico de una posición corta en una opción Call.**  
Fuente: elaboración propia.

**Caso 3: Posición larga en una opción Put.**

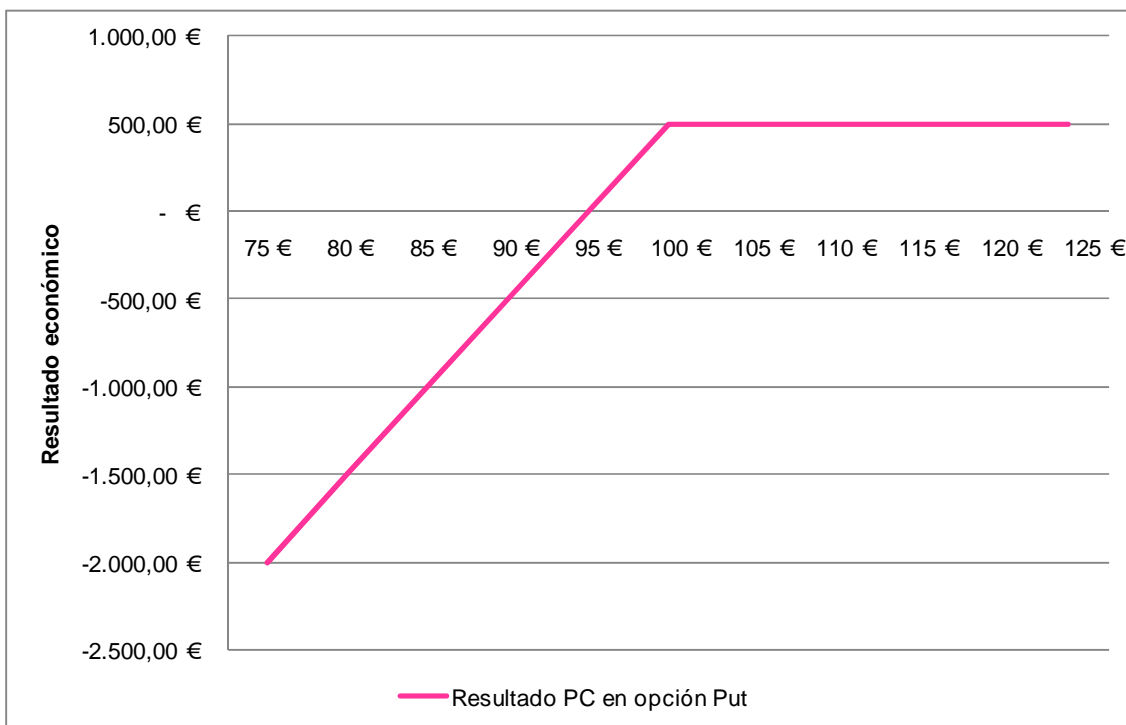
Cuanto más acentuada sea la minusvalía en las acciones, mayores beneficios percibirá el inversor en esta posición. En el supuesto de producirse el efecto contrario (subida), las pérdidas se verían limitadas, no yendo más allá de la prima satisfecha.



**Tabla 6. Resultado económico de una posición larga en una opción Put.**  
Fuente: elaboración propia.

**Caso 4: Posición corta en una opción Put.**

Una caída en la acción perjudica de manera significativa al tomador de la posición, pues no existe ningún tipo de suelo que limite las pérdidas. Por el contrario, los beneficios potenciales sí que se ven afectados por un techo (coincidente en el límite de la prima satisfecha) en caso de ascenso en la cotización.



**Tabla 7. Resultado económico de una posición corta en una opción Put.**  
Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, y como conclusión, es importante tener en cuenta qué tipo de posición se debe tomar en función de la posible evolución que pueda tener el activo subyacente. El siguiente cuadro resume los criterios básicos de actuación:

Evolución prevista en el subyacente	Posición a tomar sobre la opción
Si se espera un incremento en el precio	Posición larga en opción Call
	Posición corta en opción Put
Si se espera una bajada en el precio	Posición larga en opción Put
	Posición corta en opción Call

**Tabla 8. Criterios básicos de toma de posiciones en opciones.**  
Fuente: elaboración propia.

Para finalizar con este apartado, se hace referencia a cuál sería el valor “correcto” de las opciones. Al igual que sucedía con los futuros y *forwards* (visto en el apartado anterior), la correcta valoración de una opción requiere el cumplimiento de la condición de no arbitraje. Por ello, se habla, para el caso de las opciones europeas, de la *paridad put-call*. Según la misma, y en palabras



de Hull, “el valor de una opción de compra europea con determinado precio de ejercicio y fecha de ejercicio puede deducirse del valor de una opción de venta con el mismo precio y fecha de ejercicio y viceversa” (2009: 217). Se trataría, pues, del precio de equilibrio entre el precio de ambas opciones. La ecuación es la siguiente:

$$C_0 + X \cdot e^{-rT} + D_0 = P_0 + S_0$$

Siendo:

$C_0$  : prima de la opción de compra, en momento 0.

$X \cdot e^{-rT}$  : valor actual del precio de ejercicio, en momento 0.

$D_0$  : valor actual de los dividendos a percibir (en momento 0).

$P_0$  : prima de la opción de venta, en momento 0.

$S_0$  : precio del activo subyacente, en momento 0.

Así, aquella situación en que la igualdad anterior no se cumpla, implicará la incorrecta valoración y consecuente aparición de oportunidades de arbitraje.

## 4.2. Estrategias con futuros/forwards y opciones

Toda vez que se han analizado los principales productos derivados y el funcionamiento de las posiciones a tomar, se procede a introducir los tipos básicos de estrategias que los inversores pueden emplear. Es importante señalar que en este apartado se supone existencia de *cobertura perfecta* entre el futuro y el subyacente, esto es, no aparece el denominado “*riesgo base*”. Dicho riesgo puede aparecer por diferentes razones, como pueden ser las siguientes (Hull, 2009: 51):

- Cuando el futuro con el que se cubre el activo subyacente no es exactamente igual a éste.
- El coberturista no está del todo seguro de la fecha exacta en la que se producirá la compra o venta del activo.
- La cobertura puede solicitar que se cierre el contrato de futuros antes de la entrega.

Dicho riesgo base se obtiene mediante la diferencia entre el precio *spot* del activo a cubrir y el precio del futuro del contrato que se haya utilizado (Hull, 2009: 52).

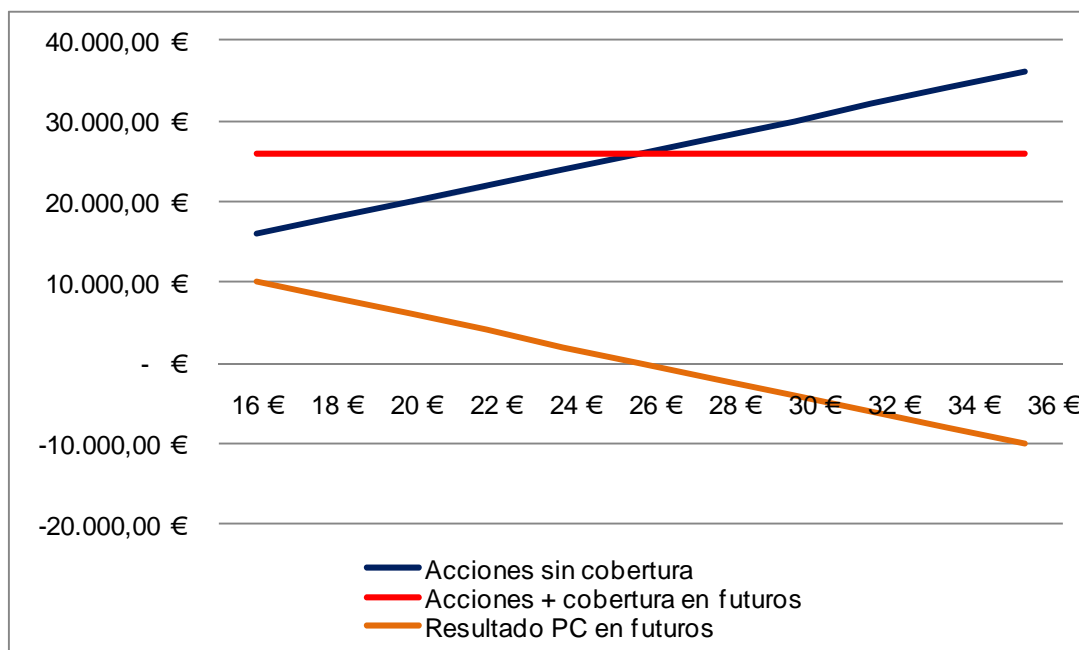
### 4.2.1. Estrategias con futuros/forwards

Se dividen las estrategias en dos tipos: de cobertura y de especulación.

#### *Estrategias de cobertura*

Las primeras consisten en asegurar a la fecha del vencimiento el precio de un determinado activo subyacente sobre el que recae el futuro o *forward*. Sígase el siguiente sencillo supuesto como ejemplo: se desea cubrir una cartera de 1.000 acciones de Gas Natural, que en el momento 0 cotizan a 25€. Su respectivo futuro a 6 meses lo hace a 26€. Considerando que el tamaño de cada futuro es de 100 acciones, se toman pues 10 contratos ( $100 \times 10 = 1.000$

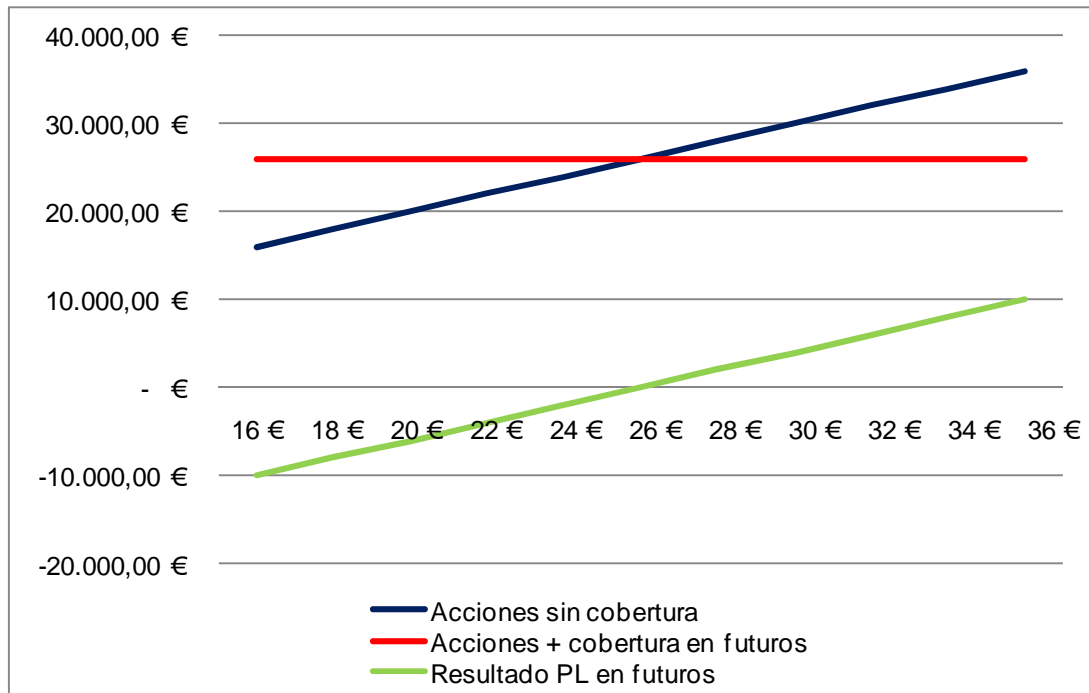
acciones). Se toma una posición corta (pues el riesgo que se desea cubrir es el de bajada en la cotización).



**Gráfico 5. Estrategia de cobertura con futuros, tomando una posición corta.**  
Fuente: elaboración propia.

Del gráfico anterior se puede interpretar cómo, mediante la cobertura con el futuro, el inversor se garantiza, pase lo que pase con el precio de la acción, un valor en su cartera de 26.000€ (línea roja, horizontal). En cambio, si decide no cubrirse, queda expuesto al vaivén que pueda experimentar la cotización (línea azul). Nótese que dicho resultado de 26.000€ es coincidente con el precio del futuro (26€) multiplicado por el total de acciones cubiertas (1.000).

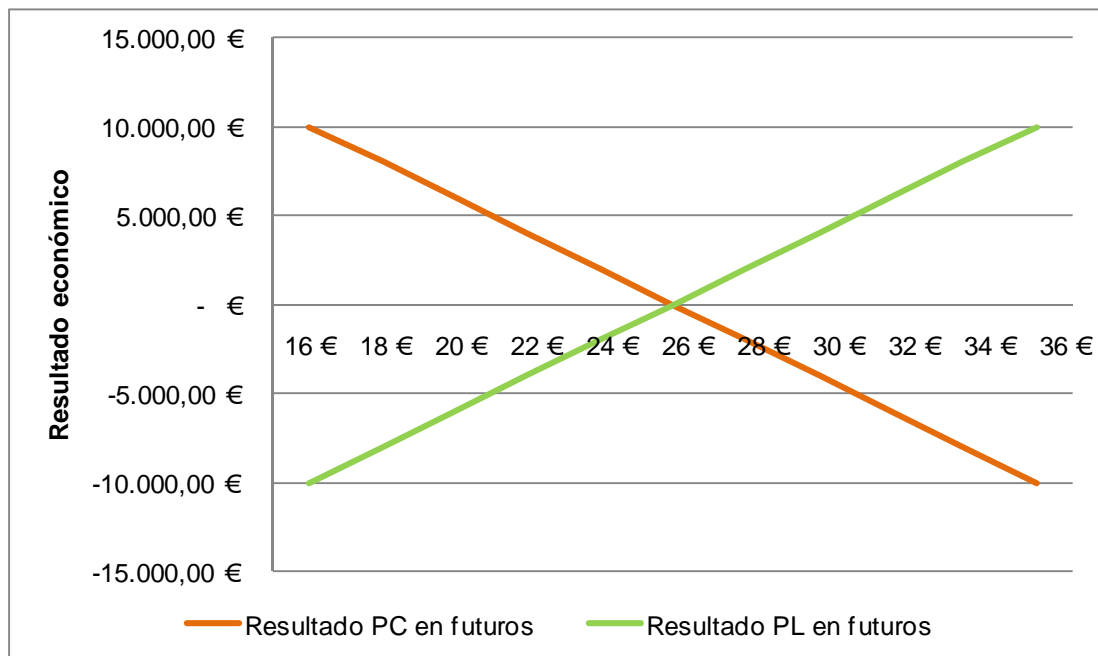
Si, por el contrario, el inversor deseara adquirir dentro de los 6 meses las 1.000 acciones de Gas Natural y quisiese garantizar el precio de las mismas, se cubriría en futuros tomando una posición larga (pues el riesgo a cubrir es el de subida en la cotización). El resultado con la cobertura sería idéntico, esto es, de 26.000€.



**Gráfico 6. Estrategia de cobertura con futuros, tomando una posición larga.**  
Fuente: elaboración propia.

### Estrategias de especulación

El segundo tipo de estrategia es la consistente en la especulación. En cierto modo, ya se ha visto con anterioridad cuando se analizaba el comportamiento gráfico de las posiciones largas y cortas sobre futuros. El gráfico es el siguiente:



**Gráfico 7. Estrategia de especulación con futuros.** Fuente: elaboración propia.  
Fuente: elaboración propia.

De este modo, se entiende que la estrategia de especulación consiste en lo siguiente:

Previsión (especulación)	Posición a tomar en futuros	Consecuencia
El precio del activo subyacente tenderá al alza	Posición larga	En el vencimiento, se adquirirán las acciones para inmediatamente venderlas en el mercado y obtener un beneficio inmediato.
El precio del activo subyacente tenderá a la baja	Posición corta	En el vencimiento, se venderán las acciones a un precio superior.

**Tabla 9. Estrategias especulativas básicas en futuros.**

**Fuente: elaboración propia.**

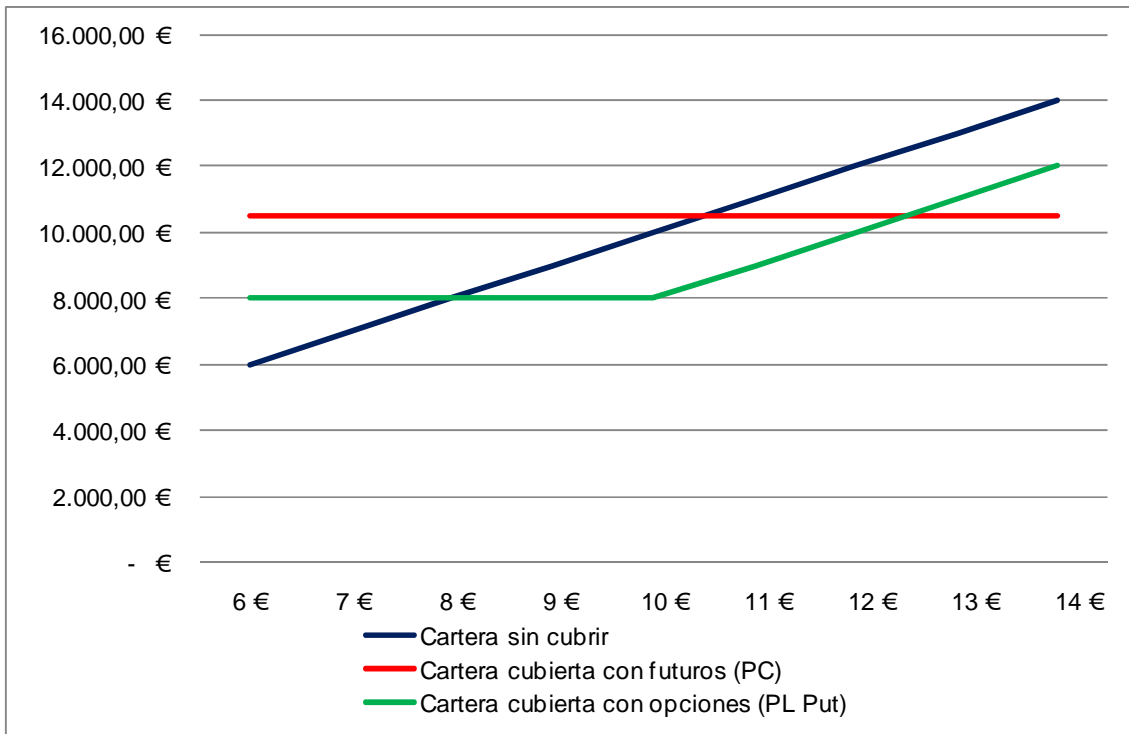
#### 4.2.2. Estrategias con opciones

Del mismo modo que sucede con los futuros, se pueden llevar a cabo dos tipos de estrategias fundamentales. Dichas estrategias se han introducido previamente en el apartado referente a los mercados de opciones. No obstante, ahora se procede a abundar un poco más en ellas, estableciendo comparaciones gráficas con las estrategias con futuros y las carteras sin cubrir.

##### *Estrategias de cobertura*

En caso de desear cubrirse de una subida en precio del subyacente, se comprará una opción *Call*. Contrariamente, si el inversor desea protegerse ante una disminución en dicho precio, se comprará una opción *Put*.

Como ejemplo, supóngase que se dispone de una cartera de 1.000 acciones de OHL, que cotizan a 10€ la acción. El inversor desea protegerse ante una posible caída en la cotización, tomando por ello una posición larga sobre opciones de venta (*Put*). El precio de ejercicio de las mismas es de 10€, con una prima que cotiza a 2€. Por lo demás, el futuro a 6 meses cotiza a 10€, tomándose también una posición corta sobre el mismo. Los resultados obtenidos son los que se grafican a continuación:

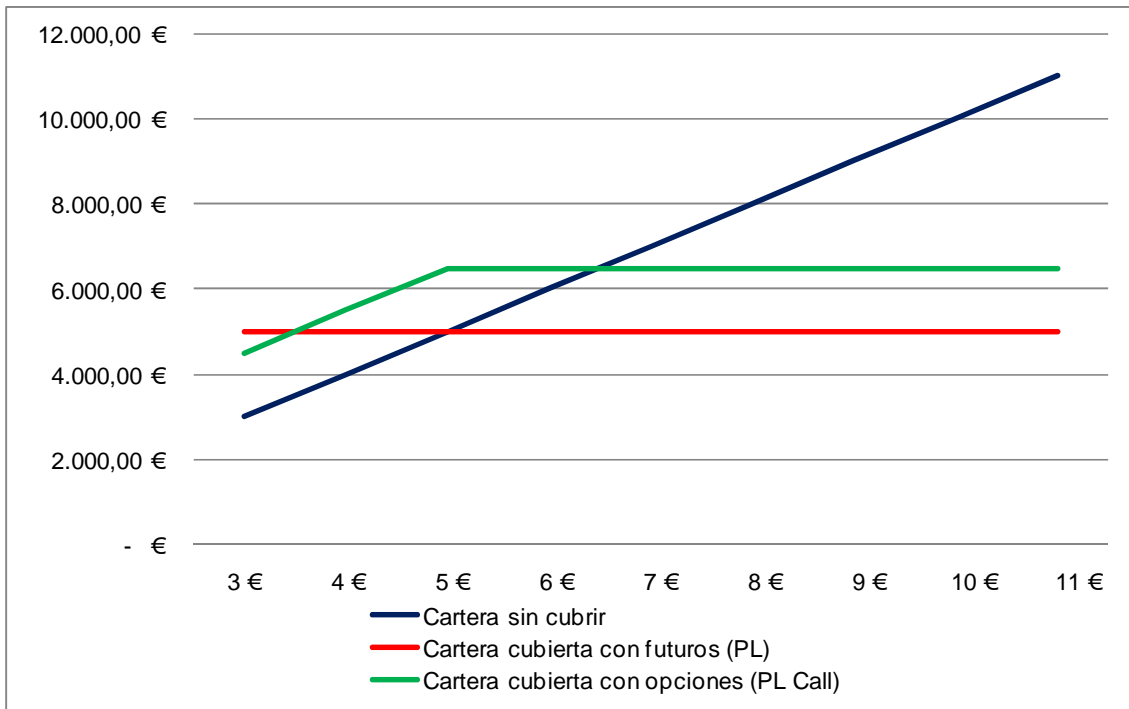


**Gráfico 8. Estrategia de cobertura con opciones, tomando una posición larga sobre una opción Put.**

**Fuente: elaboración propia.**

Se observa que la estrategia sobre opciones es eficaz ante la cobertura deseada, es decir, fija un suelo en caso de caída de las acciones. Además, si las mismas cotizan al alza, el inversor obtendrá beneficios sin ningún tipo de tope. No obstante, este beneficio tendrá un coste, en tanto en cuanto el beneficio potencial nunca llegará a ser tan alto como el que se podría alcanzar con la cartera sin cubrir (y por tanto con mayor riesgo). Es decir, mediante el pago de una prima el inversor asegura un suelo, pero como contrapartida el beneficio potencial será menor (pues reduce el riesgo de precio).

Alternativamente, si un inversor se desea cubrir ante una eventual subida en la cotización de la acción, compraría una opción *Call*, esto es, tomaría sobre ésta una posición larga. Así pues, suponiendo, por ejemplo, como datos de partida: cotización actual de 5€; número de acciones a cubrir: 1.000; cotización del futuro a 6 meses: 5€; precio de ejercicio de la opción *Call*: 5€; y prima de 1,5€; los resultados serían los siguientes:



**Gráfico 9. Estrategia de cobertura con opciones, tomando una posición larga sobre una opción Call.**

Fuente: elaboración propia.

### Estrategias especulativas

Tal y como se ha mencionado anteriormente, las reglas de decisión serán las siguientes:

Evolución prevista en el subyacente	Posición a tomar sobre la opción
Si se espera un incremento en el precio	Posición larga en opción Call
	Posición corta en opción Put
Si se espera una bajada en el precio	Posición larga en opción Put
	Posición corta en opción Call

**Tabla 10. Estrategias especulativas básicas con opciones.**

Fuente: elaboración propia.

Dentro de este tipo de estrategias, se observan diferentes posibilidades, cada una de ellas con su denominación específica. Pueden destacarse, entre otras, algunas como los que menciona el profesor Hull (2009: 231-242): diferenciales alcistas (*bull spread*), bajistas (*bear spread*), diferenciales mariposa (*butterfly spread*) o conos (*straddles*).

### 4.3. Métodos de valoración de opciones

Los métodos de valoración de opciones se basan en el principio fundamental de no posibilidad de arbitraje, pues solamente bajo esta premisa es posible determinar cuál es el precio justo de la opción. Se hace una mención general a los principales métodos, siendo éstos los siguientes.

- *Modelo de Black y Scholes.*

Se aplica para aquellas opciones que sean europeas (por tanto, no pueden ser ejercidas antes del vencimiento) y que no pagan dividendos. En dicho modelo, intervienen las siguientes variables: precio de la acción, precio de ejercicio, tasa de interés libre de riesgo, volatilidad y tiempo hasta el vencimiento (Hull, 2009: 289). Este modelo, en comparación con otros como el binomial, se ajusta más a la realidad, pues tiene en consideración un número infinito de sub-períodos de cara al cálculo del valor actual de la opción. No tiene en cuenta la preferencia al riesgo, es decir, se basa en el principio de valoración neutral al riesgo. Además, considera toda una serie de hipótesis económicas, como son la disponibilidad de liquidez, tipos de interés constantes o negociación continua, además de la hipótesis fundamental de no arbitraje. Asimismo, presupone un movimiento browniano de los precios (Mirás Calvo, p. 6). Por movimiento browniano debe entenderse que los precios siguen un proceso aleatorio.

Las fórmulas aplicables son las siguientes:

$$\begin{aligned} C_t &= F(d_1)S_t - e^{-r(T-t)}KF(d_2) \\ P_t &= -F(-d_1)S_t + e^{-r(T-t)}KF(-d_2) \end{aligned}$$

donde,

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + (T-t)\left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} \\ d_2 &= \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + (T-t)\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} \end{aligned}$$

- *Método de los árboles binomiales.*

De acuerdo con la definición del profesor Hull, un árbol binomial es “un diagrama que representa las diversas trayectorias que podría seguir el precio de una acción durante la vida de la opción” (2009: 247). En función de la volatilidad de la acción y del tiempo hasta el vencimiento, se pueden estimar los movimientos multiplicativos al alza (u) y a la baja (d) en la acción durante cada período del modelo. Las expresiones matemáticas para obtener “u” y “d” son las siguientes:

$$u = e^{\sigma\sqrt{(T-t)/n}} \quad (\text{siendo "n" el número de períodos}),$$

$$d = 1 - u \quad (\text{siendo } u = e^{\sigma\sqrt{(T-t)/n}})$$

Posteriormente, una vez se dispone de la evolución del precio de la acción, se procede al cálculo del valor de la opción mediante el procedimiento recursivo (desde el último período hasta 0), aplicando la valoración neutral al riesgo. Dicha valoración requiere el cálculo de los parámetros “p” y “1-p”, donde:

$$p = (e^{r(T-t)/n} - d) / (u - d)$$

Es importante remarcar que el modelo binomial presenta ciertas diferencias en función del tipo de opción (europea o americana) y de si ésta distribuye dividendos o no. Lógicamente, a medida que se incrementa el número de períodos en el modelo, más nos acercaremos al valor real de la opción. El caso extremo sería un número que tendiese al infinito, en el que el valor de la opción alcanzado mediante este modelo coincidiría con el resultado que arroja el modelo de Black y Scholes.

- *Modelo de Monte-Carlo.*

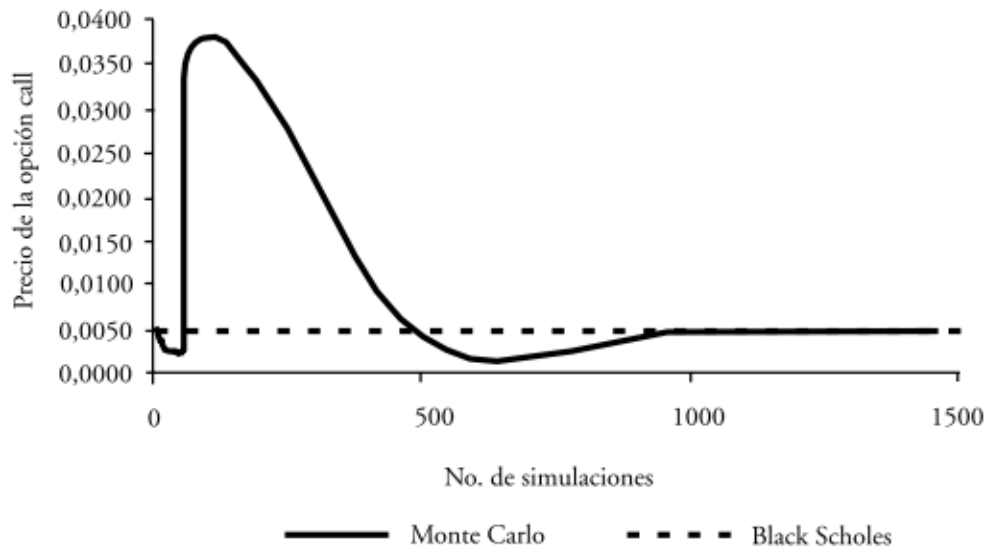
Este modelo consiste en realizar una simulación generando diversas trayectorias en el precio futuro del activo basándose en algún proceso estocástico. Así, en la fecha del vencimiento se obtienen varios valores para  $S_t$ , calculándose para cada uno de éstos el valor de la opción. Finalmente, se efectúa una estimación del valor medio de la variable aleatoria y se descuenta a la tasa libre de riesgo hasta el momento 0 (Villamil, 2006: 185). Matemáticamente, el precio de la opción se determina del siguiente modo:

$$\hat{\theta} = \sum_{j=1}^m \frac{\exp(-rT) * payoff_j}{m}$$

Donde “m” viene dado por el número de simulaciones realizadas (p. 186). Los resultados de la simulación suelen presentarse en intervalos de confianza, con un nivel de confianza de  $1-\alpha$  (p. 186).

Naturalmente, a mayor número de simulaciones, más ajustado será el valor obtenido para la opción. En el caso extremo, el precio convergerá con el resultado que arroja el modelo de Black y Scholes.





**Gráfico 10. Precios de convergencia entre el modelo de Monte Carlo y de Black-Scholes.**  
**Fuente: Villamil (2006: 186).**

## 5. LOS DERIVADOS CLIMÁTICOS

### 5.1. Introducción

No son pocas las referencias bibliográficas que constatan la importancia que tiene el clima sobre las distintas actividades económicas. Algunos autores concluyen que más del 80% del negocio mundial depende del factor clima (Müller & Grandi, 2000: 4). Afirmar esto equivale a decir que, virtualmente, toda la economía mundial, sea directa o indirectamente, está sujeta a su influencia y se ve afectada por su comportamiento. A modo de ejemplo, según un estudio elaborado por la *British Met Office*, existe una relación íntima entre la temperatura y el consumo de cerveza, donde dicho consumo se incrementa un 10% por cada tres grados centígrados que lo hace la temperatura. Por otro lado, en el Departamento de Comercio de los Estados Unidos, han sido más prudentes, estimando que un tercio de la economía nacional está directamente afectada por el clima (en Brockett, Wang & Yang, 2005: 128). Otros expertos han efectuado aproximaciones sobre la exposición al riesgo clima de las principales regiones económicas mundiales, afirmando que las compañías americanas tienen una cantidad expuesta de entorno a un trillón de dólares (en ingresos anuales), mientras que las europeas y las niponas de 1,25 trillones y 700 billones respectivamente (Brockett, Wang & Yang, 2005: 128). O, en cambio, el departamento de Energía de este mismo país ha llegado a afirmar que la séptima parte de la economía nacional estaría sujeta a este tipo de riesgo (en Hull, 2009: 477).

Fuere como fuere, y más allá del posible baile de cifras disponibles en la literatura, la idea que subyace es la enorme importancia que presenta el clima, con una influencia directa e indirecta sobre una porción muy importante del comercio mundial.

De este modo, se deduce que el clima es claramente una fuente de riesgo, entendiéndose éste como *riesgo climático*. Este riesgo genera incertidumbres acerca de los posibles ingresos y pérdidas que una actividad puede generar, afectando a variables empresariales críticas como son los beneficios, ventas o la capacidad de producción, siendo incluso más perjudicial que una eventual subida en los tipos de interés u oscilaciones en los tipos de cambio (Triana, 2011: 65). Precisamente por su importancia, por ser posiblemente uno de los riesgos más extendidos y voluminosos, además de incontrolable, se hace necesario tomar algún tipo de medida con el fin de gestionarlo. He aquí el caldo de cultivo sobre el que emergen los derivados climáticos. Se puede avanzar que estos derivados no precisan que el fenómeno a cubrir sea muy adverso o excepcional (como ocurre en muchos seguros), sino que en este caso lo que se cubre son eventos adversos no catastróficos y con cierta probabilidad de ocurrencia (Bacchini, 2009: 4).

## 5.2. Aproximación conceptual

Los derivados sobre clima constituyen un instrumento innovador para dar cobertura al riesgo climático, especialmente para aquellas (muchas) empresas en las que su desempeño es susceptible a los efectos climatológicos adversos (Hull, 2009: 477). Así pues, los resultados empresariales se encuentran expuestos a un riesgo climático, que puede definirse como  $dR/dW$ , es decir, la sensibilidad de los ingresos del negocio (rendimiento) a las variaciones en los índices climáticos (Brockett, Wang & Yang, 2005: 128).

Desde un punto de vista más teórico-formal, un derivado sobre clima sería “un instrumento financiero que implica pagos de acuerdo con ciertos parámetros climáticos que pueden medirse objetivamente (...)” (Corporación Financiera Internacional, 2002, en Salice, M.J., 2013: 4), como podría ser la “temperatura, precipitaciones, velocidad del viento, altura de la nieve o las horas de insolación registradas en varias estaciones climatológicas” (Salice, 2012: 4).

En un sentido más técnico, este tipo de derivado difiere de los “convencionales”, en tanto en cuanto no existe un activo o índice subyacente que sea negociable, midiéndose en este caso el comportamiento de alguna variable climática (como, por ejemplo, y entre otras, la temperatura, que además es la más común en estos derivados). Es decir, el activo subyacente se basa en datos de la variable climática, que a su vez influye sobre el resultado de la actividad de las empresas (Müller & Grandi, 2000: 6). Así, estos derivados constituyen contratos en los cuales los pagos que se especifican entre ambas partes (comprador y vendedor) se basan en el valor de un índice de variables (Salice, 2012: 4). Los eventos que son objeto de cobertura deben ser relativamente cotidianos (no un evento poco probable) y medibles con fiabilidad (para después poder proceder a la liquidación monetaria).

Precisamente debido a que el subyacente no es negociable se afirma que estos derivados son mercados incompletos, es decir, mercados en los cuales el precio no se puede determinar de forma única mediante el arbitraje (Pons Ferrer, 2003: 2). Que no sea negociable es sinónimo de no ser objeto de transacción, dependiendo su valor de una “variable de estado” (Pons Ferrer, 2003: 7).

A su vez, el principal objetivo de estos derivados es, o debería ser, cubrir el riesgo-volumen (resultado de los cambios en la demanda del producto o servicio debido a cambios en variables climáticas), más allá que el riesgo-precio. Incluso, se observa que en el mercado norteamericano se ha incrementado la comercialización de productos estructurados que ofrecen protección sobre ambos tipos de riesgos (Müller & Grandi, 2000: 7). Más aún, estos autores indican que dicha reducción en la volatilidad de las ventas previstas (gracias a la cobertura que ofrece el derivado sobre clima), puede evitar que las empresas suban precios en caso de caídas en sus niveles de producción a causa de efectos climatológicos adversos (p. 21). No obstante, más allá de estas innovaciones “híbridas” en estructurados, no se debe perder de vista que los derivados sobre clima permiten cubrir fundamentalmente el riesgo de tipo volumétrico.

Se trata pues de un instrumento clave para la administración de riesgo, así como la transferencia del mismo entre las partes del contrato de derivado (Vázquez y García Fonti, 2010: 26), permitiendo reducir la incertidumbre en los flujos de caja futuros (Pons Ferrer, 2003: 11) y estabilizando la cuenta de resultados de las empresas, que a fin de cuentas es para el inversor/accionista el auténtico termómetro que mide la salud financiera de las compañías.

### 5.3. Origen y evolución de los mercados de derivados sobre clima

Según Hull (2009: 477), los primeros derivados de este tipo aparecieron en los Estados Unidos en 1997, en el marco de los contratos *Over-the-counter* (OTC). El primer contrato documentado tuvo lugar entre *Enron Capital y Trade Resources*, en el seno del sector energético. Dicha operación se inspiró en una que tuvo lugar un poco antes, concretamente en julio de 1996, entre *Aquila Energy y Consolidated Edison Co.*, en la que ésta última compró electricidad a la primera. La particularidad se basó en que dicho contrato incluía una cláusula por medio de la cual se introduciría un descuento en caso de que el clima fuese más frío de lo que se había anticipado (Salice, 2012: 6). Otra operación casi simultánea a ésta tuvo lugar apenas un mes después, entre *Enron Capital y Florida Power&Light*, también dentro del sector energético. Estas transacciones fueron consideradas pioneras, sirviendo de referencia para los derivados sobre clima que vendrían después. Particularmente, esta última transacción fue diseñada por la entidad *Koch Industries*, y fue concebida como un swap sobre la variable temperatura para el invierno del año 1997 en la ciudad estadounidense de Milwaukee (Henríquez Vega, 2012: 2).

A partir de estas exitosas primeras transacciones, florecieron rápidamente los derivados sobre clima en el mercado OTC (Considine, 2000, p. 1). No obstante, dicho crecimiento se vio limitado por el denominado *riesgo de crédito*, entendiendo éste como aquél asociado al incumplimiento o impago de la parte “perdedora” al vencimiento del contrato. La limitación venía por el no cumplimiento de los requisitos del *International Securities and Derivatives Association Master Swap Agreement*). En línea con este riesgo, y en opinión de los autores Ross, Westerfield y Jordan, en los mercados de *forwards* OTC existen incentivos muy poderosos en la parte perdedora para incumplir el contrato (2010: 743).

Con el objetivo de eliminar dicho riesgo de crédito, y a su vez hacer crecer el tamaño del mercado de estos derivados, se introdujo la posibilidad de negociar estos productos de forma electrónica en la *Chicago Mercantile Exchange* (CME), por medio del sistema GLOBEX® 2 (Considine, 2000: 1). Precisamente en 1998 fue cuando la CME desarrolló el mercado de derivados climáticos, con la inclusión de futuros y opciones basados en la temperatura, precipitación, nieve, helada y huracanes (Salice, 2012: 7). Poco después, en 1999, puso a disposición a nivel global el primer mercado regulado de futuros y opciones sobre clima, en cuyo diseño participaron múltiples expertos y agentes partícipes del mismo. En la actualidad los principales mercados organizados

mundiales donde se pueden negociar estos instrumentos son la CME y el LIFFE (*London International Financial Futures and Options Exchange*).

Se puede decir que, desde esos primeros años, la familia de derivados sobre clima no ha parado de crecer a un ritmo elevado, tan solo interrumpido por la crisis financiera de 2008. Así, en la actualidad, se encuentran muy extendidos en otros mercados como Reino Unido, Japón, Australia, India o Sudamérica (Triana, 2011: 6, BME Clima). No obstante, se aprecia un incremento de su uso también entre países en vías de desarrollo, como es el caso de Malawi (África meridional), que en el año 2008 introdujo derivados climáticos sobre el mercado nacional del maíz, producto agrícola que representa en torno al 40% de su PIB (Salice, 2012: 5).

El caso de Malawi fue realmente significativo en su momento. Cabe recordar que en el año 2005 este pequeño país sufrió una sequía extrema, hecho que afectó muy negativamente a la producción agrícola e incluso a la capacidad de alimentar a su propia población. Es más, según datos de la propia FAO, en torno al 34% de la población nacional no pudo cubrir sus necesidades de alimentación (Buerkle, 2005). Este fenómeno supuso un inmediato cambio de conciencia por parte de las autoridades locales, las cuales decidieron tomar medidas con el fin de controlar en lo posible el riesgo climático. Así, durante el año 2008 el Banco Mundial diseñó un producto (derivados climáticos) para mitigar dicho riesgo, convirtiéndose Malawi en el primer país del mundo en utilizar estos derivados (Maqueda, 2015). Según el Banco Mundial (2008), el índice se fundamentó en un modelo que calculaba la producción habida de maíz junto con las precipitaciones caídas. Dichas mediciones se efectuaron en base a estaciones meteorológicas locales. En caso de producirse sequía grave, el país pasaría a cobrar fondos.

A pesar de los beneficios que supuso la estandarización de los contratos en forma de mitigación del riesgo de crédito, como contrapartida apareció otro de diferente índole: el *riesgo base*. En este contexto, y en palabras de Vázquez y García Fronti, (2010), este riesgo aparece cuando “el instrumento se refiere al indicador climático medido en una determinada ciudad y la cobertura se necesita para otra zona” (p. 15), puesto que en el mercado (organizado) resulta imposible que exista disponibilidad de liquidez para todas las zonas geográficas y tipos de contratos. Es por ello que estos autores recomiendan al tomador del contrato analizar la posible correlación entre ambas zonas (p. 15).

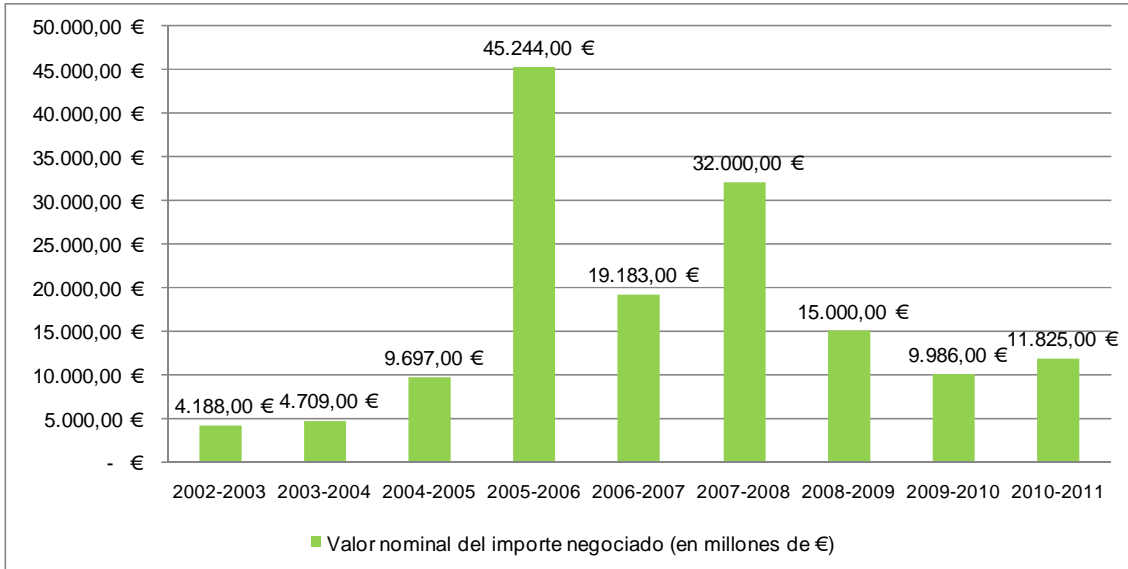
En cambio, en los mercados OTC dicho riesgo base no tiene lugar, aunque, como se ha indicado, como contrapartida aparece riesgo de crédito (el cual empezó a tener gran relevancia a partir de finales de 2001, con la quiebra de *Enron*). Esta compañía surgió en el año 1985 a partir de la fusión entre *Houston Natural Gas* e *InterNorth*, dedicada en origen al transporte de gas natural entre diferentes estados por medio de una red de gaseoductos cuya longitud alcanzaba los 60.000 kilómetros. Dicha fusión tenía como contexto la desreglamentación que se estaba produciendo en el mercado de los servicios de gas y energía en los Estados Unidos. Fue unos años después, ya en 1989, cuando Enron inició sus operaciones como intermediario en el mercado de

derivados de gas natural y de electricidad. Las operaciones alcanzaron un volumen enorme y una complejidad significativa, haciendo uso de un vasto entramado de empresas asociadas (Labanda Puerta, 2005: 63-64). Durante los años noventa, la corporación se diversificó, introduciéndose en otros sectores como las telecomunicaciones o la distribución de agua potable, llegando a operar en unos 40 países. Enron se declaró en quiebra a finales de 2001, emergiendo diversos escándalos contables y financieros. Como ejemplo, mencionar que sus acciones pasaron de cotizar unos 90\$ en el año 2000, a menos de medio dólar tras el escándalo. Supuso en su momento la mayor suspensión de pagos jamás presentada en los Estados Unidos. En relación con los derivados, días después se publicó un artículo en *The Wall Street Journal* por Michael Shroeder, en el que se mencionaba la enorme importancia que había adquirido para Enron el negocio de la comercialización de derivados, afirmándose que la misma actuaba más bien como un fondo de alto riesgo (*hedge fund*). Los derivados climáticos también fueron usados por parte de Enron, junto con otros como los derivados sobre ancho de banda. Concretamente, alrededor del 33% de los activos totales de Enron provenía de los derivados (particularmente, unos 21.000 millones de dólares). Se considera que, en parte, la quiebra tuvo origen en la imprudente comercialización y abuso de estos productos financieros, especialmente en operaciones de supuesta cobertura que efectuaba con otras entidades propias, es decir, realizando transacciones de manera “interna”.

#### *Evolución durante la última década*

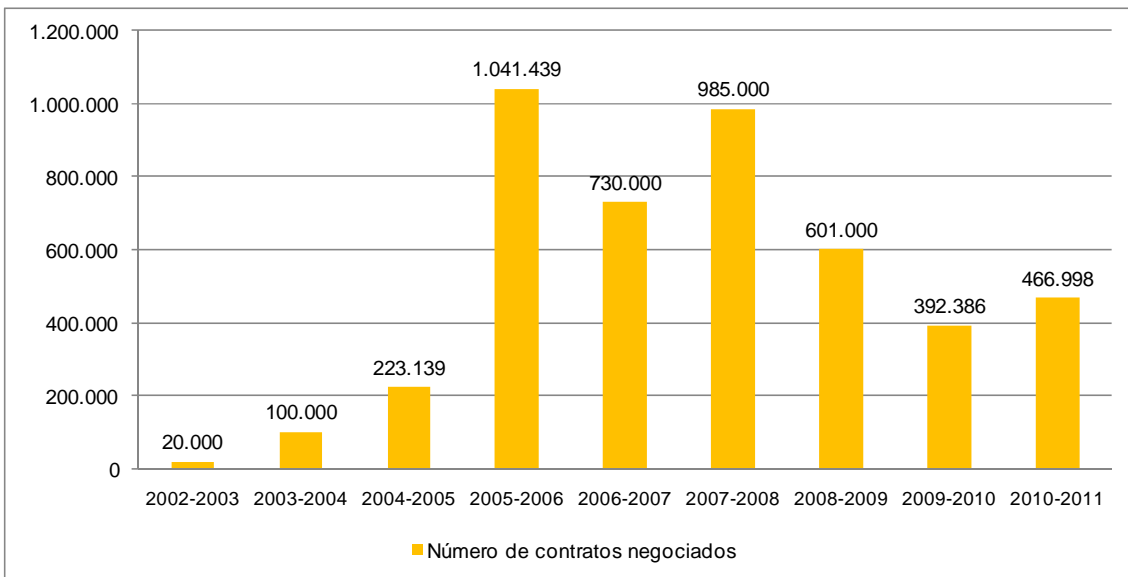
En definitiva, el mercado de derivados sobre clima ha experimentado una notable evolución, en línea con la cada vez mayor concienciación por parte de las empresas y demás agentes del mercado. Así, en la actualidad, además de la expansión geográfica y cuantitativa, se aprecia una cada vez mayor diversidad de productos derivados negociados, como son las opciones (exóticas, *vanilla* y *collars*), futuros y *forwards*, o bonos (Pons Ferrer, 2003: 11).

A continuación se presentan algunas cifras sobre la evolución reciente en el mercado de los derivados sobre clima, según datos del último informe detallado publicado (referido al año 2011) y para las empresas asociadas a la *Weather Risk Management Association* (WRMA) y *CME Group*. Los datos reflejan un crecimiento espectacular durante la primera mitad de la pasada década, concentrado especialmente en el período 2005-2006. Tras la drástica caída experimentada con la crisis económica mundial, se aprecia un cambio de tendencia con ligeros ascensos a partir de los años 2010-2011.



**Gráfico 11. Evolución del valor nominal negociado en derivados climáticos por las empresas asociadas al WRMA y CME Group.**

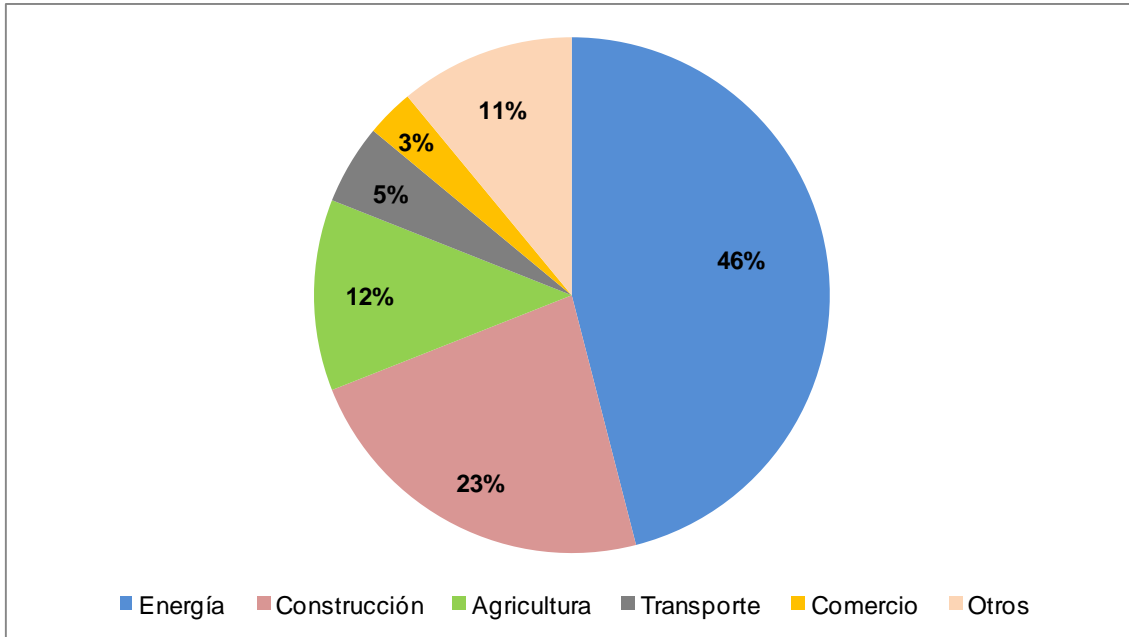
**Fuente: WRMA Annual Survey Results 2011, Pricewaterhousecoopers.**



**Gráfico 12. Evolución del número de contratos negociados en derivados climáticos por las empresas asociadas al WRMA y CME Group.**

**Fuente: WRMA Annual Survey Results 2011, Pricewaterhousecoopers.**

Respecto a la distribución por sectores de actividad, la mayoría del negocio se relaciona con entidades relacionadas con la energía, acaparando prácticamente la mitad del total (46%). No obstante, destacan otros como la construcción (23%) o la agricultura (12%).



**Gráfico 13. Distribución por sectores de actividad de los contratos en derivados climáticos por las empresas asociadas al WRMA y CME Group.**  
**Fuente: WRMA Annual Survey Results 2011, Pricewaterhousecoopers.**

#### **5.4. Situación actual del mercado español**

A pesar de la limitada información pública disponible al respecto (acotada básicamente a la web [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es)), cabe mencionar una reciente publicación online realizada por parte de Bolsas y Mercados Españoles (BME) respecto a la gestión del riesgo climático. En dicha publicación, más allá de ofrecer un breve resumen acerca del concepto de riesgo climático y de las ventajas que proporciona cubrirse ante el mismo, se ofrece una pequeña guía al potencial usuario sobre la forma en la que se pueden contratar.



**BME** clima

**BME X**

Inicio ¿Qué es BME Clima? Riesgo Clima Derivados de Clima Índices Climáticos Servicios Contacto

**ÁREA DE CLIENTES**

Usuario:   
 Password:   
 Recordar mi contraseña  
 Entrar

**SERVICIOS**  
 ¿Qué servicios ofrece BME Clima?

**ÍNDICES PÚBLICOS**

Insolación	5,76	+47,7
Temperatura	12,21	+8,7
Viento	15,54	-1,3
Precipitación	0,76	-62,2
Turismo Español	0,50	0,0

Más información >>>

**El clima puede generar pérdidas económicas sustanciales. Es esencial tomarse en serio ese riesgo.**

Movimientos adversos en la temperatura, las precipitaciones, el viento, y demás variables climáticas pueden generar pérdidas a multitud de empresas y entidades públicas. Los riesgos derivados del clima constituyen, independientemente de si la variabilidad es extrema o moderada, una amenaza extendida y permanente al tejido empresarial y productivo de un país. Afortunadamente, hoy en día existen soluciones financieras que pueden aportar coberturas eficientes.

Bolsas y Mercados Españoles (BME), a través del proyecto BME Clima, quiere ayudar a aquellas entidades expuestas económicamente al clima. El objetivo es aportar información, datos, y asesoramiento especializado que ayuden a los clientes a concienciarse de sus exposiciones climáticas, analizar el comportamiento histórico y actual de las variables relevantes, así como conocer las soluciones disponibles en los mercados de gestión de riesgo climático.

**Imagen 1. Portal web de Bolsas y Mercados Españoles (BME), en su sección sobre derivados climáticos.**

Fuente: [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es).

Respecto a dicha operatividad en la contratación, BME se postula como intermediario oficial y coordinador de los procesos de contratación. Los servicios prestados por la organización se podrían clasificar en las siguientes fases, ordenadas cronológicamente (BME, 2011: 12-14, y [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es)):

Fase del servicio	Descripción
Primera fase: análisis preliminar	Presentación al usuario potencial de un informe previo gratuito, en base a conversaciones iniciales entre BME y el mismo. Dicho informe se orienta a facilitar la toma de decisiones por parte del usuario.
	En el mismo, se expone en qué forma está la actividad afectada por el riesgo climático, además de explicar el funcionamiento de los productos disponibles.
	Toma de contacto con el mercado, a fin de obtener cotizaciones actuales.
Segunda fase: relación formal	Firma del contrato sobre el producto comercializado.
	BME actúa se asesor y coordinador de la operación de cobertura contratada, intermediando entre el usuario y los operadores en el mercado.
	El coste de este servicio, para un período de 6 meses, ascendería a 10.000€, renovable.
Tercera fase: ejecución	Selección de contrapartidas en el mercado, no siendo en ningún caso BME contrapartida. Además, tampoco serán dichas contrapartidas clientes del BME.
	BME no recomienda tampoco entre los operadores, pero sí que puede advertir acerca de posibles problemas que existan en alguno de ellos.

**Tabla 11. Fases del proceso de contratación de derivados climáticos.**  
**Fuente: elaboración propia a partir de BME (2011).**

Por otro lado, uno de los avances más importantes efectuados en España, también por medio de BME, ha consistido en la construcción de una plataforma online en la cual se presentan cálculos y valores sobre multitud de índices meteorológicos, repartidos entre unas 100-300 localidades (dependiendo de la variable climática) del ámbito nacional (p. 17 y [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es)). Dichos datos se presentan tanto a nivel histórico (últimos 10-15 años), como diario, permitiendo al inversor conocer en todo momento la evolución del derivado contratado.

De esta manera, en la página web [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es), se pueden encontrar gráficos que ilustran los diferentes índices, los cuales se refieren a la insolación, temperatura, viento y precipitación. Una particularidad que presentan estos índices yace en su construcción. Así, éstos no sólo se elaboran tomando en consideración los valores promedios registrados en cada una de las estaciones meteorológicas con las que se relaciona, sino que además dichas estaciones están ponderadas según la importancia económica que tenga la provincia sobre las que se asientan. Dicha “importancia” o ponderación se mide en términos de participación en el conjunto del PIB nacional. A continuación, se presentan los gráficos relativos a cada uno de estos índices, referentes a finales de noviembre de 2015.



Imagen 2. Evolución del índice “peso económico insolación” durante el año 2015.  
Fuente: www.bmeclima.es.



Imagen 3. Evolución del índice “peso económico temperatura” durante el año 2015.  
Fuente: www.bmeclima.es.

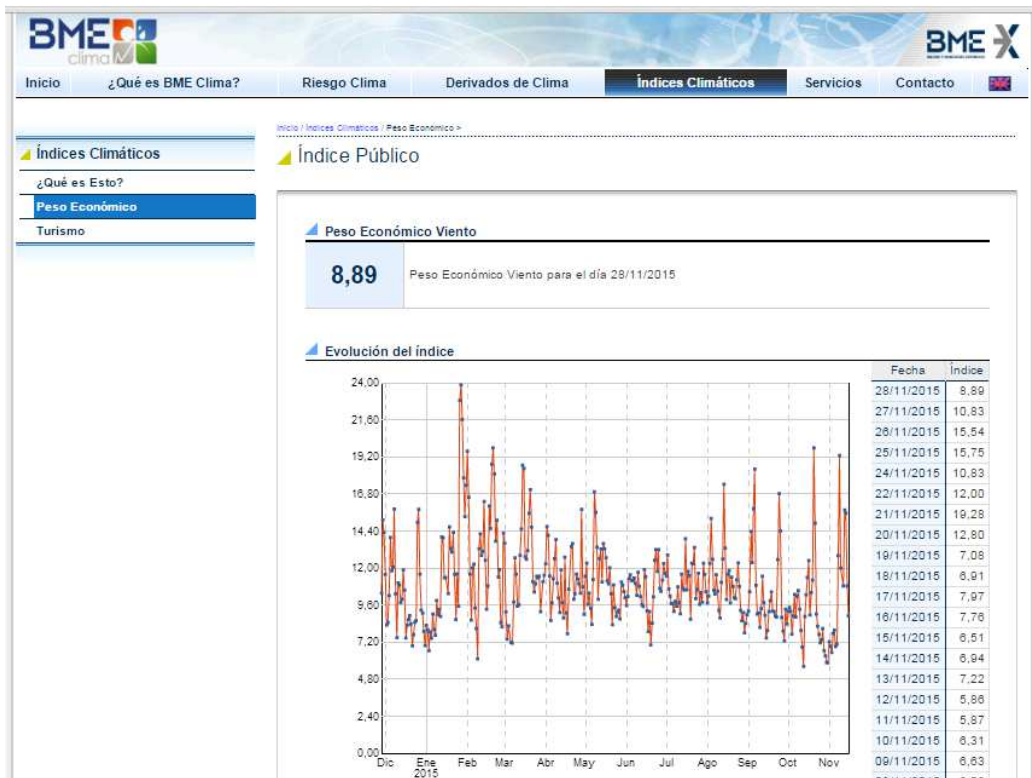


Imagen 4. Evolución del índice “peso económico viento” durante el año 2015.  
Fuente: [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es).



Imagen 5. Evolución del índice “peso económico precipitación” durante el año 2015.  
Fuente: [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es).

A partir de la comparación entre los promedios diarios de cada una de las variables meteorológicas analizadas (insolación, viento, temperatura y precipitación) con sus promedios históricos, se asigna un valor a cada Comunidad Autónoma. Así, se parte de la premisa siguiente:

Circunstancias que favorecen al turismo	$\Delta$ Temperatura , $\nabla$ Precipitación,
	$\Delta$ Insolación , $\nabla$ Viento
Circunstancias que perjudican al turismo	$\nabla$ Temperatura , $\Delta$ Precipitación,
	$\nabla$ Insolación , $\Delta$ Viento

**Tabla 12. Premisas básicas de la influencia del comportamiento de cada variable sobre la actividad turística.**

**Fuente: elaboración propia a partir de [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es).**

De esta forma, cuando para un día concreto, respecto a los promedios históricos en esa Comunidad Autónoma y fecha concreta, las variables climatológicas registran un empeoramiento en su comportamiento (en términos de influencia sobre el turismo), queda asignado con un valor “-1”. En caso contrario, si la evolución en el día es favorable, el valor asignado es de “+1”. Otro supuesto es que todas las variables, excepto una, tengan una evolución positiva o negativa, asignándose en este caso un valor de “+0,5” y “-0,5” respectivamente. Finalmente, si la mitad de las variables se comportan de manera favorable y la otra mitad desfavorablemente, se tomará “0” como valor. Véase a continuación el gráfico con los valores asignados para cada Comunidad Autónoma el día 28 de noviembre de 2015:

	Valor del Índice	Valor del Día Anterior	Fecha	Gráfico
España	1,00	1,00	28/11/2015	
Andalucía	1,00	1,00	28/11/2015	
Aragón	0,50	0,50	28/11/2015	
Cantabria	0,00	0,00	28/11/2015	
Castilla y León	1,00	1,00	28/11/2015	
Castilla-La Mancha	1,00	1,00	28/11/2015	
Cataluña	0,50	0,50	28/11/2015	
Ceuta	1,00	1,00	28/11/2015	
Comunidad de Madrid	1,00	0,50	28/11/2015	
Comunidad Valenciana	1,00	0,00	28/11/2015	
Extremadura	1,00	1,00	28/11/2015	
Galicia	0,50	0,50	28/11/2015	
Islas Baleares	1,00	0,50	28/11/2015	
Islas Canarias	0,50	0,50	28/11/2015	
La Rioja	1,00	0,50	28/11/2015	
Melilla	1,00	1,00	28/11/2015	
Navarra	0,00	0,00	28/11/2015	
País Vasco	0,50	0,00	28/11/2015	
Principado de Asturias	0,00	0,00	28/11/2015	
Región de Murcia	1,00	1,00	28/11/2015	

**Imagen 6. Valor del índice “turismo”, por Comunidad Autónoma, a día 28/11/2015.**  
**Fuente: [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es).**

Es importante hacer mención de la advertencia lanzada por la propia BME sobre la asignación de dichos valores, pues es posible que para determinadas regiones, períodos y circunstancias, la actividad turística no se comporte de acuerdo con las premisas básicas planteadas por la propia BME. Por ello, la misma organización indica que dicho índice no recoge de manera exacta este comportamiento. Tal vez, y debido a esta limitación, es esperable que en los próximos años se destinen más recursos a captar dicha sensibilidad de una manera más precisa.

### **5.5. Ámbitos de aplicación y principales ventajas**

Anteriormente se ha hecho referencia al enorme volumen de negocio expuesto, directa o indirectamente, a las oscilaciones y eventos climatológicos adversos. Es por ello que el ámbito de aplicación de estos derivados es también extenso, pudiéndose sintetizar en la siguiente matriz actividades (Brockett, Wang y Yang, 2005: 129).

Actividad expuesta	Variable climática	Riesgo a cubrir
Industria energética	Temperatura	Menores ventas durante inviernos cálidos o veranos frescos
Consumidores energía	Temperatura	Mayores costes de calefacción y de refrigeración durante inviernos fríos y veranos cálidos
Productores bebidas	Temperatura	Menores ventas durante veranos fríos
Compañías materiales construcción	Temperatura, nevadas	Menores ventas durante inviernos severos en el lugar de la construcción
Empresas construcción	Temperatura, nevadas	Retrasos en los plazos de ejecución debidos al mal tiempo
Resorts de esquí	Nevadas	Menores ingresos durante inviernos con nevadas menores a la media
Compañías agrícolas	Temperatura, nevadas	Pérdidas en cultivos debido a temperaturas extremas o precipitaciones muy abundantes
Gobiernos municipales	Nevadas	Mayores costes relacionados a la retirada de nieve en inviernos con nevadas superiores a la media
Compañías esparcimiento de sal en carreteras	Nevadas	Menores ingresos durante inviernos con bajas nevadas
Plantas generación energía hidroeléctrica	Precipitación	Menores ingresos durante períodos de sequía

**Tabla 13. Matriz de actividades, variables climáticas y riesgos a cubrir.**  
**Fuente: Brockett, Wang y Yang (2005: 129).**

Como puede deducirse, la matriz anterior se centra en las principales actividades relacionadas con la economía norteamericana, pudiéndose adaptar la misma en función de la región a considerar. Así, para el caso de España, sería obligado considerar al sector turístico, siendo la temperatura, la precipitación o la insolación variables climáticas clave. En efecto, tal y como se ha mencionado en el apartado anterior, BME ya tiene en consideración el

turismo y los efectos que sobre el mismo pueden tener diferentes variables (temperatura, viento, precipitación e insolación).

## **5.6. Ventajas e inconvenientes. Diferencias con los seguros tradicionales**

Existen múltiples ventajas en el uso de los derivados sobre clima. Más allá de aquellas relacionadas con la estabilización del cash-flow y de los resultados, es habitual destacar sus virtudes (así como inconvenientes) a la vez que se comparan los mismos con los seguros tradicionales. De este modo, se destaca su transparencia y el menor riesgo en la posible existencia de asimetrías de información, además de reducir los posibles costes de administración (Bacchini, 2009: 39, de Iturrioz, R., 2002).

Según Müller y Grandi (2000: 17), se pueden destacar dos grandes diferencias de calado entre los seguros y los derivados sobre clima:

- Una diferencia esencial (y que deriva en una ventaja para los derivados) radica en que los seguros precisan de la necesidad de que ocurra el evento adverso (que suele ser poco cotidiano) y que se pueda comprobar, como requisito para el pago de la compensación, que el mismo ha provocado directamente una pérdida económica en el asegurado. Es decir, requiere una relación causal entre el evento ocurrido y el efecto económico generado.
- Por otro lado, los derivados sobre clima no precisan de una relación directa entre la situación particular del contratante del derivado y el fenómeno climático. Es decir, una empresa se puede cubrir no sólo para sus propias ventas, sino también beneficiarse de las posibles consecuencias que determinadas condiciones climáticas en otras regiones competidoras puedan tener. Se observa pues que se pueden desarrollar en cierto modo "*coberturas cruzadas*". Los autores Müller y Grandi muestran un buen ejemplo para ilustrar este tipo de cobertura. Imagínese un productor vinícola en una región A que desea cubrirse sobre un posible récord de producción en la región B, hecho que podría derivar en un incremento de la oferta vinícola global y, por tanto, en una caída drástica en los precios. Este riesgo no se podría cubrir en un principio mediante los seguros tradicionales, los cuales simplemente podrían permitir a la empresa de la región A cubrirse a sí misma (2000: 17).

En términos operativos, los derivados climáticos y los seguros tradicionales presentan diferencias también notables. En opinión de Bacchini (2009), estas diferencias surgen de hasta cinco fuentes distintas (p. 38):



Fuente de diferencia	Derivado sobre clima	Seguro tradicional
Cobertura	Índice	Índice
		Pérdida
Indemnización	Limitada por el contrato	Limitada por el contrato
		Limitada por la pérdida
Flexibilidad	Alta	Baja
Adecuación	Buena	Muy buena
Costo	Menor	Mayor

**Tabla 14. Comparativa entre derivados sobre clima y seguros tradicionales. Principales fuentes de diferencias.**

**Fuente: elaboración propia a partir de Bacchini (2009: 38).**

Los principales inconvenientes que presentan las compañías aseguradoras (en comparación con los derivados sobre clima) surgen del hecho de que éstas deben, además de fijar la relación existente entre siniestros y pérdidas, considerar los posibles problemas que puedan surgir del denominado “*riesgo moral*”, la información asimétrica y los costes de selección adversa (Salice, 2012: 2).

En resumen, y en términos generales, las empresas que utilizan estos instrumentos son percibidas como más innovadoras y prudentes, hecho que refuerza su competitividad y la imagen ante los inversores, atrayendo más fácilmente capital y crédito, hecho que puede ser crucial en organizaciones que estén sufriendo problemas de solvencia (BME, 2015). De todo esto, se deduce que los derivados climáticos presentan ventajas que van más allá de la simple cobertura.

No obstante, también aparecen algunos inconvenientes en relación al uso de estos derivados, en tanto en cuanto se trata de herramientas poco conocidas por el público, relativamente nuevas y complejas. Asimismo, puede resultar complicado correlacionar las posibles pérdidas incurridas con la variación del índice climático que actúa de subyacente. A pesar de estas limitaciones, la principal aún radica en la correcta valoración de los mismos, hecho que a día de hoy todavía es objeto de amplio debate entre académicos y expertos en la materia.

### **5.7. Principales índices y subyacentes sobre clima**

En la actualidad son varios los índices que se pueden negociar a la hora de contratar un derivado sobre clima. Se presentan a continuación los más importantes y utilizados en los principales mercados organizados (especialmente en el antes mencionado *Chicago Mercantile Exchange*).

### 5.7.1. Índice HDD (*Heating Degree Days*)

También conocido como índice de grados al día de calentamiento. Su cálculo viene determinado de la siguiente forma:

$$\text{HDD} = \text{Máx} (0, 65 - A)$$

Siendo:

65: umbral de grados Fahrenheit. De ahora en adelante, se utilizarán los grados Celsius, pues son los de uso habitual en nuestro entorno. Nótese que dicho umbral, en Celsius, es de 18°. Esta temperatura se considera generalmente como una temperatura “*de confort*”, en la que no se siente especialmente ni frío ni calor (Henríquez Vega, 2012: 7).

Es decir, la fórmula quedaría así:

$$\text{HDD} = \text{Máx} (0, 18 - A)$$

A: promedio entre la temperatura más alta y la más baja durante el día en una estación determinada. Es decir, para un día “i”, se obtendría que:

$$A (i) = (\text{Temp Máx} (i) + \text{Temp Mín} (i)) / 2$$

Por tanto, suponiendo que un día concreto la temperatura máxima es de 25°C, y la mínima es de 15°C, se obtiene que el valor de A es de 20 (resultado de: (25+15)/2). Por lo tanto, el índice HDD, para ese día concreto, tomaría un valor de 0.

Según Hull (2009: 478), este índice “es una medida del volumen de energía requerido para calentamiento”. Por tanto, se puede entender que los derivados sobre este índice se pueden utilizar para protegerse ante inviernos excesivamente cálidos (Müller y Grandi (2000: 10).

Es importante, así mismo, considerar que el índice generalmente se centra en períodos del tiempo que comprenden la mitad del año. Por tanto, el índice HDD se refiere, concretamente en el mercado CME, generalmente al semestre de invierno (a diferencia del índice CDD que se explica a continuación, el cual abarca el semestre de verano). Es importante tener en cuenta que el período de tiempo al que se refiere este índice (y todos los demás) puede variar, siendo por tanto este tipo de contratos muy flexibles (Paz Cobo, 2004: 6).

### 5.7.2. Índice CDD (*Cooling Degree Days*)

En oposición al anterior, este índice mide los grados al día de enfriamiento. Su cálculo sigue la misma lógica que el HDD, aunque obviamente midiendo el efecto contrario:

$$\text{CDD} = \text{Máx} (0, A - 65)$$

Es decir, en grados Celsius sería:

$$CDD = \text{Máx} (0, A - 18)$$

Así, este índice serviría de medida del volumen de energía que se requeriría para enfriamiento durante el día (Hull, 2009: 478). A diferencia del índice HDD, los derivados sobre CDD podrían utilizarse como cobertura ante veranos demasiado fríos (Müller y Grandi (2000: 10).

### 5.7.3. Otros índices

Los índices HDD y CDD son los más conocidos y utilizados en mercados organizados como el CME (Bacchini, 2009: 21). No obstante, existen otros índices que, aunque menos conocidos, se ajustan a las necesidades concretas de muchos agentes que desean cubrirse también en base a otros criterios.

#### *Índice CAT (Cumulative Average Temperature)*

Como el propio nombre indica, el índice refleja la acumulación de los promedios diarios de temperatura durante un período de tiempo dado. Se utiliza especialmente para futuros y opciones en Europa (Espen Benth, 2010: 6). Su cálculo se efectúa del siguiente modo:

$$CAT = \sum_{i=1}^N \frac{T_{Max_i} + T_{Min_i}}{2}$$

#### *Frost Day*

Este índice hace referencia a los días con helada en un período de tiempo determinado, de acuerdo con unos umbrales de temperatura prefijados. En particular, se considera que un día es “*de helada*” cuando se produce alguna de las dos condiciones siguientes (según CME):

- a) La temperatura registrada a las 7:00 de la mañana es inferior a -3,5°C y la registrada a las 10:00 de la mañana es inferior a -1,5°C.

*o bien:*

- b) La temperatura registrada a las 7:00 y a las 10:00 de la mañana es inferior a -0,5°C.

Este índice puede referirse tanto a un mes en particular, como al conjunto de los meses de invierno, siendo flexible el período de cobertura.

#### *Monthly Snowfall*

Como el propio nombre indica, mide la cantidad total de precipitación en forma de nieve que se produce en un mes considerado. Se trata de un instrumento sumamente útil, por ejemplo, para negocios relacionados con actividades de esquí (en los que sea por defecto o por exceso de nieve sus ingresos pueden presentar grandes variaciones).

### *Índices de precipitaciones acumuladas*

Se trata de un índice similar al anterior, calculándose en este caso la suma de las precipitaciones diarias ocurridas durante un período de tiempo. Dicho período puede referirse a una semana, un mes, o una temporada.

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

### *Índice CHI (Carvill Hurricane Index)*

Adoptado por CME en 2009, realiza estimaciones numéricas sobre el potencial de destrucción de posibles huracanes. El índice se calcula considerando la velocidad máxima del viento y el tamaño (radio) de cada tormenta declarada oficialmente (CME Group, 2009). Con estos datos, se calculan los potenciales daños físicos y financieros. Así, a mayor valor del índice, mayor daño potencial puede provocar el huracán. Entre sus principales clientes se encuentran reaseguradoras de plataformas petrolíferas en el golfo de México (siendo los principales vendedores *hedge funds*), aunque existe un interés creciente en otras áreas expuestas a este tipo de riesgo.

#### **5.7.4. Principales subyacentes**

De la definición de los principales tipos de índices existentes, se observa que los subyacentes pueden ser diversos. Aunque la mayoría de las transacciones y los índices más conocidos se refieren a la variable “temperatura”, existen otros subyacentes como son la cantidad de lluvia o nieve precipitada, los días de helada o también los daños potenciales de los huracanes.

No obstante, una revisión de la literatura reciente, muestra una continua proliferación de nuevos subyacentes de diversa índole (más allá de los mercados regulados). Entre ellos, cabe destacar aquellos que toman como referencia el caudal de un río, la sequía, el viento o la insolación (éstos dos últimos considerados por BME).

### **5.8. Tipos de contratos. Futuros y opciones sobre clima y posibles estrategias.**

#### **5.8.1. Elementos del contrato**

En este apartado se procede a analizar el funcionamiento de los derivados sobre clima, prestando especial atención a los contratos de mayor difusión: HDD y CDD sobre futuros y opciones. Por ello, procede determinar primero cuáles son los principales elementos que aparecen en este tipo de contratos:

- Tipo de contrato: futuro, opción, etc.
- Período de referencia del contrato.
- Índice climático sobre el cual se construye el derivado (HDD, CDD, etc.).
- Estación meteorológica de referencia. En esta estación se tomarán las mediciones del valor del índice que sirva de base del derivado.
- Valor acumulado del índice durante el período de referencia. Resulta del sumatorio de dichos índices obtenidos diariamente.
- Relación monetaria existente entre el indicador tomado y la liquidación del contrato, es decir, el *tick* o multiplicador que implica cada variación unitaria en el valor del índice en relación con el valor de ejercicio o *strike*.
- Valor de ejercicio o *strike*, esto es, valor de referencia sobre el que se liquidará el contrato, valor que deberá conocerse *ex ante*.
- Prima a satisfacer, en caso de tratarse de una opción.

Especificaciones de contrato		Horario Bolsa	
Nombre	NEW YORK HDD FUT Mar11	Bolsa	Local
26) Ticker	NFH1 Index	17:00-15:15	18:00-16:15
27) Bolsa	CME-Chicago Mercantile Exchange		
Subyacente		Fechas afines	
Tamaño	20 \$ x index	Pagado al contado	
Valor de 1.0 pt	\$ 20	1era oper	L Jun 22, 2009
Tamaño Tick	1.0	Últ oper	L Abr 4, 2011
Valor Tick	\$ 20	Fecha valoración	L Abr 4, 2011
28) Precio	711.0 index points	Rango de precios	
Valor contrato	\$ 14,220 @ 03/29/11	Lím arriba	n.a. Máximo po 724.0
Lím margen		Lím abajo	n.a. Mínimo po 611.0
		Ciclo	
		Jan	Feb
		Mar	Apr
		-	-
		-	-
		-	-
		Oct	Nov
		Dec	
		1) Futuro 2) Opción 4) Genérico 5) Mensual	

Imagen 7. Captura de pantalla de una plataforma de negociación digital, con indicación de las especificaciones de un contrato de futuros sobre HDD.

Fuente: Henríquez Vega (2012: 45).

Respecto al valor de ejercicio o *strike*, es importante señalar que éste es el valor promedio histórico (por ejemplo, temperatura media) registrado para el período de referencia del contrato. Entonces, si por ejemplo se contrata un futuro sobre el índice CDD para el próximo semestre de verano de 2016, el valor de *strike* sería la temperatura promedio obtenida en la serie histórica del semestre de verano de cada año anterior a 2016.

*Es decir:*

Valor *strike* del CDD (semestre verano 2016) = Promedio (semestre verano 2015, semestre verano 2014, semestre verano 2013, semestre verano 2012, ..., semestre verano del primer año de la serie histórica).

Si, por otro lado, el período de referencia del contrato fuese un mes en particular, el valor de ejercicio o *strike* correspondería con la temperatura

promedio registrada en la serie histórica para ese mes en particular. Y así, para cualquier posible período de referencia.

*Ejemplo:*

Un hostelero de Palma de Mallorca desea cubrirse ante las posibles bajadas de temperatura que se produzcan en el próximo verano, hecho que significaría una importante reducción en sus niveles de ingresos. Por ello, decide cubrirse y tomar una posición corta sobre el índice CDD para el mes de agosto de 2016 (más adelante se abundará en las diferentes posiciones que pueden tomarse sobre los índices).

Entonces, el valor de ejercicio o *strike* se calculará como sigue a continuación.

Según datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), para la estación meteorológica del puerto de Palma de Mallorca, en el período 1981-2010, y con la última actualización efectuada en el año 2015, la temperatura media diaria para el mes de agosto es de 26,2°C.

Por lo tanto, el valor de ejercicio o *strike* del contrato sería resultado de resolver la siguiente ecuación.

$$\text{Strike} = (26,2 - 18) * 31;$$

$$\text{Strike} = 254,2$$

Nótese que este valor presenta la bondad de otorgar a ambas partes del contrato *las mismas probabilidades*, siendo por tanto un valor justo y adecuado sobre el que ninguna de las partes presenta ventaja o privilegio alguno (más adelante con los ejemplos quedará más claro este aspecto).

### 5.8.2. Futuros sobre clima

Sobre los futuros pueden tomarse posiciones largas y posiciones cortas. Recordando la definición dada en el primer bloque de este trabajo, la posición larga se refiere a aquella en la que el agente que contrata el futuro o *forward* debe adquirir el mismo en el momento del vencimiento, es decir, es el comprador del contrato. Por contra, en la posición corta dicho agente está obligado a entregar el activo en la fecha de vencimiento, esto es, es el vendedor.

Por lo tanto, considerando los elementos del contrato antes especificados y las posibles posiciones a tomar, la *liquidación* del futuro sobre clima se calculará del siguiente modo:

$$\text{Liquidación (PL)} = \text{Tick} * (\text{Valor acumulado índice} - \text{Strike})$$

$$\text{Liquidación (PC)} = \text{Tick} * (\text{Strike} - \text{Valor acumulado índice})$$

Asimismo, en relación con dichas liquidaciones, es importante resaltar que en ocasiones se introducen pagos máximos, habitualmente hasta los 200 puntos de diferencia entre el valor del índice y el del *strike* (véase como ejemplo el expuesto por EGAR Technology en: [http://www.egartech.com/contents/att/eGAR\\_Weather\\_Derivatives\\_Model.pdf](http://www.egartech.com/contents/att/eGAR_Weather_Derivatives_Model.pdf)).

Antes de continuar con la explicación, resulta conveniente determinar cómo se obtiene el valor acumulado del índice.

*Ejemplo:*

Siguiendo el supuesto anterior relativo al hostelero de Palma de Mallorca, se supone que durante el mes de agosto de 2016 las temperaturas máximas y mínimas registradas han sido las que se presentan en la tabla siguiente. Así, a partir del cálculo de la temperatura promedio de cada día del mes, es posible determinar el valor diario del índice CDD, que es igual a:  $\text{Max}\{0, T^{\text{a}} \text{Promedio} - 18\}$ . Por ejemplo, para el día 1 del mes, el valor diario del índice CDD será el máximo entre 0 y la diferencia entre la temperatura promedio del día (25,7°C) y los 18°C. Es decir, claramente el valor del índice para este día será de 7,7°C. De este modo, mediante el sumatorio de los valores diarios del índice CDD se puede obtener el valor acumulado para todo el mes de agosto (que en este ejemplo es el período de referencia del contrato). El resultado que se obtiene es de 256,9 (en todos los ejemplos que se presentan a continuación los resultados se han redondeado a un decimal).

Agosto (2015)				
Día	Tª Mín.	Tª Máx.	Tª Prom.	Valor diario índice CDD
1	22,2	29,1	25,7	7,7
2	22,1	28,9	25,5	7,5
3	22,1	30,7	26,4	8,4
4	24,4	32,0	28,2	10,2
5	23,1	32,1	27,6	9,6
6	24,2	32,7	28,5	10,5
7	24,8	34,0	29,4	11,4
8	25,8	32,9	29,4	11,4
9	24,3	30,1	27,2	9,2
10	22,1	31,3	26,7	8,7
11	21,3	29,2	25,3	7,3
12	23,6	30,3	27,0	9,0
13	23,6	32,8	28,2	10,2
14	22,2	29,6	25,9	7,9
15	19,2	23,1	21,2	3,2
16	18,2	26,8	22,5	4,5
17	20,1	26,0	23,1	5,1
18	21,7	26,6	24,2	6,2
19	22,0	28,1	25,1	7,1
20	20,9	28,6	24,8	6,8
21	20,8	28,8	24,8	6,8
22	21,8	30,1	26,0	8,0
23	24,1	30,5	27,3	9,3
24	23,3	30,3	26,8	8,8
25	23,0	28,9	26,0	8,0
26	24,7	28,9	26,8	8,8
27	20,7	28,7	24,7	6,7
28	24,1	31,3	27,7	9,7
29	22,7	31,6	27,2	9,2
30	25,8	31,7	28,8	10,8
31	23,9	31,3	27,6	9,6
<b>Valor acumulado índice CDD =</b>				<b>256,9</b>

Tabla 15. Simulación del cálculo del valor acumulado del índice CDD para el mes de objeto de la cobertura.

Fuente: elaboración propia.

Una vez fijadas las bases terminológicas del contrato, a continuación se presentan varios ejemplos utilizando tanto posiciones largas como posiciones cortas sobre este tipo de futuros. Mediante dichos ejemplos se procederá a explicar con detalle el funcionamiento y liquidación de los contratos.



**Ejemplo 1: Supuesto general de posición larga sobre futuro HDD**

La empresa A desea comprar a la empresa B un contrato de futuros climáticos (posición larga) sobre HDD, con período de referencia noviembre de 2015 y en la ciudad de Madrid. Por otro lado, se fija un tick o multiplicador de 100€ por punto de variación.

Considerando que según datos de la AEMET el promedio histórico de temperatura para este mes en la estación de Madrid-Retiro es de 9,9°C, se obtiene que el valor de ejercicio o *strike* será:

$$\text{Strike} = (18 - T^a \text{ Promedio}) * 30;$$

$$\text{Strike} = (18 - 9,9) * 30;$$

$$\text{Strike} = 243$$

De este modo, la estimación de resultados será la siguiente:

Resultado Valor HDD	Temperatura media mes final (ex post)	Resultado en €
0	18	- 24.300,00 €
30	17	- 21.300,00 €
60	16	- 18.300,00 €
90	15	- 15.300,00 €
120	14	- 12.300,00 €
150	13	- 9.300,00 €
180	12	- 6.300,00 €
210	11	- 3.300,00 €
240	10	- 300,00 €
270	9	2.700,00 €
300	8	5.700,00 €
330	7	8.700,00 €
360	6	11.700,00 €
390	5	14.700,00 €
420	4	17.700,00 €
450	3	20.700,00 €
480	2	23.700,00 €
510	1	26.700,00 €
540	0	29.700,00 €

**Tabla 16. Modelización del resultado económico de la PL en el futuro sobre HDD, según el valor acumulado del índice.**

Fuente: elaboración propia.

Los resultados anteriores son congruentes con la posición tomada en el índice. Si, durante el período de vigencia del contrato, hace más frío de lo normal (entiéndase normal como media histórica, es decir, los 9,9°C antes

mencionados), el contrato arrojará ganancias al tomador de la posición, y al contrario.

En relación con la columna relativa al valor HDD, se refiere a la variación en grados sobre el umbral de 18°C. Es decir, en caso de que dicho valor acumulado sea de 120, significa que la temperatura media final registrada (en el mes del contrato) ha sido de 14°C, es decir:

$$120 = (18-14) * 30 \text{ días}$$

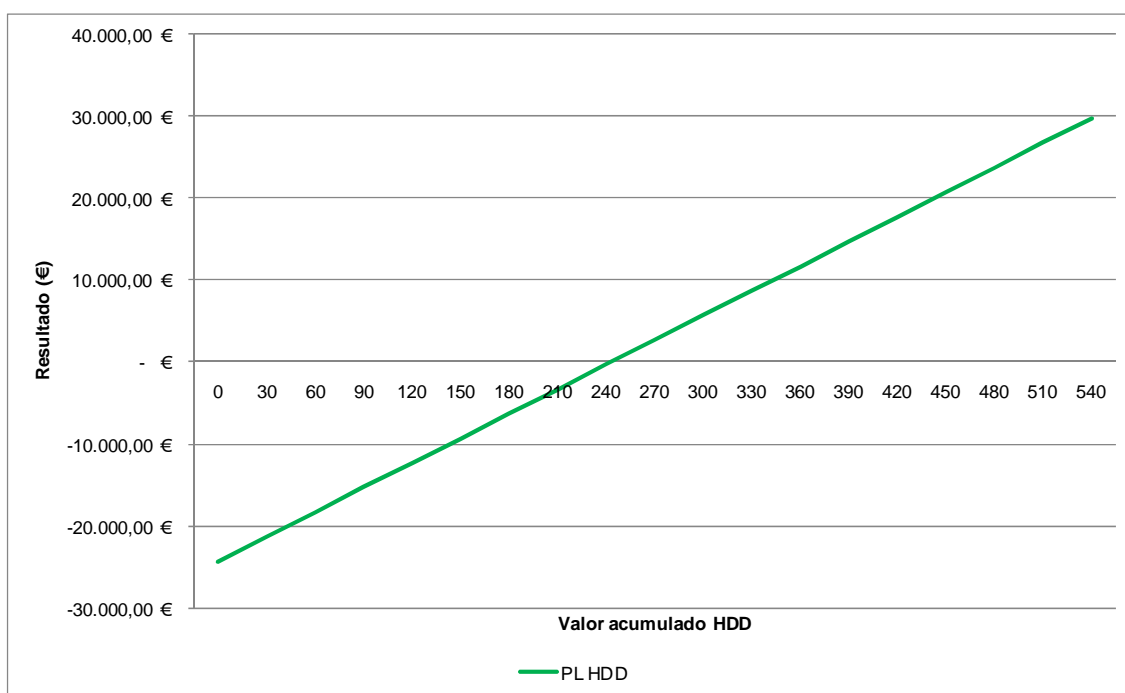
Dicho de otro modo, por cada variación en un grado centígrado, el resultado económico varía en 3.000€, claro está, influenciado por el valor que toma el multiplicador en el contrato:

$$1 \text{ grado de variación} = 3.000\text{€} = \text{Tick} * \text{Grados promedio de variación} * \text{Días del contrato} = 100\text{€} * 1 * 30 = 3.000\text{€}$$

$$2 \text{ grados de variación} = 6.000\text{€} = \text{Tick} * \text{Grados promedio de variación} * \text{Días del contrato} = 100\text{€} * 2 * 30 = 6.000\text{€}$$

Y así sucesivamente.

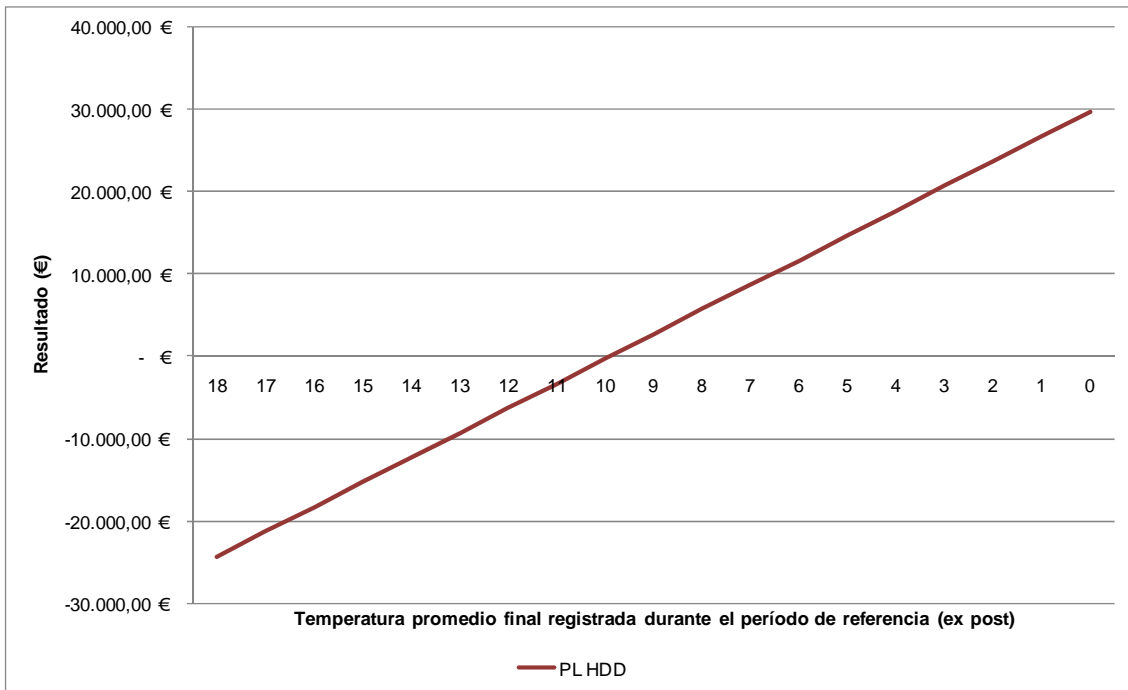
Gráficamente, el resultado queda plasmado del siguiente modo:



**Gráfico 14. Modelización del resultado económico de la PL en el futuro sobre HDD, según el valor acumulado del índice.**  
Fuente: elaboración propia.

Nótese que el punto de equilibrio (resultado económico nulo) coincide precisamente en el valor de ejercicio o *strike*, coincidente a su vez con el valor

de la temperatura promedio histórica en el período de referencia en la ciudad de Madrid (ver siguiente gráfico). Así, ante unas temperaturas más frías de lo “normal” históricamente, el tomador de la posición larga obtendrá un beneficio, mientras que si la temperatura real registrada es más cálida de lo “normal”, el tomador perderá dinero. Dicho de otro modo, el beneficio esperado de la operación es de 0, considerando que la temperatura esperada es el promedio histórico (9,9°C), por lo que el *strike* es, para ambas partes del contrato, el valor más justo y probable.



**Gráfico 15. Modelización del resultado económico de la PL en el futuro sobre HDD, según la temperatura promedio final registrada durante el periodo de referencia (valor ex post).**

**Fuente: elaboración propia.**

Por último, para poder proceder a la liquidación del contrato es necesario conocer cuál es el valor de la temperatura promedio durante cada día del mes de noviembre de referencia, para así calcular el valor acumulado del índice HDD. En este sentido, supóngase que las temperaturas han sido las que se presentan en la tabla siguiente. Como se puede observar, la temperatura promedio del mes ha sido de 8,8°C (más frío de lo normal), y el valor acumulado del índice HDD de 275,1. Téngase en cuenta que, en este caso, el valor diario del índice HDD se calcula de diferente modo que en el ejemplo anterior (que se refería al índice CDD). Por ejemplo, para el primer día del mes, el valor a considerar será el máximo entre 0 y la diferencia entre los 18°C y la temperatura promedio del día, es decir, en este caso: valor diario índice HDD (el día 1 del mes) =  $\text{Max} \{0, 18 - 11,2\}$ .

Noviembre (2015)				
Día	Tª Mín.	Tª Máx.	Tª Prom.	Valor diario índice HDD
1	8,7	13,6	11,2	6,9
2	8,2	13,2	10,7	7,3
3	8,1	12,8	10,5	7,6
4	7,8	11,9	9,9	8,2
5	8,0	11,8	9,9	8,1
6	7,4	11,6	9,5	8,5
7	7,3	10,7	9,0	9,0
8	7,1	10,9	9,0	9,0
9	7,0	10,9	9,0	9,1
10	6,6	10,5	8,6	9,5
11	6,5	10,3	8,4	9,6
12	6,7	10,2	8,5	9,6
13	6,2	10,0	8,1	9,9
14	5,9	9,9	7,9	10,1
15	5,8	9,8	7,8	10,2
16	5,8	9,9	7,9	10,2
17	5,5	10,0	7,8	10,3
18	5,7	10,2	8,0	10,1
19	5,4	10,6	8,0	10,0
20	5,9	11,1	8,5	9,5
21	6,2	11,3	8,8	9,3
22	6,1	11,7	8,9	9,1
23	5,9	10,8	8,4	9,7
24	6,5	11,4	9,0	9,1
25	6,6	11,1	8,9	9,2
26	6,9	11,1	9,0	9,0
27	7,0	11,5	9,3	8,8
28	6,6	10,7	8,7	9,4
29	6,2	10,5	8,4	9,7
30	6,0	10,3	8,2	9,9
<b>Valor acumulado índice HDD =</b>				<b>275,1</b>

Tabla 17. Temperaturas reales registradas en Madrid-Retiro (suposición a efectos de calcular la liquidación del contrato).  
Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, en base a dicho valor acumulado del índice, la liquidación arroja el siguiente resultado:

$$\text{Liquidación (PL HDD)} = (275,1 - 243) * 100 = + 3.210\text{€}$$

Es decir, produciría beneficios, pues la temperatura promedio registrada durante el período ha sido más fría de lo normal históricamente.

**Ejemplo 2: Supuesto general de posición corta sobre futuro CDD**

Los propietarios de una cervecería ubicada en la zona turística de Platja d'en Bossa, en Ibiza, sabiendo que en los últimos años los meses de julio han sido menos calurosos de lo normal (que a su vez ha repercutido negativamente en sus ingresos), desean protegerse para el próximo. Por ello, deciden tomar una posición corta (vender) un futuro sobre CDD. El tick o multiplicador especificado en el contrato es de 100€ por punto de variación.

El primer paso es determinar cuál es el valor del *strike*, valor fundamental de referencia para posteriormente liquidar el contrato en su vencimiento. Según datos de la AEMET, el promedio histórico de temperatura registrado el mes de julio en la isla de Ibiza es de 25,6°C (estación meteorológica del aeropuerto de Ibiza). Así pues, el valor de *strike* será el siguiente:

$$\text{Strike} = (25,6 - 18) * 31;$$

$$\text{Strike} = 235,6$$

Nuevamente, se procede a modelizar los resultados económicos estimados, en función del posible valor acumulado que acabe tomando el índice CDD:

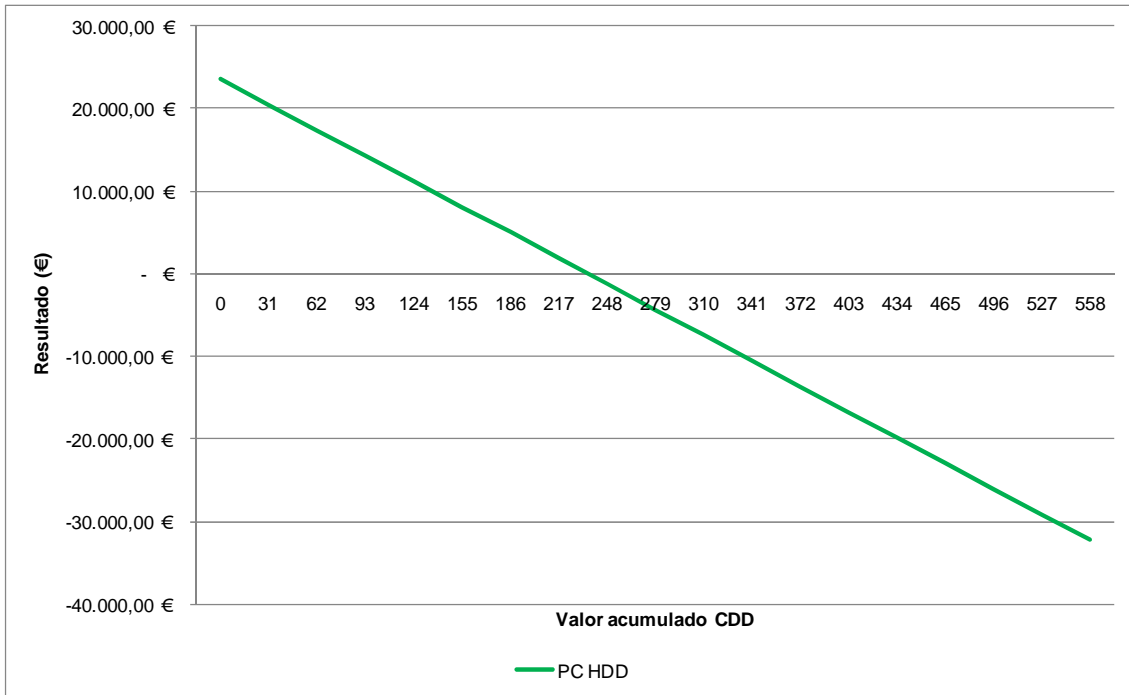
Resultado Valor CDD	Temperatura media mes final (ex post)	Resultado en €
0	18	23.560,00 €
31	19	20.460,00 €
62	20	17.360,00 €
93	21	14.260,00 €
124	22	11.160,00 €
155	23	8.060,00 €
186	24	4.960,00 €
217	25	1.860,00 €
248	26	- 1.240,00 €
279	27	- 4.340,00 €
310	28	- 7.440,00 €
341	29	- 10.540,00 €
372	30	- 13.640,00 €
403	31	- 16.740,00 €
434	32	- 19.840,00 €
465	33	- 22.940,00 €
496	34	- 26.040,00 €
527	35	- 29.140,00 €
558	36	- 32.240,00 €

**Tabla 18. Modelización del resultado económico de la PC en el futuro sobre CDD, según valor acumulado del índice.**

**Fuente: elaboración propia.**

Así pues, nótese que mediante esta cobertura el propietario de la cervecería consigue lograr su objetivo: si la temperatura promedio del próximo mes de julio es más baja de lo históricamente normal, obtendrá beneficios (y viceversa).

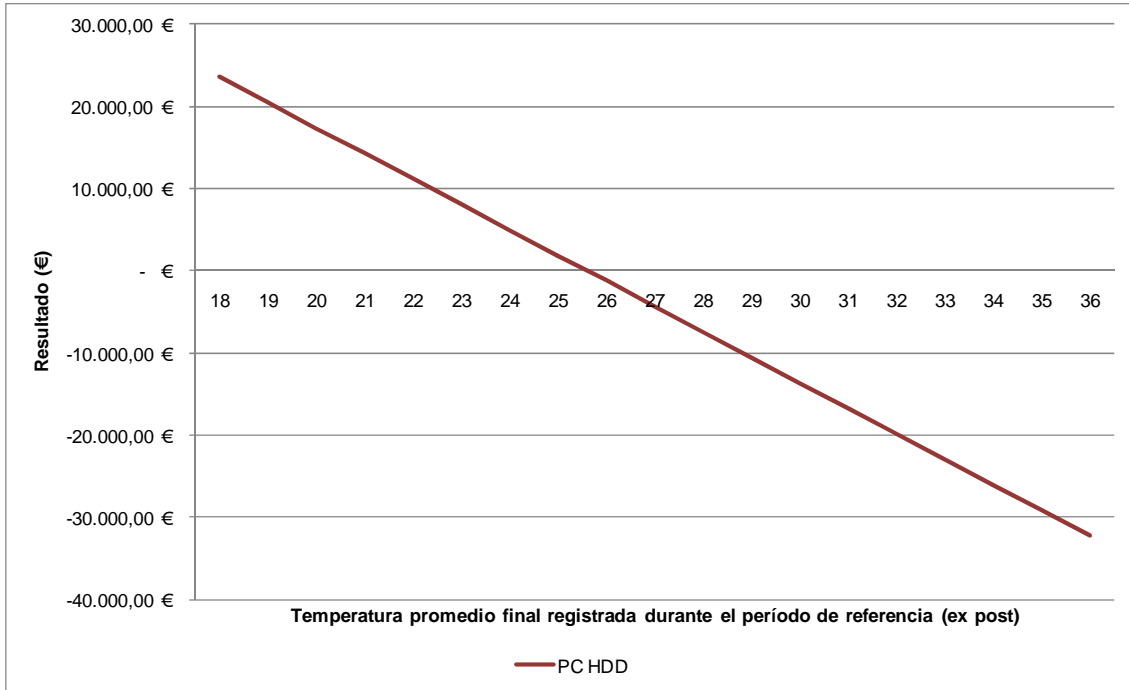
Gráficamente:



**Gráfico 16. Modelización del resultado económico de la PC en el futuro CDD, según valor acumulado del índice.**

**Fuente: elaboración propia.**

Tal y como sucedía en el ejemplo anterior, nuevamente el valor de ejercicio se ubica en el punto de equilibrio, que a su vez coincide con el promedio histórico de temperatura para el mes de julio en el aeropuerto de Ibiza, siendo éste el valor “justo” de la operación, en el que ambas partes toman posiciones con las mismas probabilidades de éxito.



**Gráfico 17. Modelización del resultado económico de la PC en el futuro sobre CDD, según la temperatura promedio final registrada durante el período de referencia (valor ex-post).**

**Fuente: elaboración propia.**

Llegado el vencimiento del contrato, se observa que las temperaturas del mes de julio sujeto a cobertura han sido las siguientes (con su respectivo valor diario y acumulado del índice CDD):

Julio (2016)				
Día	Tª Mín.	Tª Máx.	Tª Prom.	Valor diario índice CDD
1	20,1	27,2	23,7	5,7
2	19,9	27,9	23,9	5,9
3	20,3	28,1	24,2	6,2
4	20,3	27,6	24,0	6,0
5	19,7	26,4	23,1	5,1
6	20,0	26,5	23,3	5,3
7	20,4	27,4	23,9	5,9
8	20,9	27,9	24,4	6,4
9	21,5	28,1	24,8	6,8
10	21,7	27,6	24,7	6,7
11	21,8	28,7	25,3	7,3
12	21,8	29,6	25,7	7,7
13	22,7	30,2	26,5	8,5
14	22,9	30,5	26,7	8,7
15	22,8	29,7	26,3	8,3
16	22,6	29,7	26,2	8,2
17	22,1	29,4	25,8	7,8
18	22,5	29,8	26,2	8,2
19	22,7	28,7	25,7	7,7
20	22,9	28,5	25,7	7,7
21	22,5	27,7	25,1	7,1
22	22,5	27,3	24,9	6,9
23	22,8	27,7	25,3	7,3
24	22,7	27,6	25,2	7,2
25	23,3	28,4	25,9	7,9
26	23,3	28,7	26,0	8,0
27	23,6	30,2	26,9	8,9
28	23,8	30,7	27,3	9,3
29	23,9	30,5	27,2	9,2
30	24,4	29,7	27,1	9,1
31	24,7	30,3	27,5	9,5
<b>Valor acumulado índice CDD =</b>				<b>229,7</b>

Tabla 19. Simulación del cálculo del valor acumulado del índice CDD para el mes de objeto de la cobertura.  
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, con el valor real final acumulado del índice CDD, es posible calcular la liquidación del contrato y saber cuál ha sido el resultado definitivo para el propietario de la cervecería.

$$\text{Liquidación (PC CDD)} = (235,6 - 229,7) * 100 = + 590\text{€}$$



En este caso, el propietario obtendría beneficios, aunque poco significativos, pues se aprecia que la temperatura promedio ha sido de 25,4°C, es decir, sólo dos décimas por debajo de los históricamente normal.

De los ejemplos anteriores se evidencia que el uso de futuros sobre clima permite la cobertura ante eventuales subidas o caídas en la variable climática subyacente durante un período de tiempo concreto (el de cobertura). Para el caso de los índices HDD y CDD, se puede establecer, a modo de conclusión, la siguiente *matriz de decisiones*:

Índice y posición a tomar	Evento del que se desea cubrir
Posición larga sobre HDD	Inviernos demasiado fríos
Posición corta sobre HDD	Inviernos demasiado cálidos
Posición larga sobre CDD	Veranos demasiado cálidos
Posición corta sobre CDD	Veranos demasiado fríos

**Tabla 20. Matriz de decisiones en futuros sobre clima.**  
Fuente: elaboración propia.

### 5.8.3. Opciones climáticas

Procede recordar que la gran diferencia entre los futuros y las opciones radica en que, en éstas últimas, el adquirente debe satisfacer una prima, esto es, pagar un precio por la opción. Además, mientras que en los futuros la compra o la venta del activo subyacente en el momento del vencimiento es una obligación, en el caso de las opciones existe el derecho (que no la obligación) de ejercer o no.

Por otro lado, cabe mencionar que la forma de calcular el precio de ejercicio o el *strike* no varía, es decir, se obtiene del mismo modo que en los futuros sobre clima. Así, dicho valor se determinará considerando como referencia el promedio histórico registrado por la variable climática que actúe como subyacente (en el caso de los índices HDD y CDD, la temperatura).

Respecto al cálculo a efectuar en el momento del vencimiento, es decir, la liquidación del contrato, se deben introducir algunas modificaciones respecto al cálculo que se realizaba para el caso de los futuros. Dichas modificaciones se explican por lo comentado antes: existe el derecho a no ejercer, teniendo además la prima un papel importante sobre el resultado económico de la operación.

De este modo, resulta que:

Liquidación PL Call (HDD):  $\text{Tick} * \text{Max} \{ \text{Valor acumulado del índice} - \text{Strike}, 0 \} - \text{Prima}$

Liquidación PL Put (HDD):  $\text{Tick} * \text{Max} \{ \text{Strike} - \text{Valor acumulado del índice}, 0 \} - \text{Prima}$

Siendo el coste de la prima en función del número de contratos adquiridos, es decir, el precio satisfecho será resultado del producto entre la prima de cada contrato por el número de contratos negociados.

Para comprender mejor la aplicabilidad de las opciones climáticas, se presentan seguidamente algunos sencillos ejemplos.

*Ejemplo 1: Supuesto general de posición larga sobre una opción Call HDD*

Una empresa de servicios con sede en Barcelona dispone de un elevado número de oficinas en dicha ciudad. Ante los continuos incrementos producidos en el coste de la electricidad en los últimos años, teme que en el próximo invierno caigan las temperaturas más de lo normal y se dispare la factura de la misma. Por ello, decide tomar para el mes de diciembre (coincidente con el de más actividad de la empresa en el período de invierno) una posición larga sobre una opción Call HDD. Se contrata un único contrato, con una prima de 2.000€ y un tick de 100€.

Como es sabido, el primer paso es determinar cuál es el valor de ejercicio o *strike* que debe especificarse en el contrato de la opción. Nuevamente, consultando datos de la AEMET, se obtiene que para el período 1981-2010, con última actualización en 2015, la temperatura promedio del mes de diciembre ha sido de 10,0°C (estación meteorológica de referencia ubicada en el aeropuerto de Barcelona). Por tanto, el valor *strike* será:

$$\text{Strike} = (18 - 10) * 31 = 248$$

El siguiente paso es simular el valor acumulado del índice HDD para el próximo mes de diciembre (mes de cobertura). Supóngase que los datos son los siguientes:

Diciembre (2016)				
Día	Tª Mín.	Tª Máx.	Tª Prom.	Valor diario índice HDD
1	7,8	11,4	9,6	8,4
2	7,7	11,5	9,6	8,4
3	7,7	11,3	9,5	8,5
4	8,1	11,2	9,7	8,4
5	7,6	11,1	9,4	8,7
6	7,4	11,0	9,2	8,8
7	7,0	11,2	9,1	8,9
8	7,3	10,9	9,1	8,9
9	6,9	10,5	8,7	9,3
10	6,5	10,4	8,5	9,6
11	6,5	10,1	8,3	9,7
12	6,2	10,0	8,1	9,9
13	6,6	10,1	8,4	9,7
14	6,1	9,8	8,0	10,1
15	5,5	9,6	7,6	10,5
16	5,3	9,5	7,4	10,6
17	5,5	9,5	7,5	10,5
18	5,1	9,4	7,3	10,8
19	5,0	9,3	7,2	10,9
20	5,4	9,5	7,5	10,6
21	5,3	9,4	7,4	10,7
22	5,5	9,5	7,5	10,5
23	5,6	9,7	7,7	10,4
24	5,2	9,2	7,2	10,8
25	5,0	9,0	7,0	11,0
26	5,0	8,8	6,9	11,1
27	4,6	8,2	6,4	11,6
28	4,4	8,1	6,3	11,8
29	4,4	8,0	6,2	11,8
30	4,2	8,2	6,2	11,8
31	4,1	8,2	6,2	11,9
<b>Valor acumulado índice HDD =</b>				<b>314,0</b>

Tabla 21. Simulación del cálculo del valor acumulado del índice HDD para el mes objeto de la cobertura.

Fuente: elaboración propia.

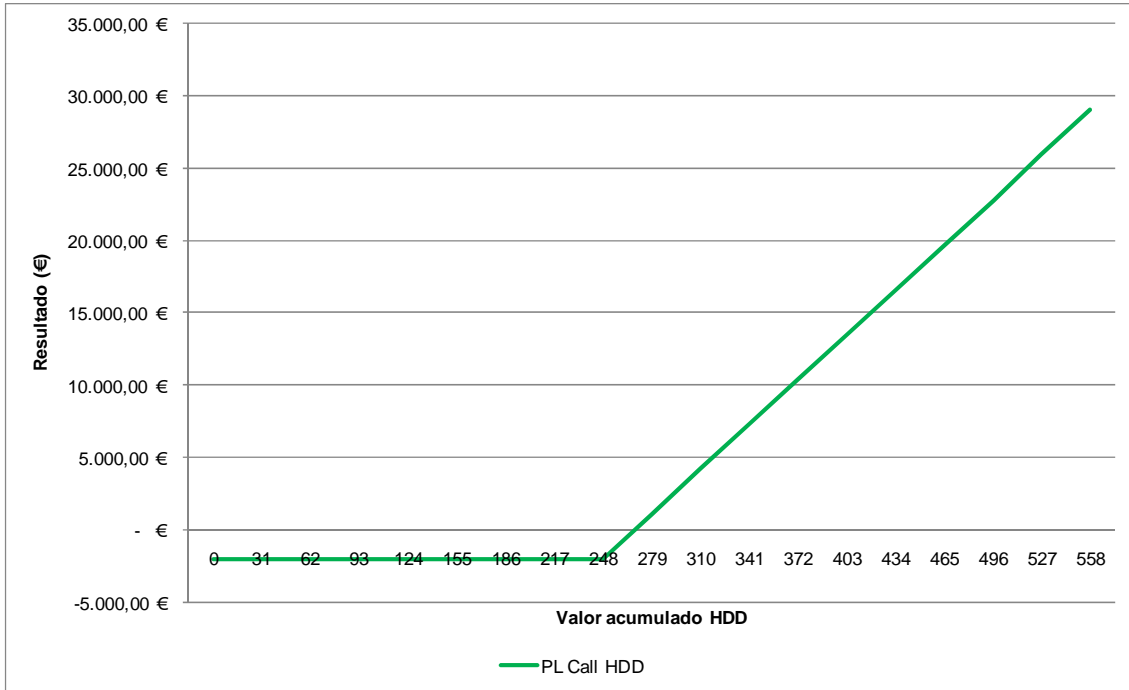
A continuación se modeliza la hipotética distribución del resultado y la liquidación del contrato según el valor acumulado del índice HDD simulado.

Resultado Valor HDD	Temperatura media mes final (ex post)	Resultado en €
0	18	- 2.000,00 €
31	17	- 2.000,00 €
62	16	- 2.000,00 €
93	15	- 2.000,00 €
124	14	- 2.000,00 €
155	13	- 2.000,00 €
186	12	- 2.000,00 €
217	11	- 2.000,00 €
248	10	- 2.000,00 €
279	9	1.100,00 €
310	8	4.200,00 €
341	7	7.300,00 €
372	6	10.400,00 €
403	5	13.500,00 €
434	4	16.600,00 €
465	3	19.700,00 €
496	2	22.800,00 €
527	1	25.900,00 €
558	0	29.000,00 €

Tabla 22. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Call sobre HDD, según el valor acumulado del índice.

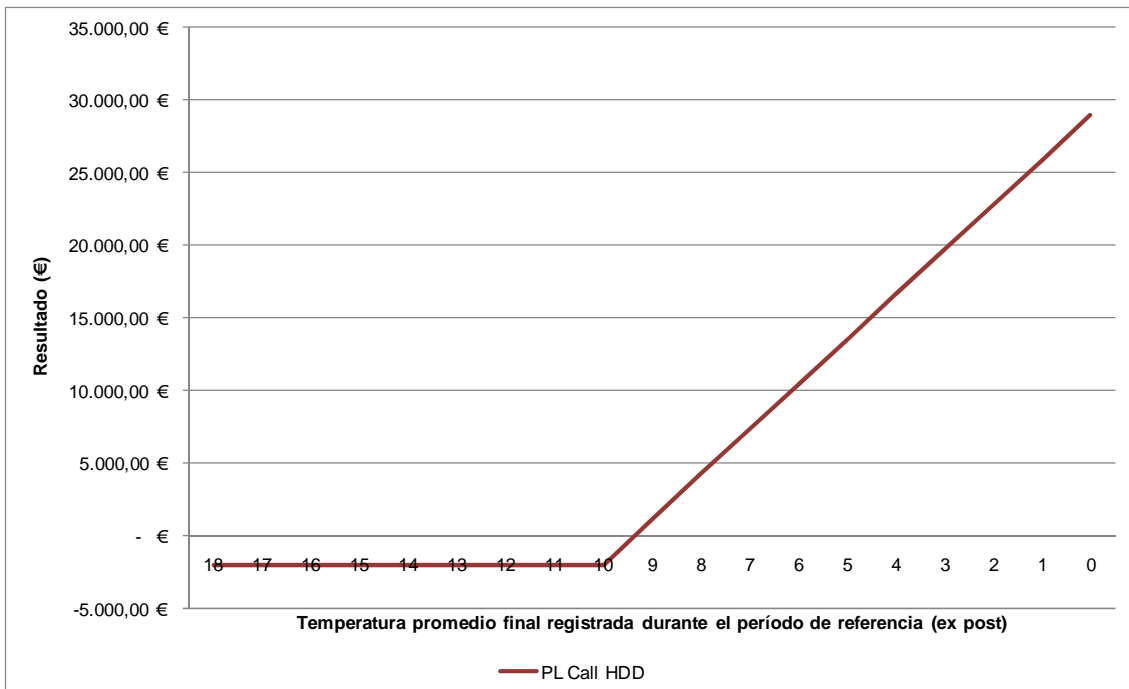
Fuente: elaboración propia.

Gráficamente, se observa como a medida que el índice asciende, los resultados también lo hacen. En caso de ubicarse dicho índice por debajo del valor del *strike*, la pérdida se vería limitada al importe de la prima satisfecha (pues no se ejercería la opción).



**Gráfico 18. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Call HDD, según valor acumulado del índice.**  
Fuente: elaboración propia.

A continuación se reproduce el gráfico anterior, pero tomando como referencia la variable “temperatura” en el eje de abscisas.



**Gráfico 19. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Call HDD, según la temperatura promedio final registrada durante el período de referencia (valor ex-post).**  
Fuente: elaboración propia.

Como se observa, a medida que se produce una caída de la temperatura promedio en el mes de referencia, la empresa obtiene beneficios, compensado de esta manera el mayor gasto que soportaría en electricidad.

Respecto a la liquidación del contrato y, por tanto, el resultado económico definitivo que obtendría la empresa:

$$\text{Liquidación (PL HDD)} = 100 * \text{Max} \{314 - 248, 0\} - 2.000 = + 4.600\text{€}$$

Es decir, como la temperatura promedio simulada para el mes de diciembre ha sido de 7,9°C, es decir, menor al promedio histórico, la empresa obtiene un resultado económico positivo en la operación.

*Ejemplo 2: Supuesto general de posición larga sobre una opción Put CDD*

Los propietarios de una pequeña empresa ubicada en la Platja de Palma, dedicada a la venta de aparatos de aire acondicionado, desea cubrirse ante una eventual caída de las temperaturas medias durante el próximo verano. Debido a que la mayoría de las ventas se producen durante el mes de agosto, deciden tomar la cobertura para ese mes en concreto. La prima a satisfacer es de 1.000€, el multiplicador de 200€ y el número de contratos es de uno. La cobertura consiste concretamente en un único contrato, tomando una posición larga sobre una opción Put CDD.

La estación meteorológica de referencia de la AEMET es la ubicada en el aeropuerto de Palma de Mallorca. Según ésta, la temperatura promedio en el período 1981-2010, con última actualización en 2015, para el mes de agosto alcanza los 25,1°C. Así pues, se puede calcular el valor de ejercicio:

$$\text{Strike} = (25,1 - 18) * 31 = 220,1$$

En la siguiente tabla se muestra la simulación de temperaturas máximas, mínimas y diarias para proceder al cálculo del valor acumulado del índice CDD en el mes de agosto.

Agosto (2016)				
Día	Tª Mín.	Tª Máx.	Tª Prom.	Valor diario índice CDD
1	20,4	26,4	23,4	5,4
2	20,5	26,3	23,4	5,4
3	20,4	26,6	23,5	5,5
4	20,7	26,6	23,7	5,7
5	20,6	26,8	23,7	5,7
6	20,9	27,1	24,0	6,0
7	20,8	27,0	23,9	5,9
8	20,4	26,9	23,7	5,7
9	20,1	26,6	23,4	5,4
10	19,9	26,2	23,1	5,1
11	19,7	25,9	22,8	4,8
12	20,0	25,9	23,0	5,0
13	20,5	26,5	23,5	5,5
14	20,9	27,7	24,3	6,3
15	21,5	28,1	24,8	6,8
16	21,8	28,4	25,1	7,1
17	21,9	28,5	25,2	7,2
18	22,0	28,6	25,3	7,3
19	22,5	29,0	25,8	7,8
20	22,6	29,1	25,9	7,9
21	22,5	28,8	25,7	7,7
22	22,2	28,5	25,4	7,4
23	22,1	28,4	25,3	7,3
24	22,2	28,5	25,4	7,4
25	22,0	28,4	25,2	7,2
26	21,9	28,2	25,1	7,1
27	21,5	27,7	24,6	6,6
28	21,4	27,5	24,5	6,5
29	21,1	27,3	24,2	6,2
30	21,0	27,0	24,0	6,0
31	21,1	27,1	24,1	6,1
<b>Valor acumulado índice CDD =</b>				<b>196,4</b>

Tabla 23. Simulación del cálculo del valor acumulado del índice CDD para el mes objeto de la cobertura.

Fuente: elaboración propia.

Y, a continuación, se modelizan los resultados económicos que se pueden obtener en función del valor que puede tomar dicho valor acumulado.

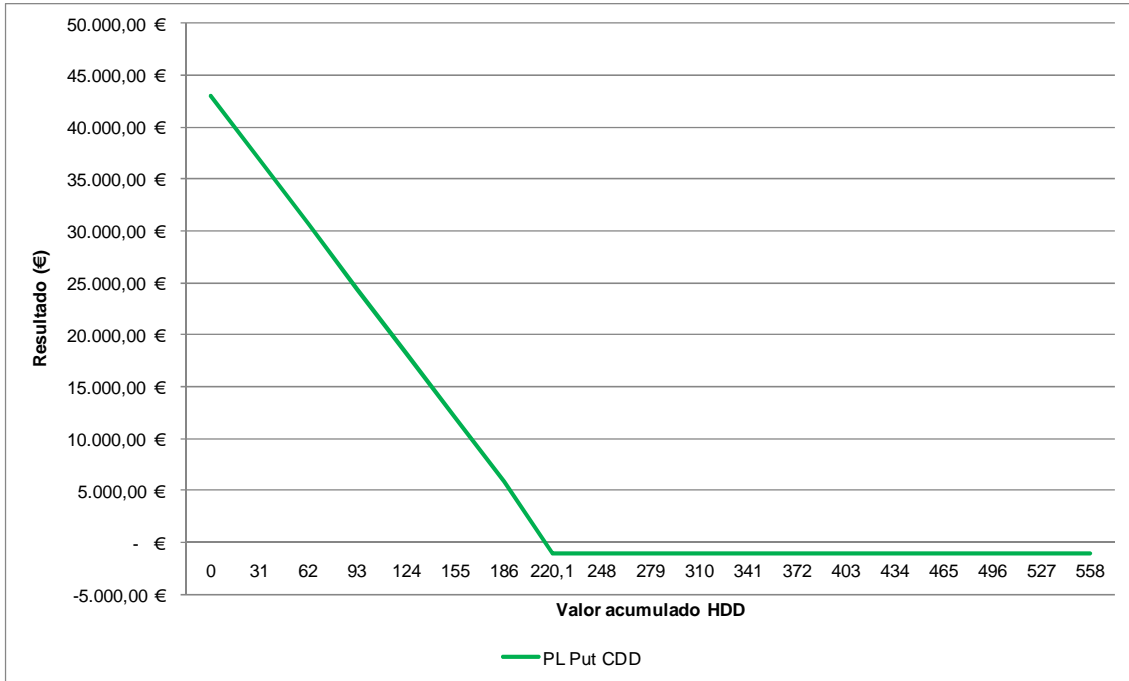
Resultado Valor CDD	Temperatura media mes final (ex post)	Resultado en €
0	18	43.020,00 €
31	19	36.820,00 €
62	20	30.620,00 €
93	21	24.420,00 €
124	22	18.220,00 €
155	23	12.020,00 €
186	24	5.820,00 €
220,1	24,3	- 1.000,00 €
248	26	- 1.000,00 €
279	27	- 1.000,00 €
310	28	- 1.000,00 €
341	29	- 1.000,00 €
372	30	- 1.000,00 €
403	31	- 1.000,00 €
434	32	- 1.000,00 €
465	33	- 1.000,00 €
496	34	- 1.000,00 €
527	35	- 1.000,00 €
558	36	- 1.000,00 €

**Tabla 24. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Put sobre CDD, según el valor acumulado del índice.**

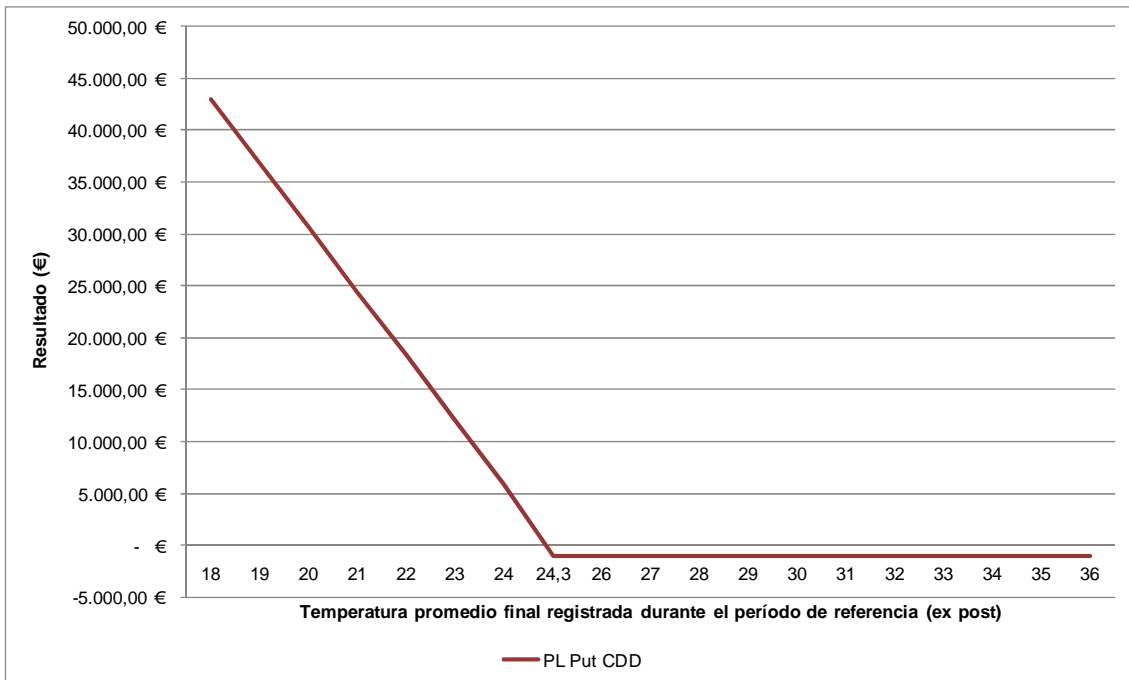
**Fuente: elaboración propia.**

Su representación gráfica muestra claramente la cobertura pretendida por el negocio de aparatos de aire acondicionado. En caso de caer las temperaturas promedio en el mes de agosto, los resultados tornarán positivos. Nótese que si la temperatura promedio es más alta de lo históricamente normal, la empresa no ejercerá su derecho, limitándose la pérdida a la prima pagada. En efecto, la prima sería el coste en el que la empresa debe incurrir por gozar de dicho derecho de ejercicio.





**Gráfico 20. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Put CDD, según valor acumulado del índice.**  
Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 21. Modelización del resultado económico de la PL en la opción Put CDD, según la temperatura promedio final registrada durante el período de referencia (valor ex-post).**  
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, con el valor acumulado simulado del índice CDD, se puede proceder a la liquidación del contrato:

$$\text{Liquidación (PL CDD)} = 200 * \text{Max} \{220,1 - 196,4, 0\} - 1.000 = + 3.740\text{€}$$

Es decir, como durante el mes de agosto se ha simulado una temperatura promedio de 24,3°C, siendo por tanto un mes más fresco de los históricamente normal (recuérdese el promedio de la AEMET), la empresa ha conseguido cubrir su riesgo obteniendo beneficios mediante el ejercicio de la opción.

A modo de resumen, se puede confeccionar una matriz de decisiones sobre índices y posiciones a tomar en opciones climáticas. Obsérvese que las opciones *Call* se utilizan para cubrir posibles excesos climáticos, mientras que las opciones *Put* tienden a proteger ante situaciones contrarias, esto es, posibles defectos.

Índice y posición a tomar	Evento del que se desea cubrir
PL Call HDD	Inviernos demasiado fríos
PL Put HDD	Inviernos demasiado cálidos
PL Call CDD	Veranos demasiado cálidos
PL Put CDD	Veranos demasiado fríos

**Tabla 25. Matriz de decisiones en opciones climáticas.**

Fuente: elaboración propia.

### 5.9. Métodos de la valoración: en busca de un consenso académico

Por su complejidad, la valoración de los derivados sobre clima no constituye uno de los objetivos del presente trabajo, pues su estudio requeriría un análisis mucho más amplio y específico. No obstante, sí que se considera apropiado hacer una mención sobre la valoración de este tipo de derivados, cuestión que representa en la actualidad un debate académico ciertamente vivo.

Uno de los aspectos clave a considerar es la no posibilidad de comercializar aspectos como la temperatura, el viento o la precipitación, pues no se tratan éstos de activos financieros transables. Debido a ello, no se pueden aplicar los modelos tradicionales de no arbitraje y de valoración neutral al riesgo (Cao y Wei, 2004: 1.069). En efecto, estos autores generalizan el modelo de Lucas (1978), en el cual consideran que el clima es un aspecto básico en la economía (Brockett, Wang y Yang, 2005: 135). Dicha relación de no arbitraje sí que se aplicaba para el caso de los derivados tradicionales y sus respectivos subyacentes. De igual modo, la aplicación del modelo binomial es ciertamente complicada, en tanto en cuanto, como se ha dicho, las variables climáticas no se pueden comercializar, no cotizan en ningún mercado. Por otro lado, el mercado de derivados sobre clima se trata de un mercado incompleto, manifestada tal circunstancia en la volatilidad estocástica y en la no negociabilidad de dichas variables (Bacchini, 2009: 36).

Por lo tanto, el modelo de valoración de Black-Scholes también sería excluido para esta finalidad (German et. al, 2005, en Bacchini, 2009: 36). Así, existen trabajos académicos específicos como el de Botoş Horia Mircea y Ciumaş

Cristina (2012), quienes usaron este método en el ámbito de los derivados climáticos y pusieron de manifiesto su escasa adecuación.

En relación con las técnicas actuariales, aunque éstas pueden presentar una mayor aplicabilidad a partir del estudio de datos del pasado, sí que se ha criticado sus limitaciones por el alto grado de auto-correlación y variaciones a largo plazo en las series históricas, pues se tratan de variables no estacionarias (Zeng, 2000: 77). Por ello, el profesor Zeng aplica el método Monte-Carlo, el cual consiste en un método no determinista que es utilizado para deducir distribuciones considerando la aleatoriedad y, por tanto, más ajustado a la variabilidad real que pueden tener las variables, en este caso, climáticas (Martín López, en <http://www.expansion.com/diccionario-economico/simulacion-de-monte-carlo.html>). Siguiendo con el caso de las técnicas actuariales, otros científicos ponen de manifiesto que dichas técnicas ignoran completamente los mercados financieros (Brockett, Wang y Yang, 2005: 134), cuando los derivados sobre clima sí que afectan de manera directa los precios de algunos activos líquidos de dichos mercados (p. 134). Por esta última razón, los derivados climáticos podrían ser cubiertos parcialmente por esos activos líquidos relacionados estocásticamente con la liquidación del derivado (Roll, 1984; Saunders, 1993; Craft, 1998; Kamstr, Kramer, y Levi, 2000; Hirshleifer y Schumway, 2001; en Brockett, Wang y Yang, 2005: 134-135).

Por su parte, expertos como Considine (2000), plantean modelos de precios como el modelo Gaussiano. Este autor considera que a partir del conocimiento de la media y de la desviación estándar del CDD y HDD en un lugar determinado, se puede aproximar de manera más o menos simple el precio de la opción (p. 4). Algunos factores clave que se deberán tener en cuenta en la modelización serían la desviación estándar de la distribución, la distancia del valor *strike* de la media, o el valor monetario del *tick*.

Otros ejemplos disponibles en la literatura académica es el de Davis (2001), quien explora la valoración de estos derivados utilizando el método de las utilidades marginales, modelando mediante movimientos geométricos brownianos la relación entre los HDD acumulados y el precio de los activos (Brockett, Wang y Yang, 2015: 136).

Otros autores, afirman que el método de valoración a aplicar a este tipo de derivados tiene que “aunar una precisa predicción de las variables atmosféricas, que permita determinar las funciones de pagos futuros de los activos, junto con la determinación de una función de utilidad que nos permita descontar dichos pagos a la tasa apropiada, de acuerdo con el perfil de riesgo de los agentes o del mercado en concreto” (Pons Ferrer, 2003: 48).

El repaso general ofrecido sobre las diferentes posibilidades en la valoración de los derivados climáticos, con sus limitaciones y virtudes, pretende trasladar al lector la idea de que en la actualidad aún no existe un método generalmente aceptado. Es por ello que, en los próximos años, este ámbito de estudio representará uno de los principales retos académicos por resolver.

## 6. DERIVADOS CLIMÁTICOS EN ACCIÓN: UN CASO PRÁCTICO

### 6.1. Descripción de la actividad

Un empresario de la hostelería gestiona un negocio muy conocido en la isla de Formentera. Se trata de un *beach club* ubicado justo en la costa de la playa de Illetes, conocida mundialmente por su belleza y aguas cristalinas. El local se compone de diferentes líneas de negocio independientes: un servicio de restaurante en el interior del local, una zona reservada tipo “*lounge*” en la que se sirven elaborados cocktails, y otra consistente en 100 hamacas ubicadas sobre la misma playa. Dicho lote de hamacas se explota en régimen de concesión pública y fue adjudicado al empresario la temporada pasada por un período de 10 años. Con enorme diferencia, esta última línea de actividad es la que más facturación aporta al negocio y la más conocida, además de ser la más rentable. Son miles los turistas que cada año disfrutan de la amplia gama de camas balinesas y hamacas *king-size* que el negocio ofrece.

No obstante, y como inconveniente, la ocupación de las hamacas tiene una relación directa con la meteorología, especialmente con la temperatura. Al ser Formentera una isla con un clima semi-árido, las precipitaciones no suelen preocupar, pues históricamente han sido muy bajas en el período estival. Ahora bien, años atrás el empresario sí que ha notado que la facturación se ha resentido antes variaciones a la baja en la temperatura. Por ello, y tras recibir asesoría financiera, decide este año cubrirse de dicho riesgo mediante la contratación de derivados climáticos. En particular, el asesor financiero le ofrece las siguientes alternativas:

- Una posición corta sobre un futuro climático CDD.
- Una posición larga sobre una opción climática tipo Put CDD.
- No tomar posición alguna sobre derivados climáticos, es decir, asumir el riesgo de variación de temperatura.

Así, durante el desarrollo del caso práctico se compararán dichas estrategias de cobertura, para determinar cuál de ellas sería la que mejor se ajustaría a las necesidades del empresario. En particular, el empresario desea cubrirse los meses de julio y agosto, pues son los que concentran el 80% de la facturación total de la temporada turística.

### 6.2. Datos históricos, regresión y estimación de ingresos.

En primer lugar, se hace necesario conocer cuál es la relación y la  $\beta$  entre las variables *facturación* y *temperatura*. A continuación, se presentan los valores obtenidos durante los meses de julio y agosto del pasado año 2015:

Julio (2015)			
Día	Tª Prom.	Hamacas efectivas ocupadas	Ingresos
1	24,4	70	21.000 €
2	24,2	66	19.800 €
3	23,9	62	18.600 €
4	24,5	71	21.300 €
5	24,6	74	22.200 €
6	24,5	70	21.000 €
7	25,5	80	24.000 €
8	25,6	82	24.600 €
9	25,9	88	26.400 €
10	25,5	79	23.700 €
11	25,6	82	24.600 €
12	25,7	86	25.800 €
13	26,1	89	26.700 €
14	26,3	92	27.600 €
15	26,4	93	27.900 €
16	26,3	91	27.300 €
17	26,5	94	28.200 €
18	26,1	87	26.100 €
19	26,2	89	26.700 €
20	25,7	81	24.300 €
21	25,5	79	23.700 €
22	25,7	83	24.900 €
23	25,6	82	24.600 €
24	25,7	85	25.500 €
25	25,8	86	25.800 €
26	25,8	86	25.800 €
27	25,9	88	26.400 €
28	25,9	90	27.000 €
29	26,5	94	28.200 €
30	26,7	95	28.500 €
31	26,6	92	27.600 €

Agosto (2015)			
Día	Tª Prom.	Hamacas efectivas ocupadas	Ingresos
1	27,1	97	29.100 €
2	26,8	92	27.600 €
3	27,0	94	28.200 €
4	27,1	95	28.500 €
5	27,2	97	29.100 €
6	27,5	100	30.000 €
7	27,6	100	30.000 €
8	28,3	100	30.000 €
9	27,8	98	29.400 €
10	26,1	94	28.200 €
11	25,3	83	24.900 €
12	27,6	97	29.100 €
13	27,4	94	28.200 €
14	26,2	90	27.000 €
15	23,2	80	24.000 €
16	22,2	68	20.400 €
17	24,1	77	23.100 €
18	25,7	84	25.200 €
19	26,0	87	26.100 €
20	24,9	81	24.300 €
21	24,8	79	23.700 €
22	25,8	85	25.500 €
23	26,7	91	27.300 €
24	26,9	96	28.800 €
25	27,0	99	29.700 €
26	27,6	100	30.000 €
27	24,7	87	26.100 €
28	27,5	100	30.000 €
29	26,7	96	28.800 €
30	27,6	100	30.000 €
31	27,5	97	29.100 €

**Tabla 26. Temperaturas máximas, mínimas y promedio registradas en los meses de julio y agosto de la temporada anterior.**

**Fuente: elaboración propia.**

Cabe tener en cuenta que los ingresos diarios estimados por cada hamaca es de 300€, pues los clientes que ocupan la hamaca pueden disfrutar de otros servicios adicionales: bebidas, comidas, servicio de masajes, música en directo, etc. Por otro lado, la cifra referida a las hamacas ocupadas se refiere a aquellas hamacas que están durante todo el día ocupadas (están disponibles 8 horas al día), es decir, de algún modo, y para simplificar los cálculos, ya tienen en cuenta la “rotación” de las mismas (serían pues las *hamacas-efectivas* por día). Así, si por ejemplo un día concreto hay 60 hamacas que están ocupadas todo el servicio (8 horas), y después hay 40 hamacas que están ocupadas sólo 4 horas, estando éstas 40 hamacas vacías el tiempo restante, las hamacas *efectivas* para ese día serían:  $60 + (40 * 0,5) = 80$  hamacas. Y, sus ingresos en ese día:  $80 * 300 = 24.000€$ . Por lo tanto, en la tabla anterior, debe entenderse

que si hay 100 hamacas ocupadas, significa que la totalidad de las mismas han estado ocupadas durante todo el tiempo de servicio.

A continuación procede efectuar la regresión para determinar la relación existente entre el número de hamacas y la temperatura promedio del día. Para ello, se ha utilizado el programa GRETLC®, especializado en aplicaciones econométricas. Los inputs introducidos en el modelo son los siguientes:

Día	Tª Prom.	Hamacas efectivas ocupadas	Día	Tª Prom.	Hamacas efectivas ocupadas
1	24,4	70	32	27,05	97
2	24,2	66	33	26,75	92
3	23,85	62	34	26,95	94
4	24,5	71	35	27,05	95
5	24,6	74	36	27,15	97
6	24,5	70	37	27,45	100
7	25,45	80	38	27,55	100
8	25,6	82	39	28,25	100
9	25,9	88	40	27,75	98
10	25,5	79	41	26,05	94
11	25,6	82	42	25,25	83
12	25,7	86	43	27,55	97
13	26,1	89	44	27,35	94
14	26,3	92	45	26,15	90
15	26,4	93	46	23,15	80
16	26,3	91	47	22,15	68
17	26,5	94	48	24,05	77
18	26,1	87	49	25,65	84
19	26,2	89	50	25,95	87
20	25,7	81	51	24,85	81
21	25,5	79	52	24,75	79
22	25,7	83	53	25,75	85
23	25,6	82	54	26,65	91
24	25,7	85	55	26,85	96
25	25,8	86	56	26,95	99
26	25,8	86	57	27,55	100
27	25,85	88	58	24,65	87
28	25,9	90	59	27,45	100
29	26,5	94	60	26,65	96
30	26,65	95	61	27,55	100
31	26,55	92	62	27,45	97

**Tabla 27. Relación entre temperatura promedio y número de hamacas efectivas ocupadas durante los meses de julio y agosto de la temporada anterior.**

**Fuente: elaboración propia.**

Como se puede apreciar, se ha elaborado una única serie de datos, desde el día 1 (1 de julio de 2015) hasta el día 62 (31 de agosto de 2015), cubriéndose en una única tabla todo el período objeto de la cobertura.

Así, los resultados que arroja el análisis de regresión son los que se muestran en la siguiente imagen:

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p
const	-99.7468	11.0865	-8.997	9.98e-013 ***
TProm	7.20431	0.426151	16.91	1.70e-024 ***
Media de la vble. dep.	87.48387	D.T. de la vble. dep.	9.399585	
Suma de cuad. residuos	935.1424	D.T. de la regresión	3.947874	
R-cuadrado	0.826488	R-cuadrado corregido	0.823596	
F(1, 60)	285.7966	Valor p (de F)	1.70e-24	
Log-verosimilitud	-172.0947	Criterio de Akaike	348.1894	
Criterio de Schwarz	352.4436	Crit. de Hannan-Quinn	349.8597	

**Imagen 8. Resultados obtenidos en la regresión mediante el programa econométrico GRETL®.**

**Fuente: resultados a partir de GRETL®.**

La presencia de uno, dos o tres asteriscos en las primeras dos filas (margen derecho) indica si una variable es significativa al 10%, 5% o 1% respectivamente. En otras palabras, es una expresión del porcentaje de error al que se puede incurrir al considerar dicha variable a la hora de predecir el comportamiento de la variable dependiente. En este caso, los errores son bajos, siendo las variables significativas en tanto en cuanto se puede rechazar la hipótesis nula (que la variable independiente es igual a 0). Por otro lado, nótese que el valor de “R-cuadrado” es elevado, situado en 0,826488.

Así pues, la ecuación resultante de esta regresión es la siguiente:

$$Y = -99,7468 + 7,20431 \cdot X$$

donde:

Y= número de hamacas efectivas ocupadas.

X= Temperatura promedio del día.

Así, sabiendo esto, se obtiene que por cada variación de un grado de temperatura promedio en el día, se produce una variación de 7,20431 en el número de hamacas efectivas ocupadas. Considerando que cada hamaca genera unos ingresos medios diarios de 300€, se puede concluir que una variación de un grado en la temperatura promedio en el día supone una variación de 2.161,29€ al día. Es decir:

$$\text{Variación de } 1^{\circ}\text{C en el día} = 300 * 7,20431 = 2.161,29\text{€ al día.}$$

Si se calcula este importe para el período objeto de la cobertura se obtiene que una variación de un grado centígrado promedio en el período (dos meses) genera una variación de 134.000,17€ en dicho período.

La tabla siguiente muestra la estimación de ingresos potenciales en los próximos meses de julio y agosto de 2016 (valores agregados para todo el período), según la temperatura promedio.

Tª Promedio período	Hamacas efectivas/día	Ingresos/día	Ingresos/período
18	30	8.979,23 €	556.712,51 €
19	37	11.140,53 €	690.712,67 €
20	44	13.301,82 €	824.712,84 €
21	52	15.463,11 €	958.713,01 €
22	59	17.624,41 €	1.092.713,17 €
23	66	19.785,70 €	1.226.713,34 €
24	73	21.946,99 €	1.360.713,50 €
25	80	24.108,29 €	1.494.713,67 €
26	88	26.269,58 €	1.628.713,84 €
27	95	28.430,87 €	1.762.714,00 €
28	100	30.000,00 €	1.860.000,00 €
29	100	30.000,00 €	1.860.000,00 €
30	100	30.000,00 €	1.860.000,00 €
31	100	30.000,00 €	1.860.000,00 €
32	100	30.000,00 €	1.860.000,00 €
33	100	30.000,00 €	1.860.000,00 €
34	100	30.000,00 €	1.860.000,00 €
35	100	30.000,00 €	1.860.000,00 €

**Tabla 28. Estimación de hamacas efectivas ocupadas, ingresos por día y en el período, en función de la temperatura promedio del período.**

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que a partir del nivel de 28 grados centígrados de media, las hamacas disponibles llegan a su máxima ocupación (100), fijándose por ello un techo a partir de dicho nivel de temperatura. Apréciase igualmente que la variación de ingresos entre cada variación de un grado centígrado de temperatura promedio en el período es de 134.000,17€, importe calculado previamente (hasta alcanzar el límite superior de ocupación, en el que los ingresos también alcanzar un techo).

### 6.3. Análisis de cobertura mediante derivados sobre clima

Una vez efectuados los cálculos anteriores, ya se dispone de la información base para poder analizar las diferentes coberturas mediante derivados climáticos. En este caso concreto, se propone la utilización de bien un futuro (posición corta sobre índice CDD), o bien una opción climática (posición larga sobre opción Put CDD).



### 6.3.1. Futuros sobre clima (posición corta CDD)

Por proximidad geográfica, se considera la estación ubicada en el aeropuerto de Eivissa. Según los datos publicados por la AEMET, los promedios históricos de temperatura para cada mes son: 25,6°C en julio y 26,3° en agosto.

Recordar que en este trabajo se ha introducido previamente el problema del *riesgo base*, entendiendo éste como la diferencia que puede existir entre los valores que registra la estación meteorológica de referencia en el contrato con los valores reales obtenidos en la zona específica en la que se lleva a cabo la actividad objeto de cobertura. Para simplificar el caso, y debido a la escasa distancia geográfica existente entre dicha estación y Formentera, se considerará una correlación del 100%. Aún así, procede poner en alerta al potencial usuario del derivado, pues en otros casos sí que puede ser necesario analizar la similitud entre las temperaturas registradas en ambas localizaciones.

Por tanto, el promedio del período de cobertura será:

$$\text{Promedio período} = (25,6 + 26,3) / 2 = 25,95^{\circ}\text{C}.$$

Así, con este valor es posible proceder al cálculo del valor de ejercicio o *strike* del contrato de futuros sobre el índice CDD:

$$\text{Strike} = (25,95 - 18) * 62 = 492,9$$

Por lo que se refiere al tamaño del *tick* o multiplicador, éste se fija en 100€ por cada variación respecto al valor de ejercicio. No obstante, se debe tener en cuenta que una variación de un grado promedio en el día significa al empresario una variación de 2.161,29€, por lo que se deberá extraer el número de contratos *óptimo* (N\*).

$$N^* = 2.161,29 / 100 = 21,6129 \text{ contratos}$$

Con este número de contratos (N\*), sería posible cubrir el 100% de la variación producida en los ingresos, pero dicho volumen de contratos no es posible pues debe ser un valor entero. Por ello, se tomarán 21 contratos. Es decir, el % de cobertura efectiva será:

$$\% \text{ Cobertura efectiva} = (21 * 100) / 2.161,29 = 0,9716 = 97,16\%$$

A continuación se simula cuál será la evolución de la temperatura promedio diario para obtener el valor acumulado del índice CDD en los meses de julio y agosto de 2016 (véase la tabla siguiente).

Julio (2016)					Agosto (2016)				
Día	Tª Mín.	Tª Máx.	Tª Prom.	diario índice	Día	Tª Mín.	Tª Máx.	Tª Prom.	diario índice
1	20,1	26,6	23,4	5,4	1	20,6	27,6	24,1	6,1
2	19,9	26,4	23,2	5,2	2	20,4	27,4	23,9	5,9
3	20,3	26,8	23,6	5,6	3	20,8	27,8	24,3	6,3
4	20,3	26,8	23,6	5,6	4	20,8	27,8	24,3	6,3
5	19,7	26,2	23,0	5,0	5	20,2	27,2	23,7	5,7
6	20,0	26,5	23,3	5,3	6	20,5	27,5	24,0	6,0
7	20,4	26,9	23,7	5,7	7	20,9	27,9	24,4	6,4
8	20,9	27,4	24,2	6,2	8	21,4	28,4	24,9	6,9
9	21,5	28,0	24,8	6,8	9	22,0	29,0	25,5	7,5
10	21,7	28,2	25,0	7,0	10	22,2	29,2	25,7	7,7
11	21,8	28,3	25,1	7,1	11	22,3	29,3	25,8	7,8
12	21,8	28,3	25,1	7,1	12	22,3	29,3	25,8	7,8
13	22,7	29,2	26,0	8,0	13	23,2	30,2	26,7	8,7
14	22,9	29,4	26,2	8,2	14	23,4	30,4	26,9	8,9
15	22,8	29,3	26,1	8,1	15	23,3	30,3	26,8	8,8
16	22,6	29,1	25,9	7,9	16	23,1	30,1	26,6	8,6
17	22,1	28,6	25,4	7,4	17	22,6	29,6	26,1	8,1
18	22,5	29,0	25,8	7,8	18	23,0	30,0	26,5	8,5
19	22,7	29,2	26,0	8,0	19	23,2	30,2	26,7	8,7
20	22,9	29,4	26,2	8,2	20	23,4	30,4	26,9	8,9
21	22,5	29,0	25,8	7,8	21	23,0	30,0	26,5	8,5
22	22,5	29,0	25,8	7,8	22	23,0	30,0	26,5	8,5
23	22,8	29,3	26,1	8,1	23	23,3	30,3	26,8	8,8
24	22,7	29,2	26,0	8,0	24	23,2	30,2	26,7	8,7
25	23,3	29,8	26,6	8,6	25	23,8	30,8	27,3	9,3
26	23,3	29,8	26,6	8,6	26	23,8	30,8	27,3	9,3
27	23,6	30,1	26,9	8,9	27	24,1	31,1	27,6	9,6
28	23,8	30,3	27,1	9,1	28	24,3	31,3	27,8	9,8
29	23,9	30,4	27,2	9,2	29	24,4	31,4	27,9	9,9
30	24,4	30,9	27,7	9,7	30	24,9	31,9	28,4	10,4
31	24,7	31,2	28,0	10,0	31	25,2	32,2	28,7	10,7
Valor acumulado índice CDD = 229,9					Valor acumulado índice CDD = 253,1				

Tabla 29. Cálculo del valor del CDD acumulado para el mes de julio y agosto de 2016, a partir de temperaturas estimadas.

Fuente: elaboración propia.

Como en este caso concreto se disponen de dos valores acumulados del índice CDD, se procede a efectuar la suma de ambos para determinar cuál será el valor a considerar en el momento de liquidar la posición. Es decir:

$$\text{Valor acumulado CDD} = 229,9 + 253,1 = 483$$

Es posible modelizar las liquidaciones de la posición corta en el futuro sobre CDD, estimando los ingresos o pérdidas del mismo, así como el valor total obtenido por el empresario con la cobertura. La tabla siguiente refleja los valores obtenidos para el conjunto del período cubierto (julio y agosto de 2016) según la temperatura promedio del mismo.

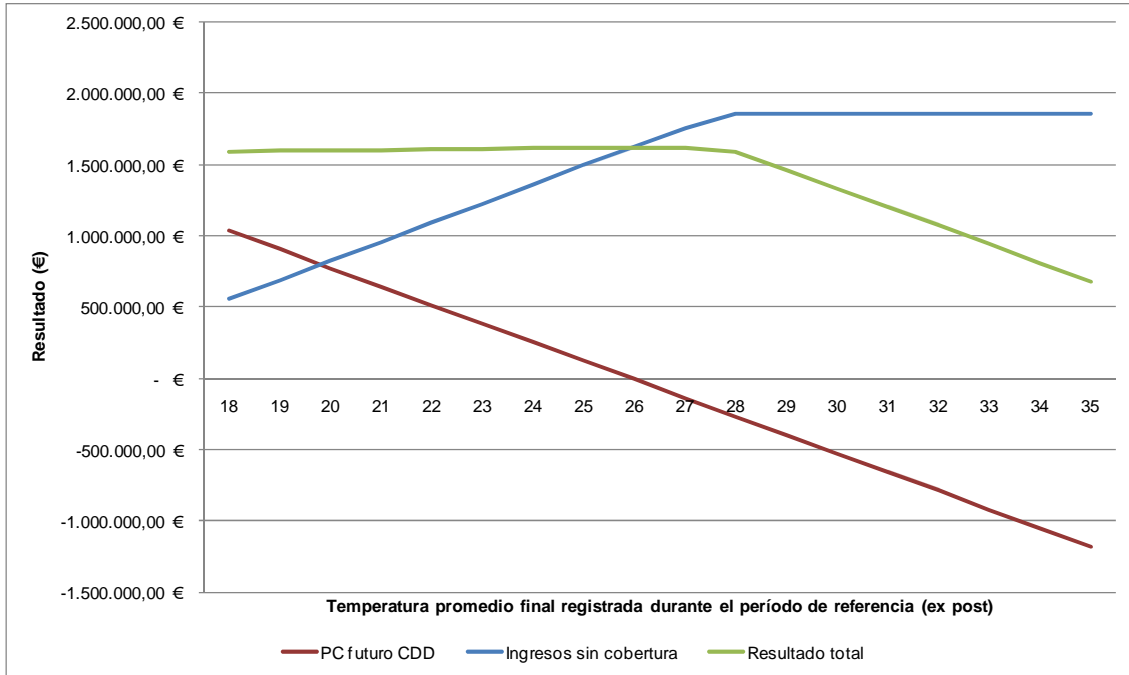
Resultado Valor CDD	Temperatura media mes final (ex post)	Resultado futuro (PC CDD)	Resultado sin cobertura	Total
0	18	1.035.090,00 €	556.712,51 €	1.591.802,51 €
62	19	904.890,00 €	690.712,67 €	1.595.602,67 €
124	20	774.690,00 €	824.712,84 €	1.599.402,84 €
186	21	644.490,00 €	958.713,01 €	1.603.203,01 €
248	22	514.290,00 €	1.092.713,17 €	1.607.003,17 €
310	23	384.090,00 €	1.226.713,34 €	1.610.803,34 €
372	24	253.890,00 €	1.360.713,50 €	1.614.603,50 €
434	25	123.690,00 €	1.494.713,67 €	1.618.403,67 €
496	26	- 6.510,00 €	1.628.713,84 €	1.622.203,84 €
558	27	- 136.710,00 €	1.756.000,00 €	1.619.290,00 €
620	28	- 266.910,00 €	1.860.000,00 €	1.593.090,00 €
682	29	- 397.110,00 €	1.860.000,00 €	1.462.890,00 €
744	30	- 527.310,00 €	1.860.000,00 €	1.332.690,00 €
806	31	- 657.510,00 €	1.860.000,00 €	1.202.490,00 €
868	32	- 787.710,00 €	1.860.000,00 €	1.072.290,00 €
930	33	- 917.910,00 €	1.860.000,00 €	942.090,00 €
992	34	- 1.048.110,00 €	1.860.000,00 €	811.890,00 €
1054	35	- 1.178.310,00 €	1.860.000,00 €	681.690,00 €

**Tabla 30. Modelización de resultados económicos utilizando como cobertura una posición corta en futuros sobre CDD.**

**Fuente: elaboración propia.**

Obsérvese que el valor total de la cobertura (columna azul) sería siempre el mismo (hasta el nivel los 28°C) si se hubiese podido comprar el número óptimo de contratos (21,6129). Por otro lado, recuérdese además la existencia de un techo en los ingresos de la actividad consecuencia de una limitación física (las hamacas disponibles), hecho que también modifica el importe total de la cobertura.

En términos gráficos, los resultados previsibles son los que se muestran a continuación.



**Gráfico 22. Resultado económico previsto según temperatura promedio estimada en el período (cobertura mediante posición corta en futuros sobre CDD).**  
Fuente: elaboración propia.

Si mediante la previsión realizada de temperaturas promedio se estima un nivel acumulado del índice CDD de 483, el resultado exacto del empresario en el futuro sería:

$$\text{Liquidación PC CDD} = (492,9 - 483) * 100 * 21 = + 18.900\text{€}$$

En efecto, obtendría un beneficio económico en tanto en cuanto la temperatura promedio en el período ha sufrido un ligero descenso. Precisamente, como el futuro cubría este riesgo, al materializarse éste el empresario pasa a recibir un pago.

### 6.3.2. Opciones sobre clima (posición larga opción Put CDD)

En este caso, se mantienen los mismos supuestos del contrato anterior, es decir:

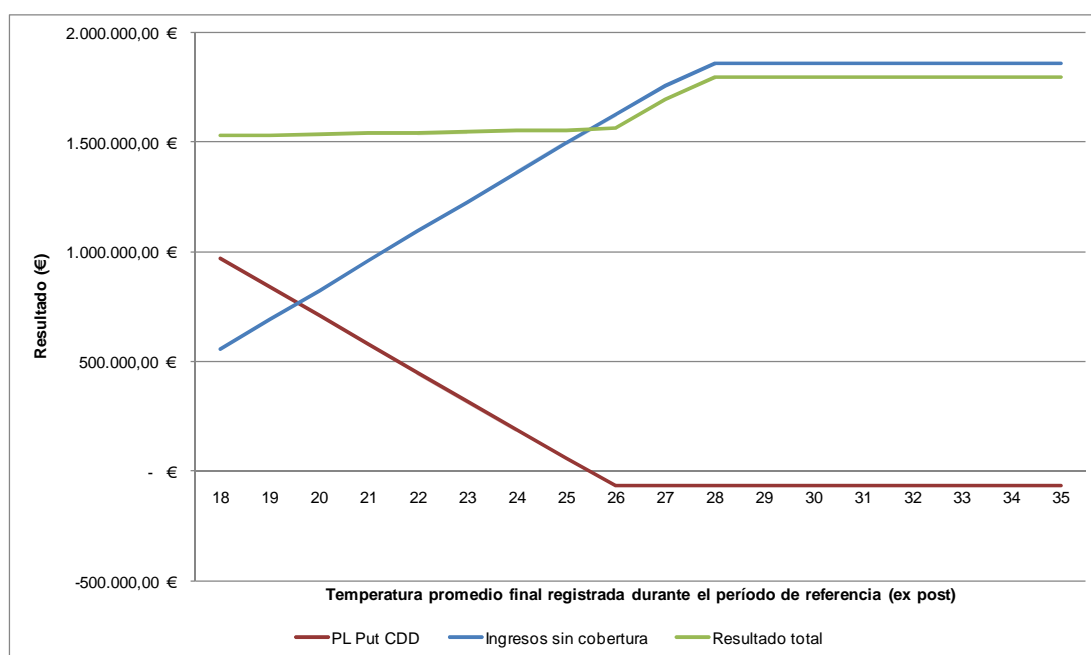
- La estación meteorológica de referencia es la del aeropuerto de Eivissa.
- El valor de ejercicio se mantiene en 492,9.
- Respecto al multiplicador del contrato, este es de 100€.
- Se toma posición en 21 contratos.
- La prima de la opción continúa fijada en los 3.000€.

Por lo tanto, es posible modelizar directamente los resultados económicos de la cobertura, en función del valor que tome el índice acumulado CDD.

Resultado Valor CDD	Temperatura media mes final (ex post)	Resultado opción (PL Put CDD)	Resultado sin cobertura	Total
0	18	972.090,00 €	556.712,51 €	1.528.802,51 €
62	19	841.890,00 €	690.712,67 €	1.532.602,67 €
124	20	711.690,00 €	824.712,84 €	1.536.402,84 €
186	21	581.490,00 €	958.713,01 €	1.540.203,01 €
248	22	451.290,00 €	1.092.713,17 €	1.544.003,17 €
310	23	321.090,00 €	1.226.713,34 €	1.547.803,34 €
372	24	190.890,00 €	1.360.713,50 €	1.551.603,50 €
434	25	60.690,00 €	1.494.713,67 €	1.555.403,67 €
496	26	- 63.000,00 €	1.628.713,84 €	1.565.713,84 €
558	27	- 63.000,00 €	1.756.000,00 €	1.693.000,00 €
620	28	- 63.000,00 €	1.860.000,00 €	1.797.000,00 €
682	29	- 63.000,00 €	1.860.000,00 €	1.797.000,00 €
744	30	- 63.000,00 €	1.860.000,00 €	1.797.000,00 €
806	31	- 63.000,00 €	1.860.000,00 €	1.797.000,00 €
868	32	- 63.000,00 €	1.860.000,00 €	1.797.000,00 €
930	33	- 63.000,00 €	1.860.000,00 €	1.797.000,00 €
992	34	- 63.000,00 €	1.860.000,00 €	1.797.000,00 €
1054	35	- 63.000,00 €	1.860.000,00 €	1.797.000,00 €

**Tabla 31. Modelización de resultados económicos utilizando como cobertura una posición larga en opciones Put sobre CDD.**  
Fuente: elaboración propia.

Nuevamente, se reproducen los resultados gráficamente, para ayudar a la comprensión de los mismos.



**Gráfico 23. Resultado económico previsto según temperatura promedio estimada en el período (cobertura mediante posición larga en opciones Put sobre CDD).**  
Fuente: elaboración propia.

Entonces, si se prevé que el valor acumulado del CDD es de 483 (antes calculado), el resultado de la liquidación de la opción sería:

$$\begin{aligned}\text{Liquidación PL Put CDD} &= ((492,9 - 483) * 100 * 21) - (3.000 * 21); \\ &= +20.790€ - 63.000€ = - 42.210€\end{aligned}$$

Por lo tanto, ante esta situación, se observa que el empresario obtiene, en sentido estricto, beneficios con la opción (+20.790€), pero el resultado final es negativo debido al coste de la prima. Teniendo en cuenta que el coste de la misma es de 63.000€ (3.000 \* 21 = 63.000€), el empresario sí que ejercería la opción, pues de este modo limitaría en cierto modo las pérdidas:

$$\begin{aligned}\text{Volumen de pérdidas: } &((492,9 - 483) * 100 * 21) - (3.000 * 21) < (3.000 * 21); \\ &-42.210€ < -63.000€\end{aligned}$$

Quedando las pérdidas finalmente fijadas en 42.210€. En este caso, el descenso de temperatura registrada ha sido tan ligero que no alcanza a compensar el coste de la prima.

#### **6.4. Discusión**

Los resultados obtenidos con cada tipo de producto derivado sobre clima permiten extraer una serie de conclusiones. Se comentan a continuación las principales ventajas e inconvenientes de cada estrategia planteada, para posteriormente determinar cuál sería más adecuada en este caso concreto.

##### Cobertura con futuros

Es el producto que más beneficio aporta en el supuesto de reducción de la temperatura. Estabiliza el resultado disminuyendo la volatilidad, aunque a partir de cierto nivel los beneficios se reducen (debido al efecto del número máximo de hamacas, hecho que implica un techo en los ingresos). Nótese que dicha situación puede ser peligrosa. Así, si las temperaturas promedio suben un poco más (no importa que dicho ascenso sea muy significativo), las pérdidas serían importantes debido al efecto del mencionado techo en los ingresos. Es decir, el hecho de disponer de un límite en su capacidad de generación de ingresos en un nivel cercano a los 28°C, provoca que la cobertura mediante el futuro no presente una línea completamente horizontal (línea azul en el gráfico siguiente). No es horizontal en tanto en cuanto a medida que asciende la temperatura se intensifica la pérdida en el futuro, no compensada debido a que los ingresos no crecen.

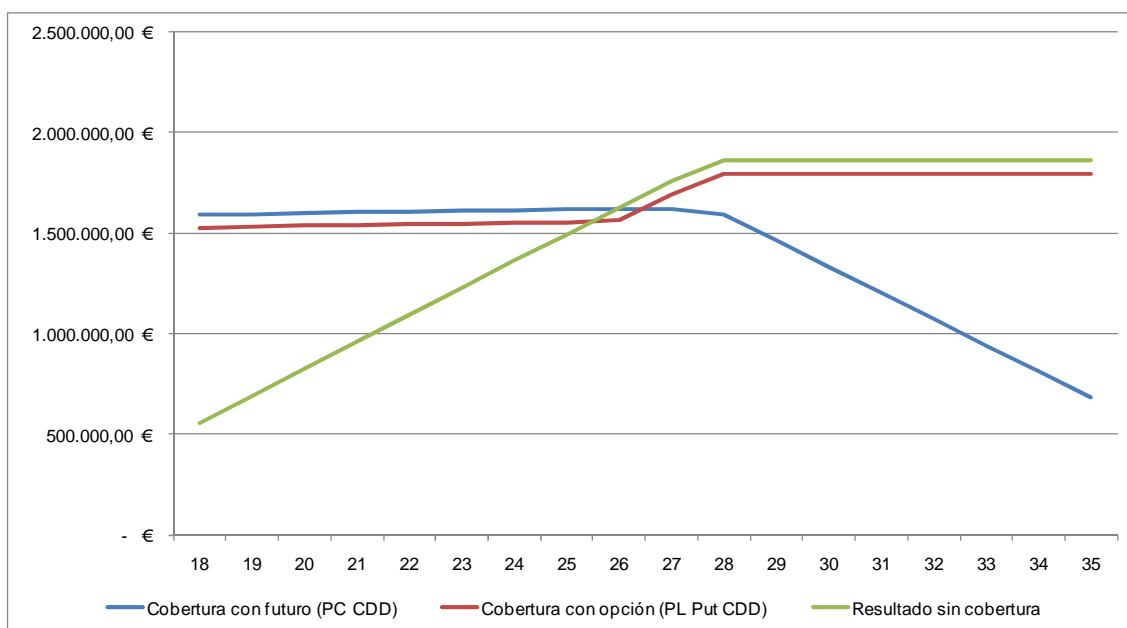
##### Cobertura con opciones

En este caso, se generan beneficios mientras la temperatura promedio se sitúe por debajo del nivel de ejercicio: cuanto más caigan, más pagos recibe el empresario. Téngase en cuenta que ante caídas muy ligeras en la temperatura, el resultado económico positivo obtenido puede que no compense el importe de

la prima pagada (como en este caso práctico). Por otro lado, si dicho promedio se sitúa por encima del *strike*, no se ejercería la opción, perdiendo únicamente la prima y limitando así el riesgo de pérdida. En términos globales, como cobertura establece un suelo a las pérdidas a cambio de un techo a las ganancias.

### Sin cobertura

En caso de incremento de la temperatura encuentra un techo a los beneficios por motivos de capacidad ya conocidos: el número de hamacas es fijo, no se puede ampliar y, por tanto, existirá un máximo en los ingresos generados. Por otro lado, si caen las temperaturas la reducción en los ingresos es muy acentuada. Es la situación más volátil, más arriesgada de todas.



**Gráfico 24. Resumen de las diferentes estrategias de cobertura.**

Fuente: elaboración propia.

### Recomendación

A la vista de los resultados obtenidos, el hecho de disponer de una capacidad máxima en el negocio que actúe como factor limitante de los ingresos en un nivel de temperatura promedio en torno a los 28°C (no exageradamente alta), hace que la estrategia de cobertura más acertada para este empresario sea la posición larga sobre una opción Put CDD. En este caso, se garantizan unos umbrales máximos y mínimos de ingresos, más o menos controlables gracias a la posibilidad que tiene de ejercer dicha opción o no. Así, compensaría dejar de obtener beneficios en caso subidas de las temperaturas (en comparación con la situación sin cobertura), a cambio de fijar un suelo a las pérdidas en caso de bajada de las mismas. Por lo tanto, el negocio deberá determinar, antes de tomar una decisión sobre derivados, en qué umbral de temperatura promedio se sitúa su límite superior de ingresos por saturación en su capacidad.

## 7. CONCLUSIONES

La exposición de los resultados empresariales al riesgo clima, sea de forma directa o indirecta, es un hecho. Por ello, los derivados sobre clima, todo y que no son nuevos, presentan a día de hoy una alternativa de gestión del riesgo con enorme recorrido. Aún así, estos derivados se caracterizan por ser poco conocidos, especialmente en nuestro entorno, además de ser, no se olvide, productos complejos y aún recuperándose de la mala prensa que los derivados financieros soportaron tras la irrupción de la crisis financiera.

Por otro lado, son aún pocos los mercados organizados especializados en este grupo de derivados (CME y LIFFE), debiendo recurrirse a contratos OTC para cubrir según qué tipo de riesgo climático y/o localización geográfica. Por ello, los usuarios de estos derivados deberán controlar el posible riesgo de crédito asociado a los contratos en estos mercados no organizados.

Además, los contratos en dichos mercados organizados están referenciados a otras divisas distintas al euro, por lo que el contratante deberá tener en cuenta además el riesgo asociado al tipo de cambio. No obstante, y a pesar de todas estas limitaciones, se prevé una expansión en el uso de derivados climáticos en nuestro país, sobre todo teniendo en cuenta el enorme peso específico que tiene el sector servicios sobre el producto interior bruto. Estos productos han de servir para añadir una nueva dimensión en la gestión del riesgo empresarial, haciendo que el riesgo climático deje de tener un impacto incontrolable e inevitable sobre los ingresos. Las empresas que incorporen los derivados climáticos en su gestión global del riesgo serán percibidas como más innovadoras y atractivas, además de tener un mayor control sobre los resultados empresariales. Este mayor control puede derivar en una mayor salud y estabilidad financiera, permitiendo así un mejor acceso al crédito o al capital de nuevos inversores.

Más allá de las indudables ventajas asociadas a los derivados climáticos (más flexibles que otros productos como los seguros), cabe tener en cuenta que los agentes interesados en los mismos deben previamente analizar con rigor la relación existente entre la variable climática de la que desean cubrirse y los ingresos de explotación de sus actividades. Dicho análisis debe además tener en cuenta el denominado "riesgo base", asociado a la distancia geográfica que puede existir entre la estación meteorológica de referencia en el contrato y la ubicación exacta de la actividad económica a cubrir.

Un último aspecto a considerar, y derivado del caso práctico expuesto en este trabajo, es la necesidad de definir bien si la actividad a cubrir presenta limitaciones en su capacidad de generar ingresos, y si esta limitación está asociada a la variable climática que se utilice como subyacente en el derivado.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bacchini, D. (2009). Introducción a los Derivados Climáticos. <http://documents.mx/documents/introduccion-a-los-derivados-climaticos-act-r-dario-bacchini-rdariobacchinigmailcom.html>.
- Benth, F. E. (2010). Weather Derivatives: Modeling and Pricing. *Weather Derivatives and Risk, Berlin*, 27-28.
- Botoş, H. M., & Ciumaş, C. (2012). The use of the Black-Scholes Model in the Field of Weather Derivatives. *Procedia Economics and Finance*, 3, 611-616.
- Brockett, P. L., Wang, M., & Yang, C. (2005). Weather derivatives and weather risk management. *Risk Management and Insurance Review*, 8(1), 127-140.
- Buerkle, T. (2005). "Malawi facing serious food crisis. More than 4.2 million people in need of assistance". FAO Newsroom. <http://www.fao.org/Newsroom/en/news/2005/107298/index.html>.
- Cao, M., & Wei, J. (2004). Weather derivatives valuation and market price of weather risk. *Journal of Futures Markets*, 24(11), 1065-1089.
- Calvo, M. A. M. Matemáticas en Wall Street: la fórmula de Black-Scholes. Departamento de Matemáticas. Universidad de Vigo. <http://mmiras.webs.uvigo.es/Webpersonal/docusPDF/lugo.pdf>.
- CME Group (2009). "Weather products. Managing global weather exposures. Growing opportunities. Reducing risks". <https://www.celsiuspro.com/Portals/0/Downloads/CMEWeatherProductsBrochure.pdf>.
- Comisión Nacional del Mercado de Valores (2006). "Qué debe saber de opciones y futuros". Elaborado con la colaboración de MEFF.
- Considine, G. (2000). Introduction to weather derivatives. *Aquila Energy*, [http://www.cmegroup.com/trading/weather/files/WEA\\_intro\\_to\\_weather\\_der.pdf](http://www.cmegroup.com/trading/weather/files/WEA_intro_to_weather_der.pdf).
- De Paz Cobo, S. (2004). Derivados vinculados al seguro. Universidad Pontificia de Salamanca, Facultad del CC del Seguro, Madrid, España.
- EGAR Tech: "EGAR's Model for pricing Weather HDD and CDD swaps and options". [http://www.egartech.com/contents/att/eGAR\\_Weather\\_Derivatives\\_Model.pdf](http://www.egartech.com/contents/att/eGAR_Weather_Derivatives_Model.pdf)
- Ferrer, V. P. (2005). Derivados sobre subyacente no negociable: Valoración de una opción sobre meteorología. Trabajo de investigación del Programa de

Doctorado en Finanzas Cuantitativas., nº5. Universidad Complutense de Madrid, Universidad del País Vasco y Universidad de Valencia.

- Hull, J. (2009). "Introducción a los mercados de futuros y opciones". Editorial Pearson Prentice Hall. Sexta edición.
- Estrada, J. (2006). *Finanzas en pocas palabras: un compañero eficiente para las herramientas y técnicas financieras*. Prentice Hall, Pearson Education.
- Gray, S., & Place, J. (1999). Financial derivatives. Handbooks in Central Banking, nº 17. Centre for Central Banking Studies. Bank of England.
- Henríquez Vega, P. J. (2012). Derivados climáticos: valorización de opciones sobre precipitaciones.  
[http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111524/cf-henriquez\\_pv.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111524/cf-henriquez_pv.pdf?sequence=1).
- Lumbreras Sancho, S., & Lucas del Portillo, J. (2012). Una introducción a los mercados de futuros y opciones. *Anales de Mecánica y electricidad*. Enero-febrero, 2012, pp. 28-35.
- Maqueda, S. (2015). "Derivados climáticos y seguridad alimentaria". Centro Schumpeter. <http://www.centroschumpeter.org/2015/04/derivados-climaticos-seguridad-alimentaria/>.
- Martín López, S. "Simulación de Monte Carlo". <http://www.expansion.com/diccionario-economico/simulacion-de-monte-carlo.html>.
- Massot Perelló, M. (2011). "Bloque temático 2: Forwards y futuros". Apuntes de la asignatura "Gestión de Riesgos Empresariales", de tercer curso del Grado en Administración de Empresas . Universidad de las Islas Baleares.
- Müller, A., & Grandi, M. (2000). Weather derivatives for protection against weather risks. *The Geneva Papers on Risk and Insurance, Abril, 25(2)*, 273-287.
- Puerta, A. L. (2005). Derivados de riesgo de crédito. tipos y utilidades. *Documentos de trabajo en finanzas de empresas*, (6), 1.
- Pueyo, J. G. (2009). *Organización de los mercados de derivados y las cámaras de contrapartida central*. Comisión Nacional del Mercado de Valores.
- Ross, S., Westerfield, R., & Jordan, B. (2010). Fundamentos de Finanzas Corporativas, Novena Edición, Editorial Mc Graw Hill. México, DF.
- Salice, M. J. (2013). Derivados climáticos: perspectiva institucional y financiera. In *XVII Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del*

*Estado y de la Administración Pública (Cartagena, Colombia, 30 de octubre al 2 de noviembre de 2012).*

- Triana, P. (2011). Porqué hay que tomarse en serio el riesgo clima. *Bolsa: revista mensual de bolsas y mercados españoles*, (187), 64-67.
- Triana, P. (2011): "Gestión del Riesgo Climático". Publicaciones de BME. [http://www.magrama.gob.es/es/enesa/publicaciones/bme-clima\\_tcm7-395404.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/enesa/publicaciones/bme-clima_tcm7-395404.pdf).
- Vázquez, L. V., & Fronti, J. G (2010). Cobertura utilizando derivados de temperatura: Un ejercicio de valuación de un Put sobre CDD para la zona de Chos Malal (Neuquén). [http://www.econ.uba.ar/www/institutos/cma/Publicaciones/innovaciones\\_financieras/B%20-%20Algunas%20Innovaciones%20Financieras.pdf](http://www.econ.uba.ar/www/institutos/cma/Publicaciones/innovaciones_financieras/B%20-%20Algunas%20Innovaciones%20Financieras.pdf)
- Villamil, J. (2006). Modelos de valoración de opciones europeas en tiempo continuo. *Cuadernos de Economía*, 25(44), 177-196.
- Zeng, L. (2000). Pricing weather derivatives. *The Journal of Risk Finance*, 1(3), 72-78.

*Principales páginas web consultadas:*

- Agencia Estatal de Meteorología: [www.aemet.es](http://www.aemet.es)
- Banco Mundial: [www.bancomundial.org](http://www.bancomundial.org)
- Bolsas y Mercados Españoles. Sección de Clima: [www.bmeclima.es](http://www.bmeclima.es)
- Chicago Mercantile Exchange: [www.cmegroup.com](http://www.cmegroup.com)