

Gestión del riesgo climático mediante derivados. Aplicación al sector de líneas aéreas en México y España

Ignacio López Domínguez, Rebeca Velázquez Boeta

Universidad Complutense de Madrid, España
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México

El propósito de esta investigación es analizar la utilización de derivados climáticos como cobertura de dicha fuente de riesgo, tanto en el mercado español como en el mercado mexicano. Como objetivo, se busca minimizar el impacto negativo sobre las actividades económicas de las empresas de cada mercado ante el comportamiento del clima. Para ello, se identificó el riesgo climático de las empresas mexicanas y españolas del sector de líneas aéreas, se analizó la gestión del mismo riesgo mediante el empleo de derivados climáticos, y se finalizó con un estudio comparativo de la mejora de la gestión de las compañías respectivas tras la utilización de tales productos. La conclusión más relevante es que la implementación funciona mejor en el sector mexicano, ya que es más sensible al clima. En el caso de España, se percibe una mejora en la calidad de enfrentamiento de riesgos climáticos; sin embargo, es necesario mantener una administración de riesgo climático con el fin de minimizar la incertidumbre por el cambio climático.

Palabras clave: riesgo climático, derivados climáticos, administración del riesgo, líneas aéreas, España, México

Climate risk management through derivatives. Application to the airline sector in Mexico and Spain

The purpose of this research is to analyze the use of weather derivatives as a hedge of this source of risk, both in the Spanish and the Mexican market, in order to minimize the negative impact that



<https://doi.org/10.18800/contabilidad.202202.008>

Contabilidad y Negocios (17) 34, 2022, pp. 184-210 e-ISSN 2221-724X

the economic activities of the companies in each market have on the behavior of the weather. In order to this, first we identify the weather risk suffered by Mexican and Spanish companies of the airline industry, analyze the management thereof through the use of weather derivatives, and conclude with a comparative study of the improvement of the management of these companies after the use of said products. The most relevant conclusion is that the implementation works better in the Mexican sector since it is more sensitive to weather. In the case of Spain, there is an improvement in the quality of dealing with weather risks; however, it is necessary to maintain an administration of weather risk in order to minimize the uncertainty caused by climate change.

Keywords: weather risk, weather derivatives, risk management, airlines, Spain, Mexico

Gestão de risco climático por meio de derivativos. Aplicação ao setor aéreo no México e na Espanha

O objetivo desta pesquisa é analisar o uso de derivativos climáticos como cobertura desta fonte de risco, tanto no mercado espanhol quanto no mercado mexicano, a fim de minimizar o impacto negativo das atividades econômicas das empresas de cada mercado para comportamento do tempo. Para isso, identificamos o risco climático sofrido pelas empresas mexicanas e espanholas do setor aéreo, analisamos sua gestão através do uso de derivativos climáticos e concluimos com um estudo comparativo da melhoria da gestão dessas empresas após o uso de ditos produtos. A conclusão mais relevante é que a implementação funciona melhor no setor mexicano por ser mais sensível ao clima. No caso da Espanha, percebe-se uma melhora na qualidade do enfrentamento dos riscos climáticos, no entanto, é necessário manter a gestão dos riscos climáticos para minimizar as incertezas decorrentes das referidas mudanças climáticas.

Palavras-chave: risco climático, derivativos climáticos, gestão de risco, companhias aéreas, Espanha, México

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de mejorar su calidad de vida, la humanidad ha lidiado con problemas sociales, ambientales y económicos que han tenido lugar desde la primera revolución industrial, durante la cual surgieron el motor a vapor y la construcción de ferrocarriles, por mencionar algunos ejemplos. Los avances científicos y tecnológicos continuaron en la segunda revolución industrial, durante la cual se implementó el sistema basado en la fabricación en línea. Más adelante, la tercera revolución industrial se caracterizó por la llegada del internet y las computadoras, así como por la facilitación de los procesos organizacionales con el fin de incrementar los niveles de producción de esa época y de

poder cubrir la demanda de bienes. Finalmente, con la llegada del siglo XXI, surge la cuarta revolución industrial (Schwab, 2016) con la llegada de los teléfonos inteligentes o *smartphones*, tabletas, redes sociales, y tecnologías exponenciales. Además, se ha fortalecido el crecimiento de la economía y se ha intensificado la producción debido al desarrollo y avance de tecnologías, y al tratamiento de grandes volúmenes de datos e información. Estos cambios han provocado transformaciones radicales en productos, servicios, modelos de negocios, así como en sectores como la salud, educación y seguridad, entre otros. Actualmente, se presenta una tendencia tecnológica innovadora para esta y las futuras generaciones, que permite obtener un crecimiento económico acelerado para tener una mejor calidad de vida (Martínez, 2016).

Mientras la humanidad ha buscado mejorar su calidad de vida enfocándose en combatir los problemas a los que se enfrenta, paralelamente, parte de la sociedad reconoce los problemas ambientales como un aspecto que pone en peligro la calidad de vida conseguida (European Environment Agency, 2020). En efecto, las actividades humanas han cambiado debido al desarrollo económico e industrial. Algunas de las consecuencias de los cambios son la explotación de los bosques, las tierras y los recursos naturales, y el empleo de combustibles fósiles. Estos excesos han transformado el comportamiento del clima en el planeta. Dicho efecto es conocido como «cambio climático», que implica el aumento de la temperatura del planeta y del nivel del mar, lo que conlleva al agravamiento de fenómenos naturales como huracanes, lluvias, heladas, nevadas, etc. (United Nations, 2021). Estas consecuencias impactan negativamente en las actividades sociales y económicas. Entonces, perturban la calidad de vida, pues afectan a todos los sectores económicos: tanto primarios (agrícolas, ganaderos) como terciarios (servicios tales como turismo y demás empresas que interactúan con el clima), tanto a la producción como a los resultados (Monjas, 2010). En definitiva, cualquier agente económico que pueda sufrir pérdidas derivadas del comportamiento de una o varias variables meteorológicas enfrenta riesgo climático. Tal es el caso de empresas o entidades públicas cuyos ingresos se ven reducidos o cuyos costos se ven incrementados si, por ejemplo, llueve más o menos, hace más o menos frío, o la velocidad del viento es más o menos acelerada. Algunos autores concluyen que más del 80% del negocio mundial depende del factor del clima (Müller & Grandi, 2000). Otras estimaciones menos alarmistas señalan que un tercio de la economía nacional está directamente afectada por el clima (Brockett et al., 2005). Estos mismos autores han efectuado aproximaciones sobre la exposición al riesgo del clima de las principales regiones económicas mundiales. Entre otros planteamientos, afirman que las compañías americanas tienen una cantidad expuesta en torno a un trillón de USD en ingresos anuales, mientras que las europeas y las japonesas exponen

1,25 trillones y 700 billones respectivamente. El propio Departamento de Energía de Japón ha llegado a afirmar que la séptima parte de la economía nacional estaría sujeta al riesgo climático (Hull, 2009).

En lo que refiere a sectores específicos, López Domínguez y Velázquez Boeta (2020) ya han estudiado el impacto del riesgo climático en la actividad económica de las aerolíneas. Principalmente, concluyen que todas las actividades tienen una gran sensibilidad ante el clima debido a la interrelación que presentan las actividades productivas entre sí. Por ello, proponen que la adaptación a los cambios climáticos es necesaria para poder minimizar la vulnerabilidad (sensibilidad) de las actividades, pues en el largo plazo el impacto será mayor.

Por todo lo anterior, en esta investigación se identifica como problema de estudio el riesgo climático que sufren las empresas mexicanas y españolas del sector de líneas aéreas. Se analiza la gestión de dicho riesgo mediante el empleo de derivados climáticos. Finalmente, se propone un estudio comparativo de la mejora de la gestión de dichas compañías tras la utilización de tales productos.

Un producto derivado se puede definir como un instrumento financiero cuyo precio o valor depende o se deriva del valor o precio de otro u otros activos subyacentes (López Domínguez, 1995). Por su parte, los derivados climáticos son instrumentos financieros cuyo activo subyacente es el clima. En ese sentido, es un contrato realizado en una región determinada y que tiene vigencia durante un período contractual establecido. Los contratos de los derivados del clima relacionan un evento específico y pueden ser emitidos según variables del clima definidos, tomando simples o múltiples eventos del clima (Chantarat et al., 2008).

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA E HIPÓTESIS

En el mercado financiero, las empresas se enfrentan a diversos riesgos que se generan en todos los sectores económicos, ya sean riesgos físicos, químicos, sociales, financieros, e incluso climáticos. Las empresas se enfocan en el mercado que origina la incertidumbre y toman medidas preventivas para poder hacer frente a dichas situaciones. Además, desarrollan estrategias para cubrirse de los riesgos a las que están expuestas.

Esta línea de investigación se basa en los estudios sobre la posible mitigación del riesgo climático en las actividades económicas a través del desarrollo de herramientas financieras innovadoras enfocadas en la cobertura del riesgo climático con el fin de minimizar la incertidumbre en costos y gastos imprevistos que son provocados por el

cambio climático. La relación existente entre el clima y las actividades económicas en diferentes zonas geográficas, así como la cobertura de su impacto mediante derivados climáticos, ya fue analizada por Blom (2009) y Hsiang (2016), entre otros autores. Un estudio a profundidad de las consecuencias de los cambios en el clima en diferentes sectores económicos fue desarrollado por Monjas (2010), quien plantea un ejemplo de cobertura en una empresa que opera en el sector de la distribución energética y analiza las diferentes fases del proceso. Por otro lado, Oberst (2017) investiga la utilidad de los derivados climáticos sobre precipitaciones para mitigar el riesgo del productor agrícola. Asimismo, Schlenker y Taylor (2019) analizan el precio de diferentes instrumentos financieros, cuyos resultados dependen de las condiciones climáticas. Por otra parte, Wang et al. (2017) analizan la productividad agrícola en Estados Unidos, provocada por el cambio climático y el clima extremo. Štulec (2017) analiza el impacto del riesgo climático en las ventas minoristas, en concreto, en las ventas de bebidas. Finalmente, Cabrera et al. (2013) analizan el riesgo de asegurar los resultados empresariales sometidos a fluctuación por lluvias torrenciales. Todos los autores mencionados concluyen que el riesgo es menor si se utilizan derivados climáticos frente a la alternativa de no hacerlo. Además, afirman que la cobertura puede ser realizada con un derivado valuado con información histórica.

Sánchez (2011) desarrolla un caso práctico sobre derivados climáticos sobre la lluvia e identifica ventajas sobre los seguros climáticos tradicionales. Por su parte, Whalley y Yuan (2009) realizaron un análisis sobre las implicaciones del calentamiento global a mediano y largo plazo para la evolución de las estructuras financieras globales, las cuales generan innovaciones en el mercado financiero, que se dan, sobre todo, en la expansión del mercado de seguros climáticos. En el estudio, plantean un reenfoque de la principal actividad financiera, lejos de la intermediación entre prestatarios y prestamistas, y la facilitación de la acumulación de activos, y hacia un enfoque en acuerdos de seguros y la diversificación de riesgos asociados con el cambio climático.

El análisis desarrollado de las anteriores investigaciones sobre el impacto del clima en las actividades económicas sugiere que el empleo de derivados climáticos se enfoca básicamente en los sectores agrícola y energético, seguidos del sector de alimentos. Más allá del sector, en este trabajo, se busca demostrar que se deduce un resultado positivo por el empleo de los derivados climáticos. En definitiva, se considera que el empleo de derivados climáticos como cobertura del riesgo climático es algo factible y va extendiéndose paulatinamente.

La hipótesis principal que se busca validar consiste en que, a través del análisis sobre la utilización de derivados climáticos como herramienta para la cobertura de esta fuente de riesgo, se logrará minimizar el impacto negativo en las actividades económicas de las empresas del sector líneas aéreas tanto en el mercado español como en el mercado mexicano. Como hipótesis secundaria, se puede señalar que, a través de la comparación entre los mercados mencionados, son viables la implementación del derivado climático y las ventajas que trae consigo en cada mercado.

2.1. Comparación de mercados

En esta investigación, se realiza una comparación sobre la implementación del derivado climático entre el mercado español y el mexicano con el fin de identificar la viabilidad de dicha implementación y detectar las ventajas que trae consigo el derivado climático en cada mercado. Además, con dicha comparación, se logrará identificar qué mercado puede llegar a adaptarse mejor y más rápido a los cambios climáticos con ayuda de los derivados climáticos como cobertura. Así, se valorarán las ventajas que tiene un mercado respecto del otro. De esta forma, se analizarán las mejoras pertinentes para cada mercado.

3. METODOLOGÍA

3.1. Identificación del riesgo climático en las empresas del subsector líneas aéreas

En esta sección, se identifican los riesgos climáticos expuestos de las empresas del sector de transportes, específicamente, del subsector líneas aéreas que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) y en la Bolsa de Madrid (BM). Para ello, se decidió analizar el comportamiento del clima a través de la precipitación que existe en cada región con el objetivo de medir la sensibilidad de los resultados de las empresas frente a ese comportamiento. Así mismo, se seleccionó el sector de líneas aéreas debido a que las empresas que pertenecen a este se ven afectadas directamente por la naturaleza de su actividad, y por la sensibilidad que tienen los costos de administración y mantenimiento ante cambios anómalos del comportamiento del clima, así como por la facilidad de acceso a su información.

En el caso del mercado español, se analizan las operaciones de la empresa controladora International Airline Group (en adelante, IAG). IAG fue el resultado de la unión de Iberia y British Airways, que en su actual composición incorpora, además de estas dos aerolíneas, otras como Aer Lingus, Level y Vueling Airlines. Se analizaron los periodos de lluvia para calcular la sensibilidad que tienen frente al comportamiento del clima.

En el caso de México, las empresas analizadas son Grupo Aeroméxico, S.A.B. de C. V.; Controladora Vuela Compañía de Aviación, S.A.B. de C. V.; y ABC Aerolíneas, S.A. de C. V. Las aerolíneas seleccionadas, cuya respuesta se busca observar ante situaciones climáticas de precipitaciones que pudieran afectar su normal funcionamiento, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Empresas analizadas

Razón social	Aerolínea
Iberia, Líneas Aéreas de España, S.A.	Iberia
Vueling Airlines, S.A.	Vueling
Grupo Aeroméxico, S.A.B. de C. V	Aeroméxico
Controladora Vuela Compañía de Aviación, S.A.B. De C. V	Vuela
ABC Aerolíneas, S.A. de C. V	Interjet

3.1.1. Exposición y sensibilidad al riesgo climático

El análisis de sensibilidad del impacto y exposición inicia con la estimación de la demanda de vuelos de las aerolíneas basada en datos históricos, con el fin de dimensionar los ingresos que podrán recibir o no las empresas por cada punto de desviación frente al promedio trimestral de precipitación. Para poder medir la exposición y sensibilidad, se determinó una regresión lineal múltiple para poder estimar el comportamiento de la demanda de pasajeros respecto de cambios en el comportamiento del promedio de precipitación. En el caso de España, la información se obtuvo de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística (en adelante, INE) y la Agencia Estatal de Meteorología (en adelante, AEMET). En el caso de México, la información se obtuvo de la Comisión Nacional del Agua (en adelante, Conagua) y el Servicio Meteorológico Nacional (en adelante, SMN).

La regresión múltiple toma en cuenta como variable dependiente la demanda de pasajeros en la ciudad con más afluencia en cada país: en el caso de España, es el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas; en el caso de México, es el Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México. La demanda se obtuvo recopilando el número de pasajeros por el número de vuelos ocurridos entre los años 2004 y 2018 de manera trimestral. Las variables independientes (ver tabla 2) fueron calculadas por el INE en el caso de España; en el caso de México, fueron calculadas por la Conagua, el SMN, y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Tabla 2. Variables independientes

Variables independientes-España	Variables independientes-México
Precipitación trimestral de España (mm)	Precipitación trimestral de México (mm)
PIB industrial (índice) trimestral	PIB industrial (índice) trimestral
Pasajeros transportados (trimestral)	Índice nacional trimestral de precios al productor
Índices de precios del sector servicios por sectores	Índice de productividad del sector transportes
Índice trimestral de precios industriales (precios al productor)	Índice trimestral de gastos del sector transportes

Todos los datos fueron tomados en cuenta para conservar, en lo posible, la homogeneidad de los datos a analizar en la regresión múltiple entre los años 2004 y 2018 de manera trimestral. Se utilizó el programa estadístico EViews 7 de la paquetería Microsoft Windows, usado para análisis econométrico, con el fin de ejecutar la regresión múltiple tomando en cuenta las variables explicadas anteriormente. En esta regresión, se analizan ciertas pruebas estadísticas con el fin de asegurar la certeza del modelo respecto de la estimación de las variables. Las pruebas son las siguientes:

- R^2 significativa
- Prueba de multicolinealidad con valor p de parámetros significativos
- Prueba de normalidad de Jarque-Bera (mayor a la distribución X^2 , con 2 grados de libertad [valor en tablas de X^2 , 5,99] y valor p significativa)
- Prueba de normalidad de Anderson-Darling (mayor a valor p 0,05)
- Prueba de normalidad de Kolmogórov (mayor a valor p 0,05)
- Prueba de heterocedasticidad de White con datos cruzados y no cruzados (mayor a valor p 0,05% y prueba distribución F significativa)
- Prueba de autocorrelación con parámetros significativos a las bandas de confianza
- Prueba de estabilidad mediante la prueba de cuadrados CUSUM, en la que el modelo no debe sobrepasar las bandas de confianza

Si el modelo econométrico logra pasar las pruebas mencionadas anteriormente, se entenderá que los coeficientes de la ecuación de la regresión indican un porcentaje de explicación respecto de la variable dependiente.

3.1.2. Sensibilidad de costos y gastos operativos

En esta sección, se analiza la sensibilidad de los costos y gastos operativos frente a los cambios en el clima. Para ello, se toman en cuenta las variables como costos y gastos, tanto operativos como administrativos, con el fin de identificar y analizar el impacto que tiene el clima en las actividades operativas.

3.2. Método

3.2.1. Gestión del riesgo climático

En esta sección, se cuantificará el impacto del cambio climático en las empresas a través de escenarios simulados. Este método permite a las empresas predecir, comparar y optimizar el comportamiento de sus procesos simulados sin recurrir al costo real. Esto permite la representación de los procesos, recursos, productos y servicios en un modelo dinámico (Fullana & Urquía Grande, 2009) que proyecta alternativas sobre el posible impacto de los riesgos expuestos. La estrategia para administrar el riesgo climático se basa en la implementación de un futuro cuyo subyacente es el promedio de la precipitación. Se analizan tres posibles escenarios en los que se proyectan las estimaciones sobre la demanda, y los costos de mantenimiento y de administración realizados a través de las regresiones múltiples respecto del impacto sobre el posible comportamiento del clima.

3.2.2. Simulación de escenarios simulados ante cambios anómalos en el promedio de precipitación

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés; Pachauri & Reisinger, 2007) presenta evidencias sobre cambios en el clima, mediante las que afirma que los fenómenos meteorológicos se volverán más frecuentes y graves a largo plazo como consecuencia del cambio climático. Por esta razón, se analizan tres escenarios críticos en los que el promedio de precipitación aumenta, disminuye y se mantiene respecto de su media histórica. De esta manera, se pondrá a prueba el impacto que puede tener el comportamiento del clima en las operaciones de las empresas del subsector líneas aéreas. A continuación, se exponen los tres escenarios analizados.

- *Escenario 1: el promedio de la lluvia sube respecto de su media.* Este acontecimiento se presenta cuando, en la temporada de lluvias, a causa del cambio climático, las lluvias se intensifican frente a años anteriores. Esto deriva en huracanes, ciclones e incluso ondas gélidas. Dichos fenómenos provocan un cambio en la demanda hacia la baja. Entonces, los consumidores se ven desincentiva-

dos a comprar boletos debido al mal clima. Esto produce costos adicionales a la empresa, que implica que su margen comercial (utilidad) se vea afectado.

- *Escenario 2: el promedio de la lluvia se mantiene respecto de su media.* Este escenario se presenta cuando el comportamiento del clima es similar a los años anteriores. Entonces, el riesgo al que las aerolíneas están expuestas es menor frente al escenario 1.
- *Escenario 3: el promedio de la lluvia disminuye respecto de su media.* Este escenario se presenta cuando la temporada de lluvias no es tan intensa, por lo que los consumidores se ven incentivados a viajar y, por consiguiente, la demanda de boletos aumenta. Sin embargo, la capacidad instalada de las aerolíneas puede no cubrir la demanda, lo que las llevará a rentar más aviones y contratar más empleados con el fin de cubrir esa demanda adicional. Si bien el aumento en los costos fijos puede ser trasladado a los consumidores, las empresas se encuentran en un mercado competitivo en el que los precios tienden a ser similares a los de la competencia. Entonces, la empresa estaría en riesgo de perder a sus clientes si eleva demasiado el precio del boleto de avión frente a su competencia.

3.2.3. Cuantificación de pérdida potencial

En esta sección, se cuantifica la pérdida obtenida por la simulación de los tres escenarios planteados observando el impacto de los cambios en el clima, es decir, se podrán identificar resultados negativos y positivos provocados por el cambio en el clima. Además, estos resultados se cuantifican como pérdida potencial por cambios en el clima. Por lo tanto, la simulación de los escenarios determinará las áreas con mayor afectación por cambios en el clima.

3.2.4. Implementación de cobertura

En esta sección, se implementan los contratos de derivados climáticos como cobertura contra el comportamiento incierto del clima. Dado que el riesgo climático para las empresas del subsector líneas aéreas es el aumento de cantidad de precipitación, que trae como consecuencia la baja en la demanda y se tienen expectativas de disminución del promedio de precipitación, se considera tomar la posición de venta con el fin de recibir liquidaciones de posiciones favorables, pues la ganancia y la pérdida están limitadas al valor del contrato, siempre y cuando el promedio de precipitación disminuya. Se tomará como base del valor del contrato de derivados, el precio de los contratos negociados en la Bolsa de Chicago (en adelante, CME, por sus siglas en

inglés). En ella, se establece como unidad de contrato «20 USD veces el índice de días de grado CME (Cooling Degree Days [CDD]) respectivo»; en el caso de esta investigación, la unidad de contrato se trata sobre el promedio de precipitación, es decir, cada punto del promedio de precipitación tiene un valor de 20 USD. Además, se multiplicará el valor del promedio de precipitación por los respectivos 20 USD.

Para calcular el ratio de cobertura o número de contratos de derivados necesarios para cubrir la pérdida potencial (López Domínguez, 1995), se dividió la pérdida potencial calculada con el valor del contrato. Con este número de contratos, se compensarán los posibles resultados negativos obtenidos por el comportamiento del clima en las operaciones de las empresas, es decir, las pérdidas obtenidas y los costos adicionales se compensarán por las ganancias obtenidas por el contrato de derivados climáticos. Los mercados de derivados funcionan como mercados de compensación. Adicionalmente, se podrá comprobar la viabilidad de la implementación del derivado climático en cada mercado.

4. RESULTADOS

4.1. Identificación del riesgo climático en las empresas del subsector líneas aéreas

En primer lugar, se analiza el comportamiento histórico de precipitación en España y en México. Madrid presenta un régimen de precipitaciones con variaciones estacionales, con mayor presencia de lluvias en otoño y en primavera. Actualmente, de acuerdo con la AEMET, un aspecto característico de las lluvias en España es su distribución irregular tanto espacial como temporalmente, por lo que resulta interesante analizar los periodos a lo largo del año en los que el déficit o falta de lluvias pueda haber provocado periodos de sequía meteorológica, es decir, aquella debida exclusivamente a la escasez de precipitaciones. Utilizando el índice de precipitación estandarizado (SPI), ampliamente aceptado para este fin, se deduce que la sequía meteorológica que se venía arrastrando a una escala temporal de seis meses desapareció en los primeros meses del año. De acuerdo a dicha escala temporal, el índice está relacionado con la actividad agrícola. Por ello, se deduce que durante el año 2020 la disponibilidad de agua para los cultivos fue suficiente a nivel de España peninsular (AEMET, 2020).

Respecto del mercado mexicano, existe una temporada de lluvias entre los meses de mayo a septiembre, con niveles superiores en los meses de julio a septiembre. A pesar de que en México las lluvias solo son intensas durante estos meses, se analiza el impacto del clima de todo el año. Además, es probable percibir la sensibilidad de los costos ante cambios en el clima. Por los informes analizados se aprecia que, durante

los terceros trimestres (julio-septiembre) de los últimos diez años, el comportamiento de las precipitaciones ha sido anómalo, es decir, el nivel de lluvia no ha presentado una tendencia en el largo plazo y, por lo tanto, no sigue una línea estable. Sin embargo, en el corto plazo, se aprecia una tendencia alcista en el comportamiento de la lluvia, lo que genera incertidumbre sobre el nivel de impacto en las actividades económicas. Por otro lado, desde el análisis de la perspectiva catastrófica, pese al alto crecimiento en el sector de aviación comercial, es importante reconocer la sensibilidad al clima que tiene dicho sector, ya que aumenta la posibilidad de sufrir un percance en la operación mientras más se opera o se vuela.

4.1.1. Exposición y sensibilidad al riesgo climático

Se determinó una regresión lineal múltiple con el fin de estimar el comportamiento de la demanda respecto de cambios en el comportamiento del promedio de precipitación mensual determinado por la Conagua y el SMN en México, y por el INE en el caso de España. Con el programa estadístico EViews 7, se ejecutó el cálculo de una regresión lineal múltiple tomando en cuenta las variables explicadas anteriormente: la demanda de las aerolíneas como variables dependientes tanto para España como para México, y el PIB del sector industrial, el promedio de precipitación mensual y los indicadores correspondientes a cada país como variables independientes. Esto tiene el fin de determinar la relación que guardan las variables respecto de la demanda de pasajeros. Los resultados se aprecian en las figuras 1 y 2, en las que se resaltan el periodo de análisis y el método de mínimos cuadrados utilizado. La ecuación resultante para la regresión en el caso del mercado español fue la siguiente:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5$$

Donde

Y_i = Demanda de pasajeros del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas (DEMANDAMADRID)

β_1 = PIB industrial (índice) trimestral (PIB)

β_2 = Precipitación trimestral de España (lluvia)

β_3 = Pasajeros transportados trimestral (INE)

β_4 = Índice trimestral de precios del sector servicios por sectores (INDICEPSS)

β_5 = Índice de precios al productor (IPP)

Figura 1. Regresión lineal múltiple de demanda de vuelos-España

Dependent Variable: LOG(DEMANDAMADRID)

Method: Least Squares

Date: 03/09/19 Time: 15:59

Sample (adjusted): 2004Q3 2012Q4

Included observations: 32 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	23.94816	1.588261	15.07823	0.0000
LLUVIA	0.001385	0.000454	3.053283	0.0052
PIB	0.016720	0.002864	5.837062	0.0000
IPP(-2)	-0.042023	0.017629	-2.383826	0.0247
INDICEPSS(-2)	0.037700	0.013449	2.803153	0.0094
INE	-2.51E-06	4.26E-07	-5.897225	0.0000
R-squared	0.643833	Mean dependent var		26.77712
Adjusted R-squared	0.575339	S.D. dependent var		0.192459
S.E. of regression	0.125418	Akaike info criterion		-1.146968
Sum squared resid	0.408972	Schwarz criterion		-0.872142
Log likelihood	24.35148	Hannan-Quinn criter.		-1.055871
F-statistic	9.399897	Durbin-Watson stat		1.279085
Prob(F-statistic)	0.000033			

Nota. Regresión obtenida a través del software EViews-7.

La ecuación resultante para la regresión en el caso del mercado mexicano fue la siguiente:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5$$

Donde

Y_i = Demanda de pasajeros del Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México (DEMAMDACDMX)

β_1 = Precipitación trimestral de México (lluvia)

β_2 = PIB industrial (índice) trimestral (PIB)

β_3 = Índice trimestral de gastos del sector transportes (INDGTOS)

β_4 = Índices de precios del sector servicios por sectores (INDICEPSS)

β_5 = Índice de productividad del sector transportes (INPST)

Figura 2. Regresión lineal múltiple de demanda de vuelos-México

Dependent Variable: LOG(DEMANDACDMX)
 Method: Least Squares
 Date: 03/09/19 Time: 17:04
 Sample (adjusted): 2005Q2 2012Q4
 Included observations: 31 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	25.59019	0.415386	61.60579	0.0000
LLUVIA(-2)	-0.000931	0.000291	-3.200076	0.0037
PIB(-5)	1.26E-06	5.40E-07	2.334708	0.0279
INPP(-4)	0.007651	0.003236	2.364205	0.0261
INDGTOS	0.002052	0.000359	5.718433	0.0000
INPST(-4)	-0.018543	0.003837	-4.832385	0.0001
R-squared	0.737491	Mean dependent var		25.55117
Adjusted R-squared	0.684990	S.D. dependent var		0.136349
S.E. of regression	0.076527	Akaike info criterion		-2.130363
Sum squared resid	0.146409	Schwarz criterion		-1.852818
Log likelihood	39.02063	Hannan-Quinn criter.		-2.039890
F-statistic	14.04699	Durbin-Watson stat		2.047578
Prob(F-statistic)	0.000001			

Nota. Regresión obtenida a través del software EViews-7.

Por medio de los modelos econométricos, se obtuvieron las siguientes pruebas:

Tabla 3. Interpretaciones de la regresión lineal

Prueba	Interpretación
Multicolinealidad	Valor menor a 0,05, lo cual ratifica que el modelo es eficiente.
Normalidad de Jarque-Bera	Valor mayor a la distribución X^2 con 2 grados de libertad (valor en tablas de X^2 , 5,99) y valor p significativo, es decir, menores a 0,05%.
Prueba de normalidad de Anderson-Darling	Valor p mayor a 0,05, es decir, es significativo.
Prueba de normalidad de Kolmogórov	Valor p mayor a 0,05, es decir, es significativo.
Prueba de heterocedasticidad de White, con datos cruzados y no cruzados	Valor p mayor a 0,05% y prueba distribución F significativa, es decir, el modelo es eficiente.
Prueba de autocorrelación	Parámetros significativos dentro de las bandas de confianza

Prueba de estabilidad, mediante la prueba de cuadrados CUSUM	Las variables no sobrepasan las bandas de confianza, por lo que dan estabilidad a la estimación de variables.
R² (Correlación entre variables)	Existe una relación positiva entre las variables, por lo que esta prueba es significativa.

Las pruebas efectuadas en cada modelo econométrico revelan que las variables independientes no muestran dependencia entre sí y tienen correlación positiva media, además de estabilidad en las variables. Esto hace eficiente el modelo, es decir, el modelo para la estimación de las variables y su relación entre ellas es confiable.

El análisis de sensibilidad sobre datos históricos arroja los coeficientes de la ecuación de la regresión e indica el porcentaje de explicación respecto de la variable dependiente, es decir, la explicación en la demanda. Por lo tanto, la regresión indica el porcentaje de sensibilidad (cambio) de la demanda respecto de las variables independientes. En síntesis, se manifiesta que, por cada aumento de un punto en el promedio de precipitación, la demanda de pasajeros disminuye 3,70% y 5,20% frente a la elasticidad presentada en el servicio por parte de los consumidores en España y en México respectivamente.

4.1.2. Sensibilidad de costos y gastos operativos

Las operaciones de las empresas del subsector líneas aéreas están expuestas a aumentos de costos debido al comportamiento natural del clima. Sin embargo, esta situación se agrava por cambios anómalos en el clima. La operación de los aviones se ve afectada por el desgaste en piezas como resultado del pavimento mojado, por la corrosión de aluminio por calor, por la caída de granizo, o por las ráfagas de aire intensas que dañan los sistemas del avión y los trenes de aterrizaje. Estas situaciones provocan accidentes como la caída del avión, la pérdida de presión, las colisiones, el fallo mecánico, etc. Entonces, además de generar costos de mantenimiento, el clima puede conllevar a accidentes durante la operación de los aviones.

De acuerdo a la información proporcionada por la Aviation Safety Network (2018), España y México se encuentran dentro de las 25 regiones geográficas que presentan mayor número de accidentes fatales en vuelos comerciales desde 1945 hasta la fecha. Por lo tanto, se entiende que estas regiones son históricamente sensibles a sufrir accidentes fatales. Sin embargo, en la actualidad, la Aviation Safety Network determina también una línea de tendencia hacia la baja en el número de accidentes tanto en España como en México debido al avance de la tecnología y a la mejora en la seguridad de aviación comercial.

Como se ha señalado, las operaciones de las líneas aéreas se vuelven vulnerables al comportamiento del clima, pues propicia pérdidas materiales y monetarias, es decir, se generan costos adicionales por mantenimiento y costos inesperados que son difíciles de contemplar debido al comportamiento del clima. Además de estar expuestas a tales costos, las operaciones de las líneas aéreas también están expuestas a riesgos administrativos. De acuerdo con la Ley de Aviación Civil en México y con las Directrices interpretativas del Reglamento (CE) del Parlamento de la Unión Europea, las líneas aéreas tienen la obligación de realizar compensaciones en caso de que el retraso en vuelos sea superior a una, dos y cuatro horas, y cuando los vuelos son cancelados. Así, se generan costos adicionales.

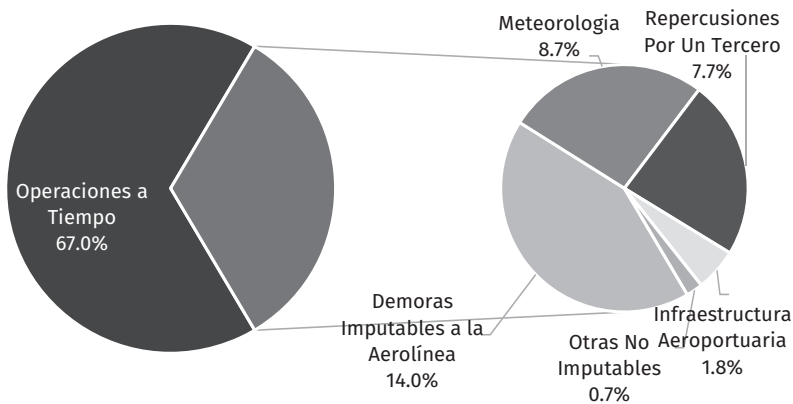
Además, la demanda de vuelos también es afectada debido a cambios en el clima, pues provocan un cambio en la demanda hacia la baja o hacia el alza: los consumidores se ven incentivados o desincentivados a comprar boletos debido al mal clima, lo que conlleva a que la empresa absorba sus costos fijos; entonces, se generan pérdidas y/o las empresas se ven obligadas a disminuir el precio de los boletos de avión. Por otro lado, de acuerdo con datos obtenidos de la Comandancia de la Dirección General de Aeronáutica Civil (Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT] & Comandancia de Aeronáutica Civil, 2018), los costos y gastos tienen gran sensibilidad al comportamiento del clima debido a que el giro central del negocio se desarrolla en el aire. Por lo tanto, cada cambio en el clima trae como consecuencia un gasto adicional.

En cada vuelo es necesario tener información sobre el comportamiento del clima, la temperatura a lo largo de la ruta del vuelo, la humedad, la altura adecuada a la que debe estar el avión, los fenómenos climáticos a los que se podría enfrentar, las turbulencias o corrientes de chorro, la precipitación, la neblina, y la ceniza volcánica, entre otros aspectos. Estos factores pueden tener desde un impacto menor hasta afectar el desempeño completo de la operación. Por ejemplo, cuando se presentan cambios en el comportamiento del clima, como lluvias más intensas o neblina que impide tener buena visibilidad al aterrizar, se pueden generar cambios de ruta que conllevan al consumo adicional de combustible que no estaba previsto. Otro factor importante es el peso del avión, debido a que la temperatura afecta proporcionalmente el peso: a mayor temperatura, menor es el peso de carga y combustible que puede soportar el avión, lo que afecta directamente el rendimiento de la operación. Por ello, el riesgo climático en el sector es esencial.

De acuerdo con las cifras estadísticas del Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México, al cierre del año 2018, se reportó que el 67% de las operaciones se realizan a tiempo, mientras que 33% de las operaciones se realizan con demora.

El Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México detalla las causas por las que existen operaciones con retrasos, como también se muestra en la figura 3. El 14% de las operaciones son consideradas imputables a la aerolínea, como, por ejemplo, en los casos de mantenimiento de las aeronaves, problemas relacionados a la tripulación, boletos sobrevendidos, etc. Por otro lado, el 19% de las operaciones son consideradas no imputables a la aerolínea, como las afectadas por condiciones meteorológicas (9%) debido a neblina en la pista de aterrizaje y despegue, lluvias, nevadas intensas, etc.; las repercusiones por acciones de un tercero (7%), como, por ejemplo, cuando los sucesos son ocasionados por pasajeros antes o durante el abordaje; las relacionadas a infraestructura aeroportuaria (2%), como, por ejemplo, cuando hay fallas en los sistemas del aeropuerto u obstrucción en las pistas; y las relacionadas a otros eventos (1%), como sucesos ocasionales, retrasos en la reposición de combustible o accidentes que podrían llevar a un escenario de fatalidad.

Figura 3. Operaciones con demoras en vuelos



Nota. Tomado de *Memoria Documental DGAC*, por SCT & Comandancia de Aeronáutica Civil, 2018, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); Comandancia de Aeronáutica Civil.

Como se puede apreciar en la figura 3, las condiciones meteorológicas vuelven vulnerables a las operaciones de las líneas aéreas. Por ello, es crucial tomar medidas adaptativas ante dichos cambios en el clima.

4.2. Gestión del riesgo climático

Esta sección trata sobre la gestión del riesgo climático a través de la utilización de instrumentos financieros derivados que se enfocan en la cobertura de repercusiones económicas generadas por la sensibilidad al clima.

4.2.1. Simulación de escenarios

A continuación, se describen los resultados de cada escenario planteado simulando el cambio en el comportamiento del clima. Así mismo, se hace notar que los resultados fueron obtenidos directamente en los estados financieros de las empresas en cuestión, convertidos a USD al tipo de cambio FIX de Banxico por 19.4902 el 8 de marzo del 2019, así como al tipo de cambio proporcionado por el Banco Central Europeo (BCE) por 1.1222 el mismo día.

Escenario 1: el promedio de la lluvia sube respecto de su media.

El análisis inicia con la estimación de los cambios en la demanda de cada aerolínea con el fin de dimensionar los ingresos que podría recibir o no cada empresa (ver tabla 4). Se estima un cambio en la demanda a la baja del 3,70% y 5,20% para México y España respectivamente (ver tabla 4 para México y tabla 5 para España) sobre la base de la regresión lineal múltiple calculada anteriormente. Esto se debe a la baja elasticidad presentada en el servicio por parte de los consumidores, es decir, la demanda no es tan sensible ante el cambio en el comportamiento del clima.

Tabla 4. Disminución en la demanda de pasajeros-México

Aerolínea	Pasajeros de vuelos de 2018-miles de USD	Disminución estimada en la demanda		Ingresos estimados por disminución en la demanda-miles de USD
		A	B	A*B= Δ demanda
Aeroméxico	3.605,094	3,7%	133,388	3.471,705
Vuela	1.400,960	3,7%	51,836	1.349,125
Interjet	1.219,844	3,7%	45,134	1.174,710

Tabla 5. Disminución en la demanda de pasajeros-España

Aerolínea	Pasajeros de vuelos de 2018-miles de USD	Disminución estimada en la demanda		Ingresos estimados por disminución en la demanda-miles de USD
		A	B	A*B= Δ demanda
Iberia	5.815,240	5,2%	302.393	5.512,848
Vueling	2.691,036	5,2%	139.934	2.551,102

En este escenario, se estima que, al subir el promedio de lluvia, la demanda disminuye un 3,7% y 5,2% respectivamente (por la incidencia en los accidentes que se presen-

tan cuando hay mal clima) respecto de la demanda histórica. Ante condiciones climáticas adversas, la disminución en la demanda (que es entendida como la compra de viajes por parte de los clientes) es producida por los accidentes (entendidos como un problema de las aeronaves por colisión u otro tipo de azar que impida que funcionen).

Escenario 2: el promedio de la lluvia se mantiene respecto de su media.

El riesgo al que las aerolíneas están expuestas es menor respecto del escenario 1. La estrategia implementada en derivados climáticos como cobertura no traerá ni pérdidas ni ganancias, mientras que las empresas mantendrán su margen comercial. Por lo tanto, la demanda no cambiará o no será muy sensible al clima debido a su comportamiento similar. Sin embargo, sí cambiará debido a otros factores, tales como el crecimiento del sector, o gustos y preferencias de los consumidores (en este caso, pasajeros). Como se muestra en la tabla 6, el riesgo disminuye y las empresas solo se enfrentan a los cambios habituales de la demanda. No se trata realmente de un escenario de cambio, puesto que no se da como tal. Es, en realidad, la referencia para comparar los otros dos escenarios que sí plantean alteración climática. Eso se manifiesta en la mínima diferencia existente entre los valores de la columna 2 de las tablas 6 y 7, y la equivalente en las tablas 4 y 5 (escenario 1), y las tablas 8 y 9 (escenario 3).

Tabla 6. Demanda pasajeros en el escenario 2-México

Aerolínea	Pasajeros de vuelos de 2018-miles de USD
Aeroméxico	3.605,093
Vuela	1.400,960
Interjet	1.219,843

Tabla 7. Demanda pasajeros en el escenario 2-España

Aerolínea	Pasajeros de vuelos de 2018-miles de USD
Iberia	5.815,240
Vueling	2.691,035

Escenario 3: el promedio de la lluvia disminuye respecto de su media.

Para el análisis de este escenario, se parte de la estimación del cambio en la demanda de cada aerolínea con el fin de dimensionar los ingresos que podrá recibir cada empresa. Para este escenario, se estima que, al bajar el promedio de lluvia, la demanda aumentará un 3,70%, debido a que el clima incentivará a la gente a viajar o usar los servicios aéreos, siguiendo la elasticidad de la demanda por parte de los consumidores, como se muestra en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. Aumento en la demanda de pasajeros-México

Aerolínea	Pasajeros de vuelos de 2018-miles de USD	Aumento estimado en la demanda		Ingresos estimados por aumento en la demanda-miles de USD
	A	B	A*B= Δ demanda	Δ demanda-A
Aeroméxico	3.605,094	3,70%	133.388	3.738,482
Vuela	1.400,961	3,70%	51.836	1.452,796
Interjet	1.219,844	3,70%	45.134	1.264,978

Tabla 9. Aumento en la demanda de pasajeros-España

Aerolínea	Pasajeros de vuelos de 2018-miles de USD	Aumento estimado en la demanda		Ingresos estimados por aumento en la demanda-miles de USD
	A	B	A*B= Δ demanda	Δ demanda-A
Iberia	5.815,240	3,70%	215,164	6.030,404
Vueling	2.691,036	3,70%	99,568	2.790,604

4.2.2. Cuantificación de pérdida potencial

Escenario 1: el promedio de la lluvia sube respecto de su media.

Si bien las empresas tienen un costo fijo, cuando la demanda baja, el costo fijo debe ser absorbido por la empresa. Esto implica que el margen comercial (utilidad) de la empresa se vea afectado, como se muestra en la tabla 10. Por ello, se toma en cuenta el costo comercial para calcular la pérdida potencial en cada aerolínea. Sobre la base del análisis de sensibilidad mencionado anteriormente, se obtiene una sensibilidad de los costos y gastos operativos del 9% (ver las tablas 10, 11, 12 y 13) frente al comportamiento del clima. De esta forma, el aumento de costos y la disminución en la demanda generan una pérdida potencial para las aerolíneas.

Escenario 3: el promedio de la lluvia disminuye respecto de su media.

Si bien el costo fijo de las empresas se incrementará por la demanda de los consumidores, dicho costo también será absorbido por la empresa. Esto implica que el margen comercial (utilidad) de la empresa se vea afectado, como se muestra en la tabla 12. Por ello, se toma en cuenta el costo comercial para calcular la pérdida potencial en cada empresa analizada.

Tabla 10. Pérdida potencial en el escenario 1-México

Aerolínea	Ingresos estimados por disminución en la demanda-miles de USD	Costo y gastos operativos de 2018-miles de USD	Aumento en costos y gastos operativos (9%)	Margen comercial-miles de USD	Pérdida potencial-miles de USD
	C	D	D-9%	C-D=MC	C+MC=PP
Aeroméxico	3.738,482	2.960,462	3.226,904	511,579	644,967
Vuela	1.452,796	1.414,249	1.541,532	-88,736	140,571
Interjet	1.264,978	1.333,080	1.453,057	-188,079	233,214

Tabla 11. Pérdida potencial en el escenario 1-España

Aerolínea	Ingresos estimados por disminución en la demanda-miles de USD	Costo y gastos operativos de 2018-miles de USD	Aumento en costos y gastos operativos (9%)	Margen comercial-miles de USD	Pérdida potencial-miles de USD
	C	D	D-9%	C-D=MC	C+MC=PP
Iberia	5.512,848	4.810,871	5.445,906	66,941	369,334
Vueling	2.551,102	2.162,479	2.447,927	103,175	243,109

Tabla 12. Pérdida potencial en el escenario 3-México

Aerolínea	Ingresos estimados por aumento en la demanda-miles de USD	Costo y gastos operativos de 2018-miles de USD	Aumento en costos y gastos operativos (9%)	Margen comercial-miles de USD	Pérdida potencial-miles de USD
	C	D	D-9%	C-D=MC	C+MC=PP
Aeroméxico	3.738,482	2.960,462	3.226,904	511,579	644,967
Vuela	1.452,796	1.414,249	1.541,532	-88,736	140,571
Interjet	1.264,978	1.333,080	1.453,057	-188,079	233,214

Tabla 13. Pérdida potencial en el escenario 3-España

Aerolínea	Ingresos estimados por aumento en la demanda-miles de USD	Costo y gastos operativos de 2018-miles de USD	Aumento en costos y gastos operativos (9%)	Margen comercial-miles de USD	Pérdida potencial-miles de USD
	C	D	D-9%	C-D=MC	C+MC=PP
Iberia	6.030,404	4.810,871	5.445,906	584,498	799,662
Vueling	2.790,604	2.162,479	2.447,927	342,677	442,246

4.2.3 Análisis de estrategias de cobertura

Por último, se utiliza como estrategia para administrar el riesgo climático la implementación de un contrato de futuros sobre el promedio mensual de precipitación con la posición de venta cuyo precio de ejercicio sea más bajo que el promedio actual. De este modo, se recibirán liquidaciones favorables del mismo, siempre que el valor del promedio mensual de precipitaciones disminuya, como se muestra en la tabla 14. Esto se toma en cuenta bajo el supuesto de que el valor del contrato de futuros sobre el clima es 20 USD por el valor del índice, aplicado para todos los escenarios, como se muestra en las tablas 15 y 16.

Tabla 14. Valor de contrato-México

20 USD por cada valor del índice		Valor del contrato $G \cdot H = VC$
20 USD G	Promedio lluvia-2018 H	
20	155,86	3.117

Nota. Tomado de *CME Group Annual Report 2018*, por Chicago Mercantile Exchange (CME), 2018 (<https://www.cmegroup.com/>).

Tabla 15. Valor de contrato-España

20 USD por cada valor del índice		Valor del contrato $G \cdot H = VC$
20 USD G	Promedio lluvia-2018 H	
20	145,13	2.903

Nota. Tomado de *CME Group Annual Report 2018*, por Chicago Mercantile Exchange (CME), 2018 (<https://www.cmegroup.com/>).

Escenario 1: el promedio de la lluvia sube respecto de su media.

La finalidad de esta estrategia es compensar con las liquidaciones recibidas a través del mercado de futuros la pérdida económica originada por la disminución de la demanda y por un mayor costo fijo como consecuencia del cambio climático.

Tabla 16. Contrato de derivados climáticos en el escenario 1-México

Aerolínea	Pérdida potencial- miles de USD	Valor del contrato	N° de contratos de derivados climáticos
	PP	VC	PP/VC
Aeroméxico	644,967	3.117	121.32
Vuela	140,571	3.117	78.35
Interjet	233,214	3.117	103.77

Tabla 17. Contrato de derivados climáticos en el escenario 1-España

Aerolínea	Pérdida potencial- miles de USD	Valor del contrato	Nº de contratos de derivados climáticos
	PP	VC	PP/VC
Iberia	369,334	2.903	127.24
Vueling	243,109	2.903	83.75

Escenario 3: el promedio de la lluvia disminuye respecto de su media.

Nuevamente, la finalidad de esta estrategia es compensar con las liquidaciones recibidas a través del mercado de futuros la pérdida económica originada por la disminución de la demanda y por un mayor costo fijo como consecuencia del cambio climático.

Tabla 18. Contrato de derivados climáticos en el escenario 3-México

Aerolínea	Pérdida potencial- miles de USD	Valor del contrato	Nº de contratos de derivados climáticos
	PP	VC	PP/VC
Aeroméxico	644,967	3.117	206,91
Vuela	140,571	3.117	45,10
Interjet	233,213	3.117	74,82

Tabla 19. Contrato de derivados climáticos en el escenario 3-España

Aerolínea	Pérdida potencial- miles de USD	Valor del contrato	Nº de contratos de derivados climáticos
	PP	VC	PP/VC
Iberia	799,662	2903	275,49
Vueling	442,246	2903	152,36

En el caso del mercado mexicano, desde un inicio, las empresas no obtenían margen comercial debido a que sus costos aumentaron, lo que volvió aún más volátiles sus ganancias ante cambios en el clima y aumentó la pérdida potencial de cada empresa. En el escenario 1, se puede apreciar que la empresa Aeroméxico tiene suficientes ingresos para enfrentar el aumento en los precios debido al cambio climático; en el caso de Vuela e Interjet, que están enfrentando margen comercial negativo, la pérdida potencial se vuelve aún mayor, por lo que se hace necesario implementar el derivado climático con el fin de cubrirse contra cambios en el clima.

En el caso del mercado español en el escenario 1, se puede apreciar que las empresas tienen ingresos suficientes y menor sensibilidad para poder solventar cambios en el clima. Por ello, la implementación del derivado climático no se vuelve tan necesaria como en el mercado mexicano. Además, en el escenario 3 del mercado español, los costos se vuelven más sensibles cuando el nivel de precipitación aumenta, ya que, a pesar de que aumentan los ingresos y estos son suficientes para cubrir el aumento en gastos, es importante cubrirse contra los cambios en el clima debido a la incertidumbre que genera.

Por otro lado, en el escenario 3 del mercado mexicano, el aumento de la demanda ayuda a cubrir el aumento en los costos al minorizar la pérdida. Sin embargo, la pérdida potencial sigue representando hasta un 20% de los ingresos, por lo que la implementación del derivado climático se vuelve esencial para cubrirse ante el cambio en el clima.

5. CONCLUSIONES

Como se ha podido observar a lo largo de esta investigación, la implementación de instrumentos enfocados en la cobertura de riesgos climáticos depende de las condiciones económicas de la región donde se pretende implementar, ya que el nivel de sensibilidad es diferente dependiendo de la zona geográfica. El desarrollo de estrategias ambientales permite transferir el riesgo climático, ya sea a través de seguros contra catástrofes o a través de diferentes estrategias financieras, pues se han generado interés en los mercados de seguros meteorológicos. Así, se forman oportunidades de innovación en los modelos de negocio. Sin embargo, los contratos de seguros climáticos solo se pueden hacer efectivos cuando sucede una catástrofe. Por ello, se optó por la implementación del derivado climático, ya que permite la acción anticipada, como es el caso de la cobertura ante el impacto negativo del cambio climático en las actividades económicas.

La estrategia de usar contratos de derivados cuyo subyacente es el clima como cobertura es una opción para lograr mitigar el riesgo de manera eficiente. Esta estrategia permite identificar de manera más precisa los riesgos a los que la empresa está expuesta para poder anticiparse sobre las pérdidas potenciales. Además, los derivados climáticos otorgan la flexibilidad de adaptarse a las pérdidas potenciales esperadas y de facilitar la administración del riesgo.

En esta investigación, se comprobó que es eficiente implementar contratos de futuros climáticos como cobertura contra riesgos climáticos, pues logra minimizar el impacto negativo que tienen las operaciones de las empresas del sector líneas aéreas (tanto del mercado español como del mexicano) ante el comportamiento del

clima. De esta forma, las pérdidas potenciales que se generan debido a la sensibilidad que existe entre las operaciones de las empresas y el comportamiento del clima se compensan con los rendimientos obtenidos en el mercado de futuros climáticos.

Además, se realizó una comparación entre el mercado mexicano y español, con la que se llegó a la conclusión de que la implementación funciona mejor en el sector mexicano por ser más sensible al clima. En el caso de España, se percibe una mejora en la calidad de enfrentamiento de riesgos climáticos. Sin embargo, es necesario mantener una administración de riesgo climático con el fin de minimizar la incertidumbre ante el cambio climático. Por lo tanto, la implementación del futuro climático les brinda ventajas a las empresas analizadas, tales como certidumbre en sus ganancias, buena reputación por cuidar el capital de los accionistas y minimización de la vulnerabilidad climática, entre muchas más. Se deja para futuras investigaciones la implementación de opciones climáticas como herramienta para administrar el riesgo climático, así como la implementación de la estrategia de cobertura en zonas geográficas similares a las estudiadas en esta investigación.

Contribución de autores

López, I.: Conceptualización, Metodología, Software, Validación, Análisis formal, Investigación, Recursos, Curación de datos, Escritura borrador original, Escritura revisión y edición, Visualización, Supervisión, Administración del proyecto. **Velázquez, R.:** Conceptualización, Metodología, Software, Validación, Análisis formal, Investigación, Recursos, Curación de datos, Escritura borrador original.

Ignacio López Domínguez (López, I.)

Rebeca Velázquez Boeta (Velázquez, R.)

Declaración de conflicto de intereses

El (los) autor(es) declara(n) que, durante el proceso de investigación, no ha existido ningún tipo de interés personal, profesional o económico que haya podido influenciar el juicio y/o accionar de los investigadores al momento de elaborar y publicar el presente artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2020). *Informe sobre el estado del clima de España 2020*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; Agencia Estatal de Meteorología.
- Aviation Safety Network. (2018). *Aviation Safety Database 2018*. <https://aviation-safety.net/database/>
- Blom, J. E. (2009). *Hedging revenues with weather derivatives*. Norges Handelshøyskole.
- Brockett, P. L., Wang, M., & Yang, C. (2005). Weather derivatives and weather risk management. *Risk Management and Insurance Review*, 8(1), 127-140.
- Cabrera, B. L., Odening, M., Ritter, M., & Cabrera, B. L. (2013). *Pricing rainfall derivatives at the CME*. Economic Risk.
- Chantararat, S., Turvey, C., Mude, A., & Barrett, C. (2008). Improving humanitarian response to slow-onset disasters using famine-indexed weather derivatives. *Agricultural Finance Review*, 68(1), 169-195.
- Chicago Mercantile Exchange (CME). (2018). *CME Group Annual Report 2018*. <https://www.cmegroup.com/>
- European Environment Agency. (2019). *The European environment-state and outlook 2020: Knowledge for transition to a sustainable Europe*. <https://www.eea.europa.eu/soer/2020>
- European Environment Agency. (2020). *The European environment-state and outlook 2020: knowledge for transition to a sustainable Europe*. European Environment Agency.
- Fullana, C., & Urquía Grande, E. (2009, mayo-agosto). Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación. *Encuentros Multidisciplinares*, 11(32), 37-48.
- Hsiang, S. M. (2016). *Climate econometrics* (Working Paper 22181). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w22181>
- Hull, J. (2009). *Introducción a los mercados de futuros y opciones* (6ta Ed.). Editorial Pearson Prentice Hall.
- López Domínguez, I. (1995). *Cobertura de riesgos de interés y de cambio*. ISTPB.
- López Domínguez, I., & Velázquez Boeta, R. (2020). Impacto del riesgo climático en las actividades económicas. Análisis del sector líneas aéreas. *Contabilidad y Negocios*, 15(29), 40-57. <https://doi.org/10.18800/contabilidad.202001.003>
- Martínez, B. (2021). *Cómo ha cambiado la lluvia en México*. Este País.

- Martínez, F. (2016). *Administración estratégica inteligente*. Publicaciones Administrativas y Contables.
- Monjas, M. (2010). Derivados meteorológicos: Una alternativa de cobertura de riesgos para la empresa. *Boletín de Estudios Económicos*, 65(199), 19-37.
- Müller, A., & Grandi, M. (2000, abril). Weather derivatives for protection against weather risks. *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, 25(2), 273-287. <https://doi.org/10.1111/1468-0440.00065>
- Oberst, T. (2017). *Derivados climáticos: ¿son un instrumento útil para mitigar el riesgo del productor?* [Trabajo final de graduación de maestría, Universidad Torcuato di Tella]. Repositorio UTD. <https://repositorio.utdt.edu/handle/20.500.13098/6610>
- Pachauri, R.K., & Reisinger, A. (Eds.). (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC.
- Sánchez, J. (2011). Derivados climáticos sobre la lluvia: riesgos a cubierto, *Estrategia Financiera*. (287), 18-26.
- Schlenker, W., & Taylor, C. A. (2019). *Market expectations about climate change* (Working Paper 25554). National Bureau of Economic Research.
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum Press.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), & Comandancia de Aeronáutica Civil. (2018) *Memoria Documental DGAC*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); Comandancia de Aeronáutica Civil.
- Štulec, I. (2017). Effectiveness of weather derivatives as a risk management tool in food retail: The case of Croatia. *International Journal of Financial Studies*, 5(1), 0-15. <https://doi.org/10.3390/ijfs5010002>
- Wang, S. L., Ball, E., Nehring, E., Williams, R., & Chau, T. (2017). *Impacts of climate change and extreme weather on U.S. agricultural productivity: Evidence and projection* (Working Paper 23533). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w23533>
- Whalley, J., & Yuan, Y. (2009). *Global financial structure and climate change* (Working Paper 14888). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w14888>

Fecha de recepción: 17/03/2022

Fecha de aceptación: 30/09/2022

Contacto: ilopez@ccee.ucm.es