Universitat Autònoma de Barcelona

El precio del combustible: ¿cómo afectan sus vaivenes a la estabilidad de las aerolíneas?

Memoria del Trabajo Fin de Grado en Gestión Aeronáutica

realizado por

Olaya Puig Romero

y dirigido por

Sebastián Cano Berlanga

Escuela de Ingeniería

Sabadell, Junio de 2026

El abajo firmante, Sebastian Cano Berlanga director del Trabajo de Fin de Grado, profesor de la Escuela de Ingeniería de la UAB,

CERTIFICA:

Que el trabajo al que corresponde la presente memoria ha sido realizado bajo su dirección por

Olaya Puig Romero

Y para que conste firma la presente en Sabadell, junio de 2026

SEBASTIAN CANO BERLANGA - DNI 39729048K

Firmado digitalmente por SEBASTIAN CANO BERLANGA - DNI 39729048K
Fecha: 2026.06.24 21:12:28 +02'00'

Firmado: Sebastian Cano Berlanga

AGRADECIMIENTOS

Antes de entrar en materia me gustaría dedicar unas palabras a quienes me han acompañado a lo largo de estos años:

Dar primero las gracias a quienes me dieron la vida, mis padres, Jordi y Yolanda, por creer en mí cuando yo ni siquiera lo hacía. Por brindarme la oportunidad de formarme. Por ser mi refugio y no mi juez, entendiendo que mi propia autoexigencia ya era suficiente carga, y por recordarme lo que valgo sin dejar que nadie me diga lo contrario.

Dar las gracias a mi hermana Marta. Por formar parte de mi vida y de este camino. Por compartir conmigo el camino recorrido hasta aquí, a nuestra manera.

Dar las gracias a mi perro Feeling, por ser el mejor. Por animarme cada día y mostrarme su amor a través de lametones. Por traer alegría desde el día en que nació. Por quererme incondicionalmente y por ayudarme a superarme en cada etapa de mi vida.

Dar las gracias también al resto de mi familia. Por ser mi red de apoyo y mis raíces. Por apoyarme en cada etapa y celebrar cada uno de mis logros como si fueran suyos.

Dar las gracias a mi mejor amiga, Diana, por estar siempre junto a mi. Por convertir en carcajadas los días de tormenta. Por confiar en mí y enseñarme a hacerlo. Por ser paciente y comprensiva. Por abrirme las puertas de su casa y, sobre todo, enseñarme el verdadero significado de la amistad.

Por último, dar las gracias a mi tutor, Sebastián. Por tranquilizar mi ansiedad y por implicarse a fondo en la elaboración de la tesis.

A todos, gracias. Porque sin vosotros esto no hubiese sido posible.

RESUMEN

El combustible de aviación constituye uno de los factores más volátiles y determinantes en la estructura de costes de la industria aérea. Este trabajo final de grado analiza la evolución histórica de los precios del crudo (1956-2026), evaluando el impacto de las crisis geopolíticas y macroeconómicas en la estabilidad financiera de las aerolíneas. Rompiendo con los supuestos tradicionales de varianza constante, se desarrolla un enfoque econométrico mediante la estimación de un modelo GARCH(1,1) bayesiano con innovaciones t-Student. A partir de simulaciones MCMC programadas en el software R para el periodo 1977-2026 y validadas con el test de Gelman-Rubin, los resultados empíricos confirman una alta persistencia en la volatilidad y la presencia de colas pesadas en los rendimientos. El estudio demuestra que los modelos condicionales capturan el riesgo financiero con mayor precisión, ofreciendo una herramienta cuantitativa clave para optimizar las estrategias de mitigación y cobertura de riesgos en el sector aeronáutico.

Palabras clave: Crisis, *jet fuel*, volatilidad, petróleo, *shock*

ABSTRACT

Aviation fuel represents one of the most volatile and critical components within the cost structure of the airline industry. This bachelor's thesis analyzes the historical evolution of crude oil (1956-2026), evaluating the impact of geopolitical and macroeconomic crises on airline financial stability. Breaking away from traditional constant variance assumptions, an econometric approach is developed by estimating a Bayesian GARCH(1,1) model with t-Student innovations. Utilizing MCMC simulations programmed in R software for the 1977-2026 period and validated using the Gelman-Rubin diagnostic, the empirical results confirm high volatility persistence and the presence of heavy tails in returns. This study demonstrates that conditional models capture financial risk more accurately, providing a key quantitative tool to optimize risk mitigation and hedging strategies in the aviation sector.

Palabras clave: Crisis, *jet fuel*, volatility, oil, *shock*

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS..... 7

ÍNDICE DE TABLAS..... 7

1. INTRODUCCIÓN..... 8

2. LAS CRISIS DEL PETRÓLEO..... 10

2.1. La crisis del petróleo de 1973..... 10

2.2. La crisis del petróleo de 1979..... 11

2.3. Consecuencias de las crisis de los 70..... 12

2.3.1. Consecuencias económicas y sociales..... 12

2.3.2. Consecuencias político económicas..... 14

2.3.3. Consecuencias aeronáuticas..... 14

3. AEROLÍNEAS ANTE LA VOLATILIDAD ENERGÉTICA..... 18

3.1. La estructura de costes de las compañías aéreas..... 18

3.1.1. Costes operativos..... 18

3.1.2. Costes no operativos..... 19

3.2. El mercado del combustible aeronáutico..... 19

3.2.1. Precio base del jet fuel..... 19

3.2.2. Precio final del jet fuel..... 20

3.3. La volatilidad del precio del combustible..... 21

3.4. Gestión y mitigación del riesgo en aerolíneas..... 28

3.4.1. Estrategias financieras..... 28

3.4.2. Estrategias operativas..... 29

4. CONCLUSIONES..... 31

4.1. Conclusiones generales..... 31

4.2. Limitaciones..... 32

4.3. Posibles líneas de investigación futura.....33

5. REFERENCIAS..... 34

ACRÓNIMOS.....38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Colas en estaciones de servicio 1973……...14

Figura 2: Colas en estaciones de servicio 1979...……14

Figura 3: Tarifas aéreas históricas e inflación (1965-2009).……...……15

Figura 4: Tendencia histórica en el volumen de tráfico aéreo (1950-2010).…..……..17

Figura 5: Evolución histórica del precio del petróleo (1956-2026).....24

Figura 6: Volatilidad histórica de los rendimientos del petróleo (1956-2026).....24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tasas de inflación en Estados Unidos (1972-1980).....13

Tabla 2: Tabla resumen de las consecuencias de las crisis de los 70…….16

Tabla 3: Estadísticos descriptivos de las variables……..……..26

Tabla 4: Cuantiles para cada variable……..……..26

Tabla 5: Factores de reducción de escala potencial para cada variable.…..……..26

1. INTRODUCCIÓN

La aviación es uno de los sectores más dinámicos de la economía mundial, pero su estrecha dependencia de los mercados energéticos la vuelve muy vulnerable a cualquier cambio macroeconómico o microeconómico. Aunque este trabajo se planteó originalmente en un escenario de relativa estabilidad, la ofensiva de Estados Unidos contra Irán el 28 de febrero de 2026 ha reconfigurado por completo el panorama estratégico. El desabastecimiento y la consecuente escalada de precios del combustible evidencian la extrema fragilidad financiera de la industria.

Históricamente, las crisis del petróleo de 1973 y 1979 ya demostraron que un *shock* energético puede desestabilizar por completo al sector. Desde entonces, el combustible dejó de ser un coste predecible para convertirse en una variable altamente volátil y ajena al control de los operadores, capaz de transformar los beneficios de una compañía en pérdidas severas en cuestión de meses.

La justificación de esta investigación radica en que el *jet fuel* es una de las partidas más significativas en los presupuestos de cualquier aerolínea. Cuando el precio se dispara, los márgenes se contraen de inmediato y desestabilizan la planificación a corto, medio y largo plazo, convirtiendo el estudio de la volatilidad del crudo en una necesidad imperativa.

Por ello, el objetivo general de este trabajo es determinar el grado de volatilidad del *jet fuel* mediante un estudio econométrico del mercado del petróleo, cuantificando así el riesgo real al que se exponen las aerolíneas en su gestión financiera.

Para alcanzar esta meta principal, el estudio se apoya en cuatro objetivos específicos: analizar el impacto estructural de las crisis de 1973 y 1979; investigar la estructura de costes sectorial y el precio final del *jet fuel*; llevar a cabo un estudio econométrico de volatilidad en R mediante un modelo GARCH (1,1) bayesiano validado con el test de Gelman-Rubin; y, por último, examinar los mecanismos financieros y operativos de mitigación de riesgo que emplean las compañías aéreas.

La metodología para cumplir estos propósitos se divide en dos fases. La primera se centra en la búsqueda, selección y filtrado de literatura académica, informes oficiales y bases de datos financieras para recopilar la serie temporal y asentar el marco teórico de los modelos ARCH y GARCH.

La segunda fase, desarrollada bajo la supervisión del tutor, aborda el análisis empírico y cuantitativo. Esta etapa comienza con el análisis exploratorio visual de la serie histórica en R para identificar los periodos de inestabilidad, continúa con la estimación propiamente dicha del modelo GARCH (1,1) bayesiano y concluye con la aplicación del test de Gelman-Rubin para certificar la validez matemática de la simulación.

En cuanto a la viabilidad del proyecto, esta se encuentra garantizada en cuatro niveles: técnico, por el uso de R y el acceso libre a datos internacionales; jurídico, al emplear información de dominio público; operativo, por ejecutarse de manera autónoma bajo la guía del tutor; y económico, al ser un proyecto viable a coste cero que no requiere licencias comerciales.

No obstante, se han previsto estrategias de mitigación para tres riesgos potenciales. La distorsión del modelo por subidas bruscas del crudo se controlará gracias al enfoque bayesiano del GARCH (1,1), diseñado para absorber picos extremos. Los errores de estimación matemática se subsanarán aplicando sistemáticamente el test de Gelman-Rubin. Por último, el exceso o carencia de información se evitará acotando la búsqueda bibliográfica estrictamente a los objetivos del trabajo.

Para una exposición fluida, la memoria se organiza en tres capítulos. El primero contextualiza las crisis de 1973 y 1979 junto a sus consecuencias sectoriales.

El segundo capítulo constituye el núcleo de la investigación e integra cuatro ejes: la estructura de costes de las aerolíneas, la formación del precio del *jet fuel*, el desarrollo del estudio econométrico en R (gráfico, modelo bayesiano y validación) y las estrategias financieras y operativas de mitigación del riesgo frente a la incertidumbre del mercado.

Finalmente, el tercer capítulo recoge las conclusiones generales, donde se evalúa el cumplimiento de las metas, se sintetizan los hallazgos principales, se discuten las limitaciones y se proponen líneas de investigación futura.

2. LAS CRISIS DEL PETRÓLEO

Para iniciar el desarrollo del presente trabajo, resulta indispensable examinar los precedentes históricos que reconfiguraron el orden económico global y el mercado de la energía. Por ello, en este primer bloque se expone el origen y el desarrollo, así como las consecuencias posteriores de las principales crisis energéticas del siglo XX: la crisis de 1973 y la de 1979.

2.1. La crisis del petróleo de 1973

Yergin y el Center on Global Energy Policy (2023) comentan que, tras la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), el petróleo pasó a ser un recurso cada vez más demandado debido al crecimiento económico de las principales economías industrializadas. El rápido crecimiento económico de Europa y Japón, junto con el elevado consumo energético de Estados Unidos, provocó que la demanda de petróleo aumentara de forma constante. Sin embargo, la producción no creció al mismo ritmo, lo que generó un desequilibrio progresivo entre oferta y demanda. A principios de los años setenta, la situación pasó a ser especialmente delicada, ya que no existía mucho margen para incrementar la producción si el suministro se veía afectado, lo que reducía la capacidad de reacción del mercado ante posibles crisis.

En este contexto, Estados Unidos, que hasta entonces había actuado como estabilizador del mercado gracias a su capacidad de producción, comenzó a depender cada vez más de las importaciones para satisfacer su consumo interno. Al mismo tiempo, los países exportadores de petróleo fueron ganando influencia en el mercado energético mundial.

El desencadenante de la crisis fue producto de la Guerra del Yom Kippur, iniciada el 6 de octubre de 1973, momento en el que Egipto y Siria atacaron a Israel con el objetivo de recuperar territorios perdidos en la Guerra de los Seis Días (1967). Estados Unidos decidió prestar auxilio a Israel enviando armas y suministros militares, lo que provocó la reacción de los países árabes exportadores de petróleo.

El 17 de octubre de 1973, los miembros de la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPAEC) acordaron utilizar el petróleo para ejercer presión política, reduciendo su producción y estableciendo un embargo contra Estados Unidos y varios países de Europa Occidental por su apoyo a Israel.

A pesar del enorme impacto inicial y de la tensión geopolítica, Imanov e Imamoglu (2022) recuerdan que el embargo petrolero finalizó en marzo de 1974. No obstante, el fin de esta

medida no supuso una reducción inmediata de los precios del petróleo. El temor a futuros problemas de suministro se mantuvo entre gobiernos, empresas y consumidores, lo que contribuyó a que los precios elevados se consolidaran como la nueva normalidad económica. Como resultado, el barril de petróleo se estabilizó en torno a los 11.65 dólares estadounidenses (USD).

2.2. La crisis del petróleo de 1979

Según Graefe (2013), la crisis petrolera de 1979 tuvo su origen en la Revolución iraní, un proceso que comenzó en 1978 y culminó en 1979 con la caída del Sha Mohammad Reza Pahlavi, gobernante de Irán. Tras su destronamiento, Khomeini asumió el poder e instauró la República Islámica en el país.

Durante este periodo de inestabilidad, la producción petrolera de Irán experimentó una importante reducción. En enero de 1979, la producción de petróleo había disminuido en 4.8 millones de barriles diarios, lo que suponía aproximadamente el 7% del total mundial. Esta situación generó preocupación en los mercados internacionales, ya que Irán era uno de los principales productores de ese momento.

La incertidumbre provocada por los acontecimientos en Irán y el temor a posibles nuevas interrupciones en el abastecimiento hicieron que muchos agentes del mercado empezaran a acumular petróleo por precaución, lo que afectó a la demanda.

La menor disponibilidad de petróleo, junto con el miedo a la falta de suministro y la elevada demanda mundial ligada al crecimiento económico, resultaron en una subida de precios a partir de mediados de 1979. Entre abril de 1979 y abril de 1980, el precio del petróleo llegó a más que duplicarse.

Con el tiempo, la subida de precios perdió fuerza debido a la desaceleración de la actividad económica en los países industrializados y a la adopción de medidas de ahorro y mejora en la eficiencia energética. A partir de mediados de 1980, los precios dejaron de crecer y empezaron a disminuir.

2.3. Consecuencias de las crisis de los 70

2.3.1. Consecuencias económicas y sociales

Ambas crisis del petróleo, la de 1973 y la de 1979, comparten un elemento central: el fuerte encarecimiento del crudo y su transmisión al conjunto de la economía (Bill of Rights Institute y L. Schneider,s. f.; Graefe, 2013). Sin embargo, la forma en que este impacto se desarrolla y se intensifica presenta ciertas diferencias.

Tal y como destacan Bill of Rights Institute y L. Schneider (s. f.), en la crisis de 1973, la reducción de la oferta internacional de petróleo provocó que su precio se disparara de 2 a 11 USD/barril aproximadamente. Esta situación afectó directamente a las economías de los países importadores. Las industrias tuvieron que asumir costes más elevados para mantener su actividad y los consumidores acabaron pagando más por bienes y servicios, lo que contribuyó al aumento de la inflación.

En la crisis de 1979, el mecanismo de transmisión fue similar, ya que la subida de precio del barril, que pasó de 14 a 35 USD/barril aproximadamente (Gasoil, 2025), repercutió de nuevo en los costes necesarios para producir y distribuir bienes y servicios (Graefe, 2013). No obstante, este segundo *shock* se desarrolló en un contexto económico más inestable y, aunque el impacto directo y aislado del petróleo fuera menor que en la crisis de 1973, la tasa de inflación acumulada final fue más alta.

Esta diferencia queda demostrada en la *Tabla 1*. En el estallido de 1973 se aprecia una gran brecha entre la inflación general[1] (8.8%) y la subyacente[2] (4.7%). Por el contrario, en 1979 la inflación general se situó en 13.3% frente al 11.3% de la subyacente. La proximidad de las cifras demuestra que la verdadera gravedad en 1979 no radicó únicamente en el nuevo encarecimiento del barril, sino también en que los precios ya estaban aumentando de forma generalizada en la economía estadounidense.

El desenlace en los años posteriores muestra la consolidación del golpe en ambos periodos y el inicio de la fase de estabilización. En 1974, la inflación general escaló hasta el 12.2% y ya en 1975 se puede ver una notable correlación a la baja (7%). En la primera mitad de 1980 el ciclo de la segunda crisis alcanzó su máximo histórico (14.8% la general y 14.6% la subyacente). En

[1] La inflación general mide la evolución de los precios de la totalidad de los bienes y servicios incluidos en el IPC.
[2] La inflación subyacente excluye componentes especialmente volátiles como la energía y los alimentos no elaborados.

la segunda mitad de ese mismo año, los precios inician una clara tendencia descendente (9.9% la general y 9.6% la subyacente).

	Todos los artículos		Excluyendo alimentos y energía	
	IPC[a]	**PCE[b]**	**IPC[a]**	**PCE[b]**
1972	3.4%	3.7%	3.0%	3.3%
1973	8.8%	7.3%	4.7%	4.4%
1974	12.2%	11.0%	11.3%	9.6%
1975	7.0%	6.0%	6.7%	5.7%
1976	4.8%	5.0%	6.1%	6.0%
1977	6.8%	5.9%	6.4%	6.1%
1978	9.0%	7.8%	8.5%	6.8%
1979	13.3%	9.5%	11.3%	7.1%
1980:				
Primer semestre	14.8%	11.0%	14.6%	9.7%
Segundo semestre	9.9%	9.1%	9.6%	8.5%
[a]Doce meses que culminan en diciembre del año determinado . **[b]Cuatro trimestres que terminan en el cuarto trimestre del año determinado.**				

Tabla 1. Tasas de inflación en Estados Unidos (1972-1980). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Blinder (1982)

En el ámbito social, las crisis de 1973 y 1979 generaron preocupación entre la población ante la posibilidad de una escasez de combustible. Esta situación se reflejó en largas colas de espera en las estaciones de servicio, ya que muchas personas acudieron a repostar por temor a un problema de abastecimiento *(véanse Figura 1 y Figura 2)*.



Figura 1. Colas en estaciones de servicio -1973

Fuente: Motorpasión (2013)



Figura 2. Colas en estaciones de servicio -9 de mayo de 1979

Fuente: Graefe (2013)

2.3.2. Consecuencias político económicas

La crisis de 1973 evidenció el papel de la OPAEC como actor con capacidad de influencia en el escenario internacional, al hacer uso del embargo como instrumento de presión política (Bill of Rights Institute y L. Schneider,s. f.). Este hecho puso de manifiesto la dependencia de los países importadores respecto de los países productores y la importancia estratégica del petróleo en las relaciones internacionales.

En cambio, la crisis de 1979 tuvo un origen político distinto, ya que estuvo relacionada con la inestabilidad en un país productor clave, cuya situación interna generó incertidumbre en el suministro global de petróleo. Además, desde el punto de vista de la política económica, en Estados Unidos, con el objetivo de frenar el alza de precios, el banco central (Reserva Federal) fue incrementando los tipos de interés de manera progresiva (Graefe, 2013), es decir, obtener financiación era más caro y, por lo tanto, el consumo y la inversión en la economía eran menores.

2.3.3. Consecuencias aeronáuticas

Ambas crisis del petróleo transformaron de forma significativa la industria aérea, aunque sus efectos y la manera en que el sector respondió no fueron exactamente iguales en cada caso.

A partir de la crisis de 1973, el transporte aéreo de mercancías experimentó cambios significativos en su estructura operativa (Doganis, 2010). El elevado precio del combustible, como consecuencia de ambos *shocks*, afectó especialmente a los vuelos *cargo*, ya que el combustible representa una parte más importante de sus costes totales que en los de pasajeros, donde existen otro tipo de gastos (tripulación, servicio a bordo…).

Por esta razón, muchos servicios de carga dejaron de ser rentables, obligando a las aerolíneas a replantear su modelo operativo. En este contexto, la incorporación de aviones *wide-body*[3] (fuselaje ancho) durante los años setenta y ochenta, tales como el Boeing 747, Airbus A310 y el Boeing 767, ofreció una solución eficiente al contar con una mayor capacidad de carga en sus bodegas. Así pues, las aerolíneas empezaron a trasladar la carga a las bodegas de las aeronaves de fuselaje ancho de transporte de pasajeros.

El artículo publicado por Lee y Mo (2011) defiende que, a pesar de que el precio de la energía se disparó, las crisis del petróleo no derivaron en la búsqueda de formas nuevas de ahorro de combustible y mejora de la eficiencia, sino que se limitaron a perfeccionar los cambios introducidos en la década de 1960[4]. Las aerolíneas consideraron más económicamente factible asumir los elevados precios del combustible a corto plazo que invertir en el desarrollo de innovaciones tecnológicas aeronáuticas, dadas las limitaciones técnicas de la época.

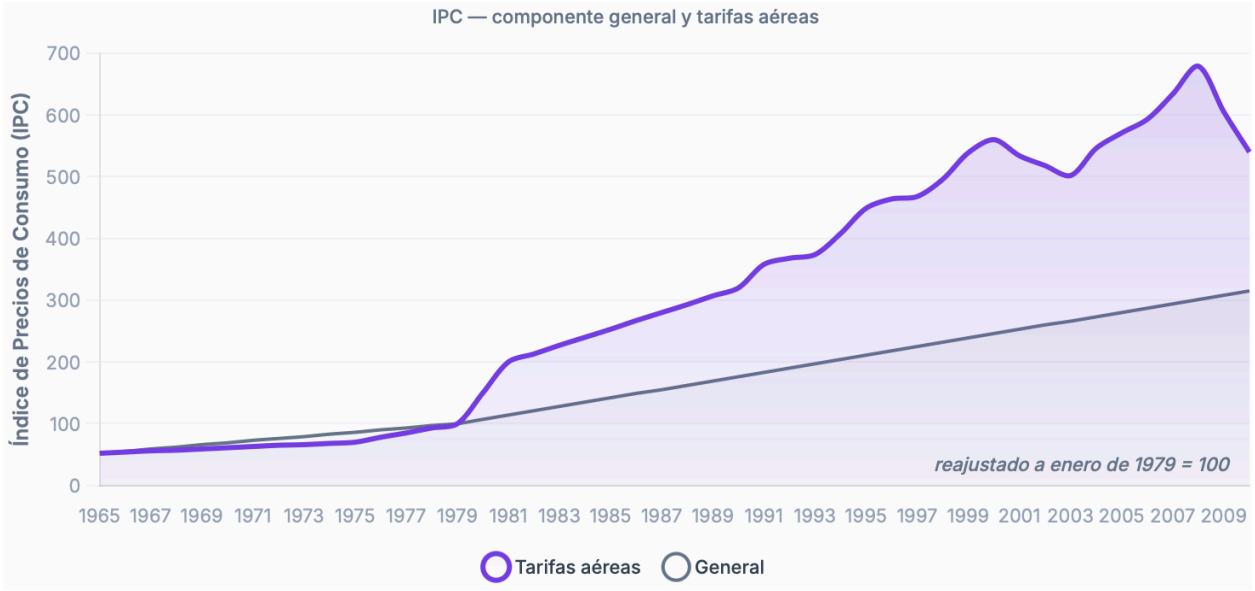


Figura 3. Tarifas aéreas históricas e inflación (1965-2009). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Lee y Mo (2011)

La evolución de los precios de los billetes constituye otra de las diferencias más relevantes entre ambos *shocks*. Durante la crisis de 1973-1974, el sistema de regulación existente limitó el aumento de las tarifas aéreas, lo que contribuyó a mantener estable el volumen de pasajeros. Sin embargo, la situación cambió en 1979, ya que la desregulación del sector en 1978 otorgó a las compañías aéreas una mayor libertad para fijar precios, rutas y frecuencias con el fin de maximizar sus beneficios. Como resultado, la segunda crisis se tradujo en un mayor incremento de las tarifas, por encima de la inflación general *(véase Figura 3)*, puesto que las aerolíneas

[3] Avión de grandes dimensiones equipado con dos pasillos y usado principalmente en vuelos de larga distancia.
[4] Según Lee y Mo (2011), la década de 1960 concentró los mayores avances en eficiencia del combustible.

podían cobrar a sus clientes lo que ellos estaban dispuestos a pagar y no lo que marcaba la regulación.

A pesar de esto, la demanda de transporte aéreo no se redujo *(véase Figura 4)*, sino que continuó creciendo durante las décadas de 1970 y 1980, ya que el pasajero seguía valorando especialmente la rapidez y la comodidad del avión para rutas de medio y largo radio.

Para culminar este apartado, se ha considerado adecuado incluir una tabla en la que, de forma sintetizada, se destacan las consecuencias más relevantes categorizadas según su naturaleza (véase *Tabla 2*).

CONSECUENCIAS	CRISIS 1973	CRISIS 1979
Económicas	• Subida del precio del petróleo (2 → 11 USD). • Aumento de costes y de la inflación.	• Subida del precio del petróleo (14 → 35 USD). • Aumento de costes y de la inflación.
Sociales	• Miedo a la escasez de combustible. • Largas colas en estaciones de servicio.	
Político económicas	• Evidencia de la dependencia energética de los países importadores. • Relevancia del petróleo en las relaciones internacionales.	• Incremento progresivo de los tipos de interés. • Mayor coste de financiación. • Menor consumo e inversión.
Aeronáuticas	• Reestructuración del transporte de mercancías aéreas. • Pérdida de rentabilidad de los vuelos *cargo*. • Uso de aviones *wide-body* de pasajeros para el transporte de *cargo*. • Innovación tecnológica limitada (mejoras graduales).	• Incremento de tarifas aéreas por la desregulación. • Mayor libertad de gestión para las aerolíneas (precios, rutas y frecuencias). • Mantenimiento del crecimiento de la demanda aérea.

Tabla 2. Tabla resumen de las consecuencias de las crisis de los 70. Fuente: elaboración propia a partir de información proporcionada por los autores citados en el apartado.

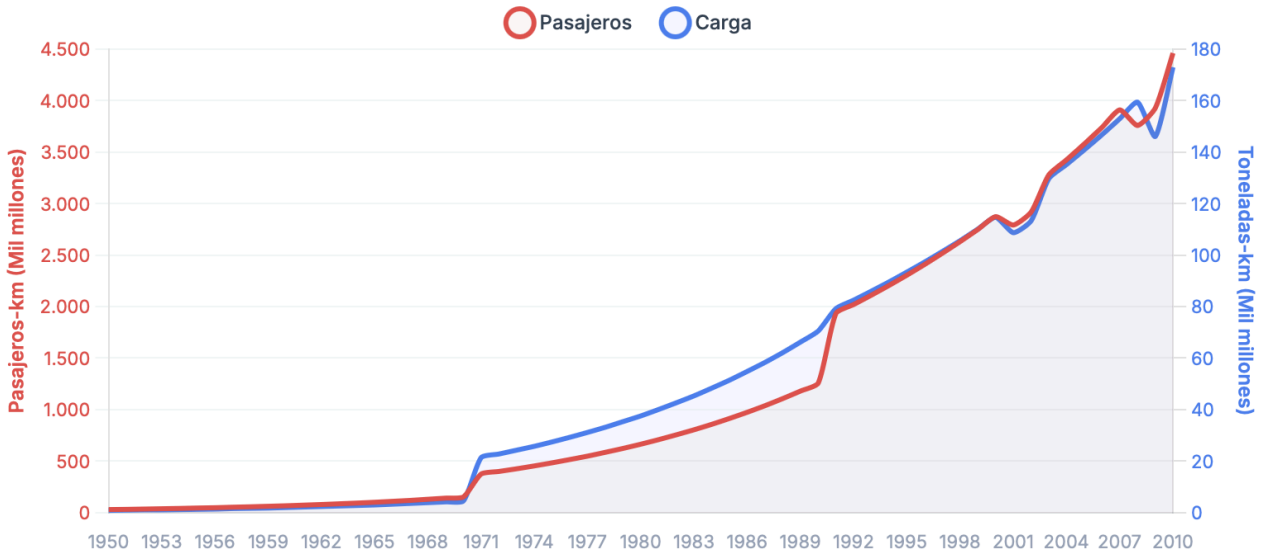


Figura 4. Tendencia histórica en el volumen de tráfico aéreo (1950-2010). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Lee y Mo (2011)

3. AEROLÍNEAS ANTE LA VOLATILIDAD ENERGÉTICA

3.1. La estructura de costes de las compañías aéreas

Según Doganis (2010), dada la naturaleza dinámica del sector aéreo y sus constantes variaciones en el coste de sus recursos, resulta relevante, en un primer momento, conocer cómo se estructuran y categorizan dichos gastos. De forma general, los costes que asumen las aerolíneas en su operativa diaria acostumbran a dividirse en costes operativos, derivados de su actividad principal, y costes no operativos, no vinculados directamente a la prestación del servicio de transporte aéreo.

3.1.1. Costes operativos

Los costes operativos son aquellos que se relacionan de forma directa con la explotación de la aerolínea, es decir, incluyen todos aquellos gastos que resultan necesarios para poner en funcionamiento el avión y prestar servicio al cliente, tal y como señala Moreno (2019). Asimismo, estos costes se subdividen en costes directos y costes indirectos, no obstante, en la industria aérea el significado de estos términos difiere del que se le da comúnmente en la contabilidad general, como expone Doganis (2010).

Costes operativos directos

Diversos autores sugieren que los costes operativos directos son aquellos que dependen directamente del nivel de producción de la compañía aérea y que, además, resultan indispensables para que esta pueda ofrecer vuelos y complacer a sus pasajeros (Moreno, 2019; Köse y Aktan, 2022). En esta categoría, Köse y Aktan (2022) incluyen, entre otros, la tripulación de vuelo (pilotos y TCP); el combustible[5] y el aceite del avión; las tasas aeroportuarias (tasas de aterrizaje y coste por tonelada del avión); las tasas de navegación; el mantenimiento directo (mano de obra y materiales); la amortización, el *leasing*[6] y el seguro del avión.

Costes operativos indirectos

Los costes operativos indirectos, aunque necesarios para el funcionamiento general de la aerolínea, complementan su actividad principal y no pueden asociarse directamente a un nivel de

[5] El combustible es considerado uno de los costes más significativos para las aerolíneas. Según la IATA (2025), el Jet Fuel llegó a representar el 26.8% del total de costes operativos en 2025.
[6] Martin Fisher (2025) lo define como un régimen de alquiler que otorga a los operadores el derecho de uso de una aeronave durante un periodo previamente pactado, sin que esta pase a ser de su propiedad.

producción determinado. Además, el importe de estos gastos depende tanto del modelo de negocio como de las condiciones del mercado en el que opera la compañía aérea (Moreno, 2019; Köse y Aktan, 2022). Según Köse y Aktan (2022), los costes operativos indirectos incluyen: marketing; servicios de tierra y equipos de soporte; amortización, seguros y mantenimiento indirecto; administración y servicio de ventas; reservas y ventas; publicidad y promociones; servicios generales.

3.1.2. Costes no operativos

Tal y como recogen Doganis (2010), Moreno (2019) y Köse y Aktan (2022), los costes no operativos no afectan directamente a la actividad de la aerolínea, pero sí repercuten en su situación financiera. Estos gastos varían entre compañías, ya que dependen de las circunstancias particulares de cada una de ellas. Algunos ejemplos son: pagos de intereses de préstamos; pérdidas por filiales; pérdidas por renovación de la flota (Köse y Aktan, 2022).

3.2. El mercado del combustible aeronáutico

De acuerdo con EAS BCN (2023), en aviación, el combustible empleado para cada aeronave depende del motor que tenga equipado. Para los motores de pistón de combustión interna se hace uso de AVGAS y para los motores de turbina, presentes en la mayoría de aviones comerciales y militares, se utiliza el *jet fuel*. Aunque existen varias subcategorías de *jet fuel*, el más común es el Jet-A1 o queroseno que además de alimentar al avión sirve como líquido refrigerante para el aceite de motor.

En el mercado del combustible aeronáutico participan diversos actores interrelacionados que, en conjunto, influyen en el precio del *jet fuel*.

3.2.1. Precio base del *jet fuel*

Según Marshall (2021), el precio base del combustible aeronáutico está formado principalmente por dos elementos:

$$\text{Precio base } \textit{jet fuel} = \text{Precio Crudo} + \text{Crack Spread} \quad (1)$$

A continuación se procede a explicar con más detalle los componentes de la fórmula (1):

Precio del crudo

Como indica SpotMarketCap (2025), el precio del crudo es el precio del petróleo sin refinar, antes de ser transformado en productos como el *jet fuel*. Este precio se establece a partir de crudos de referencia que varían según el mercado o la región. En este sentido, el West Texas Intermediate (WTI) suele usarse en mercados norteamericanos, mientras que el Brent es el referente a nivel mundial, ya que representa cerca de dos tercios de los suministros de petróleo crudo comercializados globalmente y es empleado en Europa, Asia y África.

Crack Spread

La EIA (2013) define el Crack Spread como el margen bruto de la refinería, es decir, es el resultado que se obtiene de la diferencia entre el precio de adquisición del petróleo crudo y el precio al que se venden los productos obtenidos tras su refinación.

3.2.2. Precio final del *jet fuel*

El precio base explicado anteriormente, no refleja el coste real que asumen las aerolíneas, puesto que hay que añadir otros importes adicionales asociados a su distribución, comercialización y regulación. Los más relevantes se describen a continuación:

- Transporte y logística: Hace referencia a los gastos asociados al traslado del combustible desde la refinería hasta el aeropuerto, su almacenamiento y su posterior distribución.
- Tipo de cambio: Forsyth y Dwyer (2009) explican que el combustible aeronáutico se vende en mercados internacionales y que su precio suele indicarse en USD. Es por ello que, las variaciones en el tipo de cambio impactan de forma directa en el coste que asumen las compañías aéreas que operan en otra moneda, pudiendo incrementar su precio cuando la divisa local se devalúa frente al dólar.
- Tasas y costes regulatorios: Dentro de estas tasas, a nivel europeo, la European Commission (s. f.) destaca la asociada a las emisiones de CO_2, por la que las compañías aéreas, que están sujetas al Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (RCDE UE) deben monitorizar y reportar sus emisiones, así como adquirir derechos de emisión en función del CO_2 generado en su actividad.

3.3. La volatilidad del precio del combustible

Según Alvarez y Sala (2026), la volatilidad mide cómo varía el precio de un activo a lo largo del tiempo, reflejando su grado de inestabilidad. Cuanto mayor es la variación, mayor es la incertidumbre y el riesgo asociado.

En el sector aeronáutico, tal y como destacan Leenawong y Ritthipakdee (2024), el precio del *jet fuel* se caracteriza por ser muy volátil y, debido a su naturaleza exógena, no controlable por las compañías aéreas. Por esta razón, una subida o bajada rápida e inesperada en el coste del *jet fuel* puede poner en gran riesgo la salud de la aerolínea.

Para analizar este fenómeno, se ha realizado un análisis econométrico de la volatilidad del precio del petróleo en lugar del del *jet fuel*. Esta aproximación se debe a que ambos activos se mueven prácticamente en paralelo: al ser el crudo la materia prima base, sus variaciones se trasladan directamente al combustible de aviación, haciendo que su estudio sea un reflejo fiel del comportamiento del *jet fuel*.

ANÁLISIS ECONOMÉTRICO DE LA VOLATILIDAD DEL PRECIO DEL PETRÓLEO

a) Fundamentación teórica de los modelos ARCH y GARCH

Para comprender cómo el mercado energético afecta a la estabilidad financiera de una aerolínea, es necesario analizar cómo evoluciona su riesgo a lo largo del tiempo. Los modelos lineales tradicionales asumían que la variabilidad de los rendimientos era constante (homocedasticidad). Sin embargo, la literatura financiera actual deja claro que las materias primas no siguen un camino lineal ni predecible. Al contrario, el mercado alterna constantemente épocas de mucha calma con otras de fuerte agitación.

Para solucionar este problema, Robert Engle (1982) introdujo el modelo ARCH (Heterocedasticidad Condicionada Autorregresiva), que parte de la ecuación fundamental de los rendimientos del activo (y_t):

$$y_t = \sigma_t \cdot \epsilon_t \quad (2)$$

Donde ϵ_t es un error aleatorio (ruido blanco) y σ_t representa la volatilidad condicionada en el momento t. Lo interesante de este enfoque es que la varianza condicionada actual (σ_t^2) no es un

número fijo, sino un proceso dinámico que cambia en función de la información de los días anteriores (Ω_{t-1}). Para un número de retardos q, la fórmula quedaría así:

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^{q} \alpha_i \epsilon_{t-i}^2 \quad (3)$$

Si analizamos esta ecuación desde una perspectiva práctica, el modelo nos indica que la varianza condicionada actual se compone de dos elementos fundamentales:

- **La constante (ω):** Representa la varianza incondicional de fondo, es decir, el nivel de riesgo mínimo o base que posee el mercado cuando no hay perturbaciones externas. Para evitar inconsistencias matemáticas (como obtener una varianza negativa, lo cual es imposible), este parámetro debe ser estrictamente mayor que cero ($\omega > 0$).
- **El componente ARCH ($\alpha_i \epsilon_{t-i}^2$):** Cuantifica el impacto a corto plazo. Mide cómo afectan los *shocks* o las noticias de los días anteriores a la volatilidad actual. El coeficiente α_i, funciona como un indicador de la velocidad a la que reacciona el mercado ante los eventos más recientes. Para asegurar la coherencia del modelo, estos coeficientes deben ser positivos o nulos ($\alpha_i \geq 0$).

A partir de esta dinámica, Engle demostró que al agregar el impacto de todos estos *shocks* pasados se obtiene la persistencia total (ϕ) del modelo:

$$\phi = \sum_{i=1}^{q} \alpha_i \quad (4)$$

Mientras este sumatorio se mantenga entre 0 y 1 ($0 < \phi < 1$), el modelo es estable (estacionario). Esto significa que, aunque el mercado sufra un impacto fuerte, el temporal pasará y la varianza tenderá a volver a su media de largo plazo, definida por la relación estructural:

$$\sigma_y^2 = \frac{\omega}{1-\phi} = \omega \sum_{i=0}^{\infty} \phi^i \quad (5)$$

A pesar de su carácter revolucionario, el modelo ARCH original presentaba una limitación práctica en series financieras de alta frecuencia. Si el mercado permanecía agitado durante varias semanas, el modelo necesitaba recordar demasiados días seguidos (valor de q muy elevado).

Esto complicaba la estimación econométrica y rompía el principio de parsimonia estadística, el cual dicta que un modelo debe explicar la realidad con el menor número de parámetros posible.

Para solucionar este inconveniente, Bollerslev (1986) desarrolló el modelo GARCH (ARCH Generalizado). La gran ventaja de esta extensión fue añadir un término autorregresivo a la ecuación de la varianza, haciendo que la volatilidad actual dependa también de la propia varianza de periodos anteriores. La ecuación de GARCH (p,q)[7] se define como:

$$\sigma_t^2 = \underbrace{\omega + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \epsilon_{t-i}^2}_{\text{ARCH}} + \underbrace{\sum_{j=1}^{q} \beta_j \sigma_{t-j}^2}_{\text{autorregresivo}} \quad (6)$$

Con este enfoque, el comportamiento del riesgo se apoya en tres pilares muy claros: la constante (ω); el impacto de las noticias (α_i) y el coeficiente beta (β_j)[8]. En este caso, la persistencia total del modelo se calcula sumando ambos componentes:

$$\phi = \sum_{i=1}^{q} \alpha_i + \sum_{j=1}^{p} \beta_j \quad (7)$$

b) Justificación metodológica y análisis exploratorio de la serie temporal

Para trasladar la volatilidad del plano teórico al práctico, el presente estudio toma como referencia la base de datos histórica mensual del precio del petróleo desde el 1 de enero de 1956 hasta el 1 de abril de 2026.

Antes de profundizar en la dinámica de sus retornos, resulta fundamental realizar un examen rápido de la evolución general del precio del crudo. Así, en la *Figura 5*, se muestra la evolución en niveles nominales, expresada en USD/barril.

Al observar esta trayectoria, se identifican tres grandes etapas macroeconómicas. La primera de ellas abarca desde 1956 hasta 1973, un periodo caracterizado por la estabilidad de los precios bajo el control del oligopolio de las " Siete Hermanas"[9]. Esta calma se rompe en la segunda etapa durante las últimas décadas del siglo XX; aquí, los *shocks* de la crisis de la OPAEC (1973)

[7] La estructura simplificada p=q=1 es capaz de reproducir con fidelidad la dinámica de la volatilidad de la mayor parte de los análisis empíricos.
[8] Donde $\omega > 0$, $\alpha_i \geq 0$ y $\beta_j \geq 0$ (pudiendo suceder que $\beta_j = 0$ para todo j).
[9] Según Alonso (2026) Término acuñado por Enrico Mattei para describir al oligopolio de grandes petroleras que monopolizaban la producción de crudo fuera de Estados Unidos y la Unión Soviética durante el siglo XX.

y la Revolución iraní (1979) provocan fuertes incrementos en el precio del petróleo, una tendencia de volatilidad geopolítica que volvió a manifestarse puntualmente con el estallido de la Guerra del Golfo en 1990. La última etapa coincide con el inicio del siglo XXI, y es la fase más inestable de la muestra. En este tramo, destacan hitos de extrema volatilidad: el ascenso de precios que culminó con la Crisis Financiera Global de 2008; el desplome generalizado entre 2014 y 2016 por el auge del *fracking*; el hundimiento histórico de la demanda por la pandemia de la COVID-19 en 2020 y las recientes tensiones geopolíticas derivadas de la Guerra en Ucrania y el conflicto entre Estados Unidos e Irán.



Figura 5. Evolución histórica del precio del petróleo (1956-2026). Fuente: Elaboración propia.

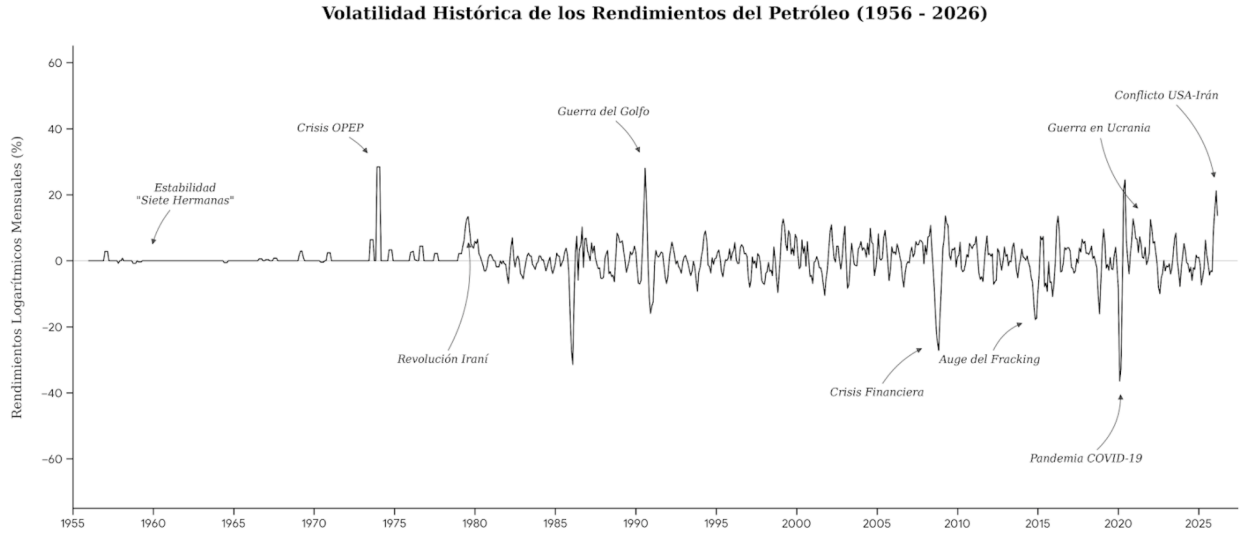


Figura 6. Volatilidad histórica de los rendimientos del petróleo (1956-2026). Fuente: Elaboración propia.

Al transformar estos precios nominales y plasmar gráficamente sus rendimientos logarítmicos *(véase Figura 6)*, se hace evidente el escenario de incertidumbre al que se enfrentan las aerolíneas a lo largo del tiempo, observándose que la volatilidad varía según el momento histórico (heterocedasticidad condicionada).

Si llevamos a cabo un análisis del gráfico de izquierda a derecha, obtenemos lo siguiente:

- **Estabilidad estructural:** Desde el inicio de la muestra en 1956 hasta 1973, la línea se mantiene prácticamente plana. El mercado del petróleo se comporta de manera muy estable, con oscilaciones mínimas y cercanas a cero.
- **Punto de ruptura (1973):** Se registra un impacto masivo debido a la crisis de la OPAEC, que dispara los precios del petróleo y marca un antes y un después en la muestra.
- **Los "clusters" de volatilidad:** Tras el *shock*, la naturaleza del mercado cambia por completo y entran en escena las agrupaciones o clusters de volatilidad. Tal como observó Mandelbrot (1963), ante variaciones de gran magnitud en los precios, el mercado responde con periodos largos de mucha agitación, mientras que a las fases de pequeñas variaciones les suelen seguir etapas de calma. En términos estadísticos, la inestabilidad se concentra en rachas temporales y no desaparece de forma repentina.

Estas oscilaciones se vuelven especialmente agresivas durante la década de los 90 (con un repunte claro por la Guerra del Golfo en 1990) y los inicios del siglo XXI, alcanzando su punto crítico en 2020. En este momento, se aprecia un desplome vertical negativo que llega a rondar el valor de -40%, provocado por la pandemia del COVID-19,seguido de inmediato por rebotes de gran intensidad; una señal de pánico en el mercado, característica de periodos de fuerte inestabilidad financiera.

Este análisis visual deja muy claro que el riesgo del combustible no es algo constante y, por ello, es preciso abandonar las metodologías tradicionales y utilizar el modelo GARCH (1,1) para medir el riesgo de acuerdo con la realidad.

c) Estimación del modelo e interpretación de resultados empíricos

Una vez analizada la evolución histórica de la serie a nivel visual, se procede a la fase de programación y procesamiento de los datos. Para ello, se ha acotado el análisis al periodo comprendido entre el 1 de enero de 1977 y el 1 de abril de 2026, ejecutando el algoritmo en el entorno estadístico R (R Core Team, 2025). La estimación de los parámetros se fundamenta en el enfoque bayesiano de Ardia (2008), aplicando el modelo GARCH(1,1)-t de acuerdo con las

especificaciones de Ardia (2009) y Ardia y Hoogerheide (2010). Asimismo, la convergencia matemática de las simulaciones MCMC se ha verificado mediante el paquete CODA (Plummer et al., 2006), generando las métricas que se discuten a continuación.

Parámetros	Media	Desviación estándar	Naive SE	Time-series SE
α_0	2.4422	4.32684	0.0078997	0.0391070
α_1	0.4062	0.08767	0.0001601	0.0006345
β	0.5277	0.07371	0.0001346	0.0007449
ν	8.7024	3.81326	0.0069620	0.0786643

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de las variables. Fuente: Elaboración propia a partir de datos generados por R.

Parámetros	2.5%	25%	50%	75%	97.5%
α_0	5.8500	9.4186	11.8154	14.7539	22.6580
α_1	0.2559	0.3444	0.3988	0.4598	0.5987
β	0.3668	0.4834	0.5329	0.5784	0.6574
ν	4.8105	6.5717	7.9231	9.8104	17.0464

Tabla 4. Cuantiles para cada variable. Fuente: Elaboración propia a partir de datos generado por R.

Parámetros	Point est.	Upper C.I.
α_0	1.00	1.00
α_1	1.00	1.00
β	1.00	1.00
ν	1.01	1.01

Tabla 5. Factores de reducción de escala potencial para cada variable. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de R.

Para poder validar los resultados, primeramente hay que revisar el factor de reducción de escala potencial mediante el test de Gelman-Rubin *(véase Tabla 5)*. Los datos obtenidos muestran un

estimador puntual de 1.00 para los coeficientes α_0, α_1 y β, y de 1.01 para el parámetro ν. Debido a su proximidad a la unidad, puede confirmarse la correcta convergencia matemática del algoritmo, garantizando que las estimaciones son fiables.

De igual manera, los cuantiles de 2.5% y 97.5% de la *Tabla 4* sirven para fijar el intervalo de credibilidad al 95%, como la distancia entre estos dos extremos es muy estrecha en todos los parámetros y ninguno de ellos incluye el valor cero, se confirma que el modelo es robusto.

Analizando los coeficientes siguiendo las pautas de Alexander (2009), se observan datos clave que permiten conocer cómo funciona el riesgo en el mercado del petróleo *(véase Tabla 3)*:

- **Impacto de las noticias ($\alpha_1 = 0.4062$):** Este parámetro mide cómo reacciona la volatilidad justo en el momento en el que llega una noticia imprevista al mercado, por ejemplo, un conflicto geopolítico. Al superar el umbral crítico de 0.1, el activo se considera muy reactivo, lo que significa que ante cualquier novedad, la volatilidad del precio del crudo se dispara de golpe y con gran fuerza.
- **Coeficiente beta ($\beta = 0.5277$)**: Mide la memoria interna del mercado, es decir, cuánto dura el eco de la tensión por su propia cuenta. El valor de 0.5277, indica que el petróleo arrastra de forma importante la inestabilidad de los periodos anteriores.
- **Persistencia total ($\phi = 0.9339$):** Se calcula sumando ambos coeficientes ($\phi = \alpha_1 + \beta$). Como el resultado es menor que 1, el modelo es estadísticamente estable. Sin embargo, al registrar un valor tan cercano a la unidad, nos advierte que ante una alteración del mercado, los efectos del desequilibrio se extienden a lo largo de diversos periodos antes de volver a la normalidad.
- **Peso de las colas ($\nu = 8.7024$):** Representa los grados de libertad de la distribución t-Student utilizada. Un valor bajo, como en este caso, confirma de forma estadística la existencia de colas pesadas, demostrando que el precio del petróleo es propenso a sufrir oscilaciones bruscas con una probabilidad superior a la de una distribución normal.

Con el fin de complementar el análisis, se procede al cálculo de dos datos estructurales derivados de los coeficientes que ayudan a entender el comportamiento del crudo a largo plazo.

El primero es la varianza incondicionada (σ_y^2), que representa el nivel de riesgo hacia el que converge el mercado cuando está estable. Aplicando la fórmula teórica, el cálculo se desarrolla de la siguiente forma:

$$\sigma_y^2 = \sqrt{\frac{\omega}{1-\phi}} = \sqrt{\frac{12.4422}{1-0.9339}} = \sqrt{\frac{12.4422}{0.0661}} = \sqrt{188.233} = 13.72\% \quad (8)$$

Este resultado revela que el mercado del petróleo cuenta con un riesgo estructural permanente y elevado. Incluso en periodos de estabilidad general donde no suceden grandes imprevistos internacionales, el crudo mantiene por su propia naturaleza una variabilidad base muy elevada, reflejada en una desviación estándar incondicionada del 13.72% mensual que se deriva de dicha varianza incondicionada.

El segundo dato es la vida media del *shock* ($h2l$). Aplicando la fórmula correspondiente, este indicador mide la cantidad de periodos necesarios para que la volatilidad generada por un impacto inesperado se reduzca a la mitad:

$$h2l = \frac{-ln(2)}{ln(\phi)} = \frac{-ln(2)}{ln(0.9339)} \approx 10.14\, periodos \quad (9)$$

El valor obtenido indica que los efectos causados por cualquier *shock* poseen una alta persistencia temporal. Una perturbación severa en el precio del petróleo requiere más de diez periodos para que el mercado absorba el 50% de la volatilidad inicial inducida.

3.4. Gestión y mitigación del riesgo en aerolíneas

Para contrarrestar la volatilidad en los precios del combustible, las compañías aéreas implementan diversas medidas de mitigación de riesgos que impactan directamente en su estructura de costes. Estas herramientas se dividen principalmente en dos vertientes: las estrategias financieras, basadas en la contratación de instrumentos financieros para fijar precios, y las estrategias operativas, enfocadas en la optimización logística y la eficiencia técnica de las aeronaves.

3.4.1. Estrategias financieras

Leenawong y Ritthipakdee (2024) comentan que, debido a la inestabilidad del precio del *jet fuel,* las aerolíneas pueden hacer uso de instrumentos financieros para asegurar el precio del barril de Brent[10] antes de comprarlo. Este fenómeno es el llamado *hedging* que traducido del inglés significa cobertura.

[10] En el artículo de Adams y Gerner (2012), se destaca que la cobertura se realiza sobre el crudo porque el *jet fuel* no cotiza en bolsas oficiales y su mercado privado es muy poco líquido y caro, lo que obliga a las aerolíneas a recurrir a una cobertura cruzada *(cross hedging)* con el petróleo como activo de referencia.

En el trabajo presentado por Morrell y Swan (2006), explican que existen diversas formas de cubrir el riesgo: contratos *forward*, contratos de futuros y derivados (opciones, *collars* y *swaps*) *(véase Tabla 6)*.

INSTRUMENTO FINANCIERO	DEFINICIÓN
Contratos *forward*	Acuerdos privados entre dos partes que consisten en establecer hoy un precio fijo para la compra de una cantidad determinada de Brent en una fecha futura.
Contratos de futuros	Comparten similitudes con los contratos *forward,* puesto que también permiten fijar un precio del Brent para una entrega futura, sin embargo, se diferencian en que se negocian en mercados organizados como NYMEX (New York Mercantile Exchange) o la IPE (International Petroleum Exchange).
Opciones financieras	Otorgan a la compañía aérea el derecho, no la obligación, de comprar *(call option)*[11] Brent a un precio previamente estipulado en una fecha futura.
Collars	Permite a las aerolíneas situar el precio del Brent dentro de un rango preestablecido, definiendo un precio máximo y un precio mínimo a pagar.
Swaps	Contratos personalizados en los que una aerolínea pacta un precio fijo de referencia para el Brent durante un tiempo específico, de manera que las fluctuaciones del precio del mercado se compensan entre las partes constituyentes del acuerdo.

Tabla 6. Instrumentos financieros para la gestión del riesgo del combustible. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por Morrell y Swan (2006)

3.4.2. Estrategias operativas

Tankering

Según Wang et al. (2025), el *tankering* es una estrategia en la que las aerolíneas cargan más combustible del necesario para un vuelo con el objetivo de evitar repostar en el aeropuerto de destino cuando allí el precio del fuel es mayor.

[11] Cabe considerar que también existe la opción de venta *(put option)*.

Eficiencia operativa

En palabras de MoghadasNian y Abbasi (2024), es la capacidad que tiene la compañía aérea de reducir costes (combustible) aprovechando al máximo los recursos (aeronaves) de los que dispone y minimizando los desperdicios.

Renovación de flota

Se refiere a la estrategia mediante la cual las aerolíneas optan por sustituir sus aviones de forma progresiva por modelos más modernos y eficientes. En su artículo, Leenawong y Ritthipakdee (2024) mencionan que los fabricantes buscan mejorar el rendimiento de las aeronaves con el fin de reducir el consumo de combustible y reducir costes.

4. CONCLUSIONES

En este último capítulo se exponen los hallazgos definitivos derivados del análisis del mercado energético y su impacto directo en la estabilidad de las compañías aéreas.

En primer lugar, se desglosan las conclusiones generales obtenidas; seguidamente, se detallan las limitaciones del estudio y, para culminar, se plantean las posibles líneas de investigación futura.

4.1. Conclusiones generales

En relación con el primer objetivo específico, el análisis histórico de las crisis del petróleo de 1973 y 1979 ha evidenciado el profundo impacto estructural y las consecuencias que dichos *shocks* supusieron para la aviación. Se ha constatado que, mientras el rígido marco regulatorio de 1973 contuvo inicialmente las tarifas, la desregulación de 1978 expuso por completo al sector en la crisis de 1979, obligando a las aerolíneas a trasladar los costes al usuario, a asumir la pérdida de rentabilidad de los vuelos cargo tradicionales y a reestructurar operativamente el transporte de mercancías mediante el uso generalizado de bodegas en aeronaves de pasajeros de fuselaje ancho (*wide-body*).

Respecto al segundo objetivo específico, la investigación de la estructura de costes ha permitido desglosar con éxito los componentes que configuran el precio final del *jet fuel* y ha verificado que el combustible constituye una partida crítica y exógena para las compañías aéreas. Asimismo, se ha demostrado que el precio final que asumen las aerolíneas no depende únicamente del valor de mercado del crudo de referencia (Brent o WTI), sino que se ve alterado por componentes logísticos de transporte, el efecto del tipo de cambio del dólar y cargas regulatorias añadidas como los derechos de emisión de CO_2 en la Unión Europea.

En lo que concierne al tercer objetivo específico y al objetivo general del trabajo, el estudio econométrico mediante la programación en R de un modelo GARCH (1,1) bayesiano, ha cumplido la meta de determinar y cuantificar el grado de volatilidad del mercado del petróleo, visibilizando el riesgo financiero real de las aerolíneas. La aplicación del test de Gelman-Rubin en el que se obtuvieron unos factores de reducción de escala potencial de 1.00 y 1.01, certifica de manera estricta la convergencia matemática y la validez de las estimaciones.

Los resultados empíricos derivados del modelo arrojan métricas concluyentes: un coeficiente de impacto de las noticias elevado ($\alpha_1 = 0.4062$) que confirma la extrema reactividad del petróleo ante imprevistos; una persistencia total muy cercana a la unidad ($\phi = 0.9339$) que genera *clusters* de inestabilidad prolongados; y una vida media del shock ($h2l$ ≈10.14 periodos) que demuestra que el mercado requiere más de diez periodos para absorber el 50% de una perturbación, convergiendo hacia una desviación estándar incondicionada muy elevada (σ_y^2 =13.72%).

Finalmente, en respuesta al cuarto objetivo específico, se han investigado los mecanismos financieros y operativos de mitigación del riesgo que emplean las compañías aéreas para proteger sus márgenes de explotación. Se concluye que, ante la incapacidad de controlar el precio de la energía, las aerolíneas recurren de manera obligatoria a estrategias mixtas. Por un lado, aplican herramientas de cobertura financiera cruzada (*cross-hedging*) mediante derivados del petróleo, como contratos de futuros, *swaps*, opciones o *collars* para asegurar sus costes a corto plazo. Por otro lado, estas medidas se complementan con soluciones operativas orientadas a la eficiencia a largo plazo, destacando la renovación progresiva de las flotas hacia modelos de menor consumo y la práctica logística del *tankering*.

4.2. Limitaciones

La principal limitación metodológica de esta investigación se debe a la frecuencia mensual de la serie temporal empleada para el análisis econométrico. Si bien esta escala de datos es idónea para modelar la persistencia de la volatilidad a largo plazo, otorga al estudio un carácter predominantemente macroeconómico que restringe su aplicabilidad en el ámbito de la gestión operativa real.

En consecuencia, el diseño metodológico implementado presenta una barrera inevitable al no poder capturar las fluctuaciones diarias o intradiarias del mercado energético. Al omitir estas oscilaciones de alta frecuencia, el modelo no alcanza a reflejar el impacto inmediato que sufren las compañías aéreas en su tesorería y flujos de caja a muy corto plazo, cuando se producen picos de volatilidad imprevistos dentro de una misma jornada de operaciones.

4.3. Posibles líneas de investigación futura

Dado que esta investigación se ha centrado en evaluar el impacto de la volatilidad del combustible de manera agregada y a nivel general para el sector aéreo, se abren vías claras para la continuidad de futuros trabajos enfocados en el análisis de casos específicos.

En primer lugar, se sugiere orientar las próximas investigaciones hacia el estudio individualizado de compañías particulares, lo que permitiría determinar si la estructura de costes interna y la capacidad de resistencia financiera varían significativamente según el modelo de negocio, diferenciando entre aerolíneas tradicionales y aerolíneas de bajo coste (*low-cost*).

Asimismo, esta línea de continuación facilitaría la integración de variables operativas reales que han quedado fuera del alcance de este estudio, tales como el grado de eficiencia energética de la flota actual de cada empresa o su nivel de dependencia de rutas de largo radio.

Por último, este enfoque posibilitaría el diseño y modelado de estrategias de cobertura financiera adaptadas a las necesidades particulares de una compañía concreta, permitiendo calcular qué porcentaje óptimo de derivados financieros requiere cada tipo de operador para blindar eficientemente su margen de explotación ante picos imprevistos en los precios.

5. REFERENCIAS

Adams, Z., y Gerner, M. (2012). Cross hedging jet-fuel price exposure. *Energy Economics*, *34*, 1301-1309. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.06.011

Alonso, J. F. (2026, 11 mayo). *Qué fueron las «7 hermanas» de la industria petrolera y qué papel tuvieron en Venezuela*. BBC News Mundo. https://www.bbc.com/mundo/articles/clyxxe02xnqo

Alvarez, F. X., y Sala, H. (2026). Geopolitical risk and the volatility–activity trade-off: A thermodynamic analogy. *Finance Research Letters*, *98*. https://doi.org/10.1016/j.frl.2026.109858

Ardia, D. (2008). *Financial Risk Management with Bayesian Estimation of GARCH Models: Theory and Application*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 612. Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-78657-3

Ardia, D. (2009). Bayesian estimation of a Markov-switching threshold asymmetric GARCH model with Student-t innovations. *Econometrics Journal*, 12(1), 105–126. https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2008.00253.x

Ardia, D., y Hoogerheide, L. F. (2010). Bayesian estimation of the GARCH(1,1) model with Student-t innovations. *R Journal*, 2(2), 41–47. https://doi.org/10.32614/RJ-2010-014

Bill of Rights Institute, y L. Schneider, G. (s. f.). *The 1973 Oil Crisis and Its Economic Consequences*. Bill Of Rights Institute. https://billofrightsinstitute.org/essays/the-1973-oil-crisis-and-its-economic-consequences/

Blinder, A. (1982). The Anatomy of Double-Digit Inflation in the 1970s. En *Inflation: Causes and Effects* (pp. 261-282). http://www.nber.org/chapters/c11462

Doganis, R. (2010). *Flying Off Course: Airline economics and marketing* (4.ª ed.). Routledge. https://ebookcentral.proquest.com/lib/uab/detail.action?docID=472501#

EAS BCN. (2023, 17 enero). *Combustible para aviones: tipos y características*. https://easbcn.com/aerolineas-mas-seguras-del-2026/

EIA. (2013). *Crack Spread*. U.S. Energy Information Administration (EIA). https://www.eia.gov/todayinenergy/includes/crackspread_explain.php

European Commission. (s. f.). *About the EU ETS*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-markets/about-eu-ets_en?prefLang=es&etrans=es

Forsyth, P., y Dwyer, L. (2009). Exchange rate changes and the cost competitiveness of international airlines: The Aviation Trade Weighted Index. *Research In Transportation Economics*, *26*, 12-17. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.10.003

Gasoil, A. (2025, 23 diciembre). *LA MONTAÑA RUSA DEL PETRÓLEO: HITOS HISTÓRICOS QUE MÁS HAN HECHO FLUCTUAR EL PRECIO DEL GASOIL*. https://www.agrupaciongasoil.es/blog/hitos-historicos-que-han-hecho-fluctuar-el-precio-del-gasoil/

Graefe, L. (2013, 22 noviembre). *Oil Shock of 1978-79*. Federal Reserve History. https://www.federalreservehistory.org/essays/oil-shock-of-1978-79

IATA. (2025). *Global Outlook for Air Transport: Trade, AI, and the energy transition*. https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/global-outlook-for-air-transport-december-2025/

Imanov, T., y Imamoglu, H. (2022). IMPACT OF THE ENERGY CRISIS ON COMMERCIAL AIRLINES STOCK PRICE. En *International research in social, human and administrative sciences II* (1.ª ed., pp. 217-225). C. Cansın Selin Temana. https://www.researchgate.net/publication/370669668_IMPACT_OF_THE_ENERGY_CRISIS_ON_COMMERCIAL_AIRLINES_STOCK_PRICE

Köse, Y., y Aktan, C. (2022). Analysis of Cost Structures and Cost Control Strategies of Airlines: An Empirical Study on A Hypothetical Airline Company. *Journal Of Aviation*, *6*(1), 42-49. https://doi.org/10.30518/jav.1024489

Lee, J., y Mo, J. (2011). Analysis of Technological Innovation and Environmental Performance Improvement in Aviation Sector. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 3777-3795. https://doi.org/10.3390/ijerph8093777

Leenawong, C., y Ritthipakdee, A. (2024). Fuel Costs Optimization for Long-Haul Flight with Refueling Layovers. *International Journal Of Technology*, *15*(6). https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i6.7285

Marshall, M. (2021, 14 octubre). *Jet and Diesel Consumers: Could Prices Be Much Higher in 2022?* AEGIS HEDGING. https://aegis-hedging.com/insights/Jet-and-Diesel-Consumers-Could-Prices-Be-Much-Higher-in-2022

Martin Fisher. (2025, 9 octubre). *CURSO DE ACEPTACIÓN Y DEVOLUCIÓN DE AERONAVES (AIRCRAFT DELIVERY & REDELIVERY): LEASING, COMPRAVENTA Y CONVENIO DE CIUDAD DEL CABO*. https://martinfisher.es/leasing-aeronautico-aceptacion-devolucion-aeronaves/

Moreno, J. F. (2019). Análisis de los costos de las aerolíneas. *Visionario Digital*, *3*(3), 313-326. https://doi.org/10.33262/visionariodigital.v3i3.856

MoghadasNian, S., y Abbasi, L. (2024). *Elevating Flight Operations Efficiency A KPI-Driven Approach for Airline Performance Enhancement*. https://www.researchgate.net/profile/Seyyedabdolhojjat-Moghadasnian/publication/378491310_Elevating_Flight_Operations_Efficiency_A_KPI-Driven_Approach_for_Airline_Performance_Enhancement/links/6848fd768a76251f22ecfda6/Elevating-Flight-Operations-Efficiency-A-KPI-Driven-Approach-for-Airline-Performance-Enhancement.pdf

Morrell, ., y Swan, W. (2006). Airline Jet Fuel Hedging: Theory and Practice. *Transport Reviews*, *26*(6), 713-730. https://doi.org/10.1080/01441640600679524

Motorpasión. (2013, 17 octubre). *17 de octubre de 1973, el final del cuento de hadas del petróleo*. https://www.motorpasion.com/otros/17-de-octubre-de-1973-el-final-del-cuento-de-hadas-del-petroleo

Plummer, M., Best, N., Cowles, K., y Vines, K. (2006). CODA: Convergence Diagnosis and Output Analysis for MCMC. *R News*, 6(1), 7–11.

R Core Team. (2025). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

SpotMarketCap. (2025, 7 noviembre). What is WTI vs Brent Crude Oil? Key Differences Explained. *SpotMarketCap*. https://www.spotmarketcap.com/blog/what-is-wti-vs-brent-crude-oil

Wang, C., Yue, S., Liao, W., Ji, Q., y Zhang, A. (2025). Environmental and welfare effects of airline fuel tankering strategy. *Transportation Research*. https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104337

Yergin, D. y Center on Global Energy Policy. (2023, 16 octubre). *The 1973 Oil Crisis: Three Crises in One—and the Lessons for Today*. Center On Global Energy Policy At Columbia | SIPA. https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/the-1973-oil-crisis-three-crises-in-one-and-the-lessons-for-today/

ACRÓNIMOS

EAS BCN	European Aviation School Barcelona
EIA	U.S. Energy Information Administration
IATA	International Air Transport Association
IPC	Índice de Precios al Consumo
IPE	International Petroleum Exchange
NYMEX	New York Mercantile Exchange
OPAEC	Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo
RCDE UE	Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea
TCP	Tripulante de Cabina de Pasajeros
WTI	West Texas Intermediate