

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio



**Modelo matemático para la gestión de
compañías aéreas en un entorno de alta
presión competitiva. Aplicación para
evaluar el impacto de las nuevas
regulaciones medioambientales en los
resultados de negocio de las compañías
aéreas**

TESIS DOCTORAL

Presentada para optar al título de Doctor por:

José Jaime Pons
Ingeniero Aeronáutico

Madrid, 2024



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y
del Espacio

Doctorado en Ingeniería Aeroespacial

**Modelo matemático para la gestión de
compañías aéreas en un entorno de alta
presión competitiva. Aplicación para evaluar
el impacto de las nuevas regulaciones
medioambientales en los resultados de
negocio de las compañías aéreas**

TESIS DOCTORAL

Presentada para optar al título de Doctor por:

José Jaume Pons

Ingeniero Aeronáutico

Bajo la dirección de:

Dr. Gustavo Alonso Rodrigo

Dr. Arturo Benito Ruiz de Villa

Madrid, 2024

Título: Modelo matemático para la gestión de compañías aéreas en un entorno de alta presión competitiva. Aplicación para evaluar el impacto de las nuevas regulaciones medioambientales en los resultados de negocio de las compañías aéreas

Autor: José Jaume Pons

Programa de Doctorado: Ingeniería Aeroespacial

Dirección de tesis:

Dr. Gustavo Alonso Rodrigo, Catedrático de Transporte Aéreo, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (Director).

Dr. Arturo Benito Ruiz de Villa, profesor Emérito de Transporte Aéreo, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio.

A mi familia, con la ilusión de que mis nietos Julia (7) y Beltrán (4) sigan la tradición familiar y también disfruten de estudiar en la Universidad.

Agradecimientos

A mi familia, por su apoyo incondicional y entusiasta, por su comprensión y respeto para la realización de esta tesis.

A mis Directores de tesis, Dr. D. Gustavo Alonso Rodrigo y Dr. D. Arturo Benito Ruiz de Villa, por nuestras fructíferas conversaciones, su cuidadosa lectura del manuscrito, su apoyo, ayuda y exigencia.

A mis profesores de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE), y especialmente al Profesor D. Ramiro Fernández, Catedrático de Transporte Aéreo, y al Profesor D. Amable Liñán, Catedrático de Mecánica de Fluidos, por lo que me han enseñado, por su generosa amistad y ser para mí una referencia intelectual y humanista para siempre.

A la Subdirectora de Investigación y Doctorado de la ETSIAE, Profesora D^a María Victoria Lapuerta González, y a la Subdirección, por su ayuda en el proceso de gestión, organización y trámites.

A una Profesora de Matemáticas de la Universidad Complutense de Madrid, por su inspiración e impulso.

A mis compañeros de promoción, por los años de amistad y crecimiento, por disfrutar juntos. Y seguimos.

A la ETSIAE, por su hospitalidad.

A todas las personas que han contribuido a hacer posible esta tesis (diseños gráficos, saludos matinales, interesarse por el proceso, ánimos, sonrisas cariñosas, amabilidades, ...).

Abstract

During the last decades, the air transport industry has undergone a series of disruptions due to economic downturns, new regulations or geopolitical and health crises. In all cases, the industry has proven its resilience and recovered its growth patterns in a relatively short period of time, implementing notable transformations to succeed. Air transport liberalization caused a major disruption, it was like starting the business from scratch again. The initial and boundary conditions of the market changed radically. A new and highly competitive environment emerged, which went from a quasi-steady laminar flow to a turbulent one. New airlines emerged with unusual approaches, culture and mindsets, very different from those of the existing ones. The usual buyers' market became a sellers' market, which meant high-pressure competition. Not only did the rules of the game change, but so did the playing field. Liberalization marked a very significant watershed in the air transport industry. It was like a "sea-change" (Shakespeare, 1623).

After liberalization, the future of the air transport industry has been less and less of an evolutionary consequence of the past, driven by the immediacy of change. It was like going from silent movies to talkies, where not every actor knew how to adapt. Chaplin was an exception and also an example of knowing how to change. For established airlines, the challenge has been (and still is) not just to change, but to change rapidly. Established airlines that have failed to do so have either disappeared or been taken over. The present market situation depicts a reduced number of large hub & spoke airlines and a big number of so-called Low-Cost Carriers (LCC).

One may wonder why airlines that were once thriving and profitable before liberalization have disappeared, some even in the midst of an expansion in demand. Why have they been unable to adapt their savvy to this new competitive scenario? To answer that question and others related to it, this thesis proposes a management mathematical model for managing airlines, putting in relation the main variables that describe the business behavior of an airline. From these variables, the break-even curve and the business concept will be defined. The break-even curve enables straightforward identification of the relative position of the airline in regard to its competitors and helps to consider the decisions to be taken, together with their practical basis, and illustrate the solutions. It also becomes a useful tool to investigate and identify the reasons why certain airlines have succeeded or failed.

The management model also provides a useful tool to assess and address the cost impact due to the new regulatory environment, which proposes the introduction of Sustainable Aviation Fuel (SAF) to help air transport decarbonization. Based upon the break-even curve and in conjunction with the relationship between fuel cost increment and fuel cost related to Operating Expenses of airlines, the unit cost increment due to SAF is obtained. We determine the impact on the airlines' business results for several scenarios of SAF prices and different airlines, showing the break-even curve limits that must not be crossed to guarantee service continuity. Some examples are provided for both Network airlines and LCCs. In many cases, we find that the use of 100% SAF with prices beyond 1.5 times the present fuel price generates losses and, therefore, are not feasible if it is not possible to transfer SAF price to passenger fares due to demand elasticity.

This thesis is of use and provides value to airlines, the International Civil Aviation Organization (ICAO), the International Air Transport Association (IATA), practitioners, scholars and academics, among others.

The business concept in the model is here applied to the air transport industry; but it may also prove useful for other industries and organizations, both private and state-owned.

Resumen

Durante las últimas décadas, la industria del transporte aéreo ha sufrido una serie de recesiones económicas, nuevas regulaciones o crisis geopolíticas y sanitarias. En todos los casos, la industria ha demostrado su resiliencia y ha recuperado sus patrones de crecimiento en un período de tiempo relativamente corto, realizando cambios notables para conseguirlo. La liberalización del transporte aéreo provocó una disrupción importante, fue como volver a empezar el negocio desde cero. Las condiciones iniciales y de contorno del mercado cambiaron radicalmente, generándose un nuevo entorno altamente competitivo. Surgieron nuevas compañías aéreas con enfoques, cultura y mentalidades innovadoras, muy diferentes a las existentes. No solo cambiaron las reglas de juego, sino también el campo de juego. La liberalización marcó un hito muy significativo en la industria del transporte aéreo. Fue como cambiar el mar (Shakespeare, 1623).

Tras la liberalización, el futuro de la industria del transporte aéreo ha sido cada vez menos consecuencia evolutiva del pasado, impulsada por la inmediatez del cambio. Para las compañías aéreas establecidas, el desafío ha sido (y sigue siendo) no solo cambiar, sino cambiar rápidamente. Las compañías aéreas establecidas que no lo han conseguido han desaparecido o han sido absorbidas. La situación actual del mercado muestra un número reducido de grandes compañías aéreas de red operando a través de aeropuertos *Hub & Spoke* y un gran número de las llamadas *Low Cost Carriers* (LCCs).

Cabe preguntarse por qué compañías aéreas prósperas y rentables antes de la liberalización han desaparecido, algunas incluso en medio de una expansión de la demanda. ¿Por qué no han sido capaces de adaptar su buen hacer al nuevo escenario competitivo? Para responder a esta pregunta y otras relacionadas con ella, esta tesis propone un modelo matemático para la gestión de compañías aéreas, relacionando las principales variables que describen el comportamiento de negocio de una compañía aérea. A partir de estas variables, se define la curva de equilibrio (*break-even*) y el concepto de negocio. La curva de equilibrio permite identificar la posición de una compañía aérea con respecto a sus competidores y ayuda a considerar las decisiones a tomar, junto con su base práctica, e ilustra las soluciones. También es una herramienta útil para investigar e identificar las razones por las que algunas compañías aéreas han tenido éxito o han fracasado.

El modelo de gestión también proporciona una herramienta útil para evaluar y abordar el impacto en los costes debido a la introducción de combustible de aviación sostenible (SAF) para la descarbonizar el transporte aéreo. Utilizando la curva de equilibrio, en conjunción con el incremento de coste del combustible y su relación con los costes operativos de las compañías aéreas, se obtiene el incremento del coste unitario debido a la introducción de SAF. Se determina el impacto en los resultados de negocio de las compañías aéreas para varios escenarios de precios del SAF, mostrando los límites de la curva de equilibrio para garantizar su continuidad operativa. Se incluyen algunos ejemplos para compañías de red y LCCs. En muchos casos, el uso de 100% SAF con un precio superior a 1,5 veces el precio actual del combustible genera pérdidas y, por lo tanto, no es viable si no es posible trasladar el precio del SAF a las tarifas de los pasajeros debido a la elasticidad de la demanda.

Esta tesis es de utilidad y aporta valor a las compañías aéreas, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA), profesionales, académicos y especialistas, entre otros. El concepto de negocio del modelo se aplica aquí a la industria del transporte aéreo; pero también puede resultar útil para otras industrias y organizaciones, tanto privadas como públicas.

Tabla de Contenido

<i>Agradecimientos</i>	<i>iii</i>
<i>Abstract</i>	<i>iv</i>
<i>Resumen</i>	<i>v</i>
<i>Lista de Figuras</i>	<i>viii</i>
<i>Lista de Tablas</i>	<i>ix</i>
<i>Abreviaturas y Acrónimos</i>	<i>x</i>
1. Introducción	1
1.1. La liberalización del transporte aéreo	1
1.2. Estados Unidos. Condiciones previas y evolución	2
1.3. Europa. Condiciones previas y evolución	5
1.4. Cambios principales	7
1.5. Reestructuración de la red de rutas: sistema <i>Hub & Spoke</i>	8
2. Estado de la cuestión	13
2.1. Estados Unidos	15
2.2. Europa	16
2.2.1. Efecto de los <i>Low Cost Carriers</i> (LCCs) en Europa	17
2.3. Nuevas regulaciones medioambientales	18
2.4. Compañías aéreas prósperas y rentables desaparecen: ¿por qué?	21
3. Material y métodos	23
3.1. Unidades de producción ligadas al negocio	23
3.2. Variables económicas de negocio	24
3.3. Ecuación general de negocio de una Compañía Aérea	24
3.4. Ecuación de equilibrio o <i>Break-Even</i> y su curva asociada	26
3.5. Discusión de la ecuación de <i>Break-Even</i> sin incremento de coste	27
3.6. Discusión de la ecuación de <i>Break-Even</i> con incremento de coste	41
3.7. Discusión cuando no se parte de la curva de <i>Break-Even</i> sino con resultados > 0	56
3.8. Discusión cuando no se parte de la curva de <i>Break-Even</i> sino con resultados < 0	71
3.9. Ecuaciones de negocio referidas a Horas Bloque (BH)	85
3.10. Impacto del precio del combustible SAF en los Costes Operativos	90
4. Resultados	93
4.1. La ecuación de <i>Break-Even</i> y su curva asociada.....	93
4.2. La curva explica la ecuación	95

4.3. El reto de bajar la curva de <i>Break-Even</i>	98
4.4. Efecto de las nuevas regulaciones medioambientales en los costes operativos	99
5. Discusión	107
5.1. Problemas en las compañías aéreas establecidas	107
5.2. Las soluciones	107
5.2.1. Analogía matemática en derivadas parciales	108
5.3. Unir el mundo de los conceptos con el mundo de las cosas	109
5.4. Concepto de negocio vs naturaleza del negocio	110
5.5. Efecto de las nuevas regulaciones medioambientales	111
6. Conclusiones	112
6.1. El reto del cambio	112
6.2. Síntesis final	113
6.3. Aplicación al caso de la implantación del SAF	114
6.4. Campos de investigación adicional	115
6.5. Aplicación a otras industrias	115
Referencias	117

Lista de Figuras

- Figura 1.1: Subredes de rutas intercontinentales y domésticas (UE).
- Figura 1.2: Esquema de red de rutas mundiales.
- Figura 1.3: Red de vuelos vía Hub.
- Figura 1.4: Redes de rutas a través de *hubs*.
- Figura 2.1: Plan de reducción de emisiones de CO₂ (ATAG, 2023).
- Figura 3.1: Representación gráfica de los resultados de una compañía aérea.
- Figura 3.2: Curva de *break-even* o de equilibrio con un coste unitario de 9 *cts/ako*, correspondiente a una media de AF, LH, DL (ver Tabla 2.1).
- Figura 3.3: Representación gráfica entre incrementos (u, v) con $u = f(v)$. La línea roja corresponde a la tangente en el origen.
- Figura 3.4: Relación gráfica entre incrementos (u, v) con $u = f(v)$.
- Figura 3.5: Cuando se parte de resultados positivos.
- Figura 3.6: Cuando se parte de resultados negativos.
- Figura 3.7: Representación gráfica de Ingresos y Costes en función de BH.
- Figura 3.8: Ingresos y costes de *Legacy Carrier* (1) y LCC (2).
- Figura 3.9: Representación gráfica de una compañía aérea en pérdidas.
- Figura 3.10: Compañía aérea en equilibrio económico ($R=0$).
- Figura 3.11: Compañía aérea con beneficios.
- Figura 3.12: Ingresos y costes unitarios por BH de *Legacy Carrier* (1) y LCC (2).
- Figura 3.13: Margen de incremento del CASK entre dos curvas de *break – even* genéricas para mantener resultados positivos.
- Figura 4.1: Curvas de *break-even* con un coste unitario de 9 *cts/ako* (media de compañías tradicionales, rojo) y 5 *cts/ako* (media de LCCs, azul).
- Figura 4.2: Curvas de equilibrio para compañías aéreas de red (azul) y punto a punto (verde) que operan una combinación de vuelos de corta, media y larga distancia.
- Figura 4.3: Aerolínea A: desplaza su curva de equilibrio hacia abajo hasta la de la aerolínea C, y cambia su zona comercial CZ.
- Figure 4.4: Cambio de zona comercial de la aerolínea A, reducción de *yield* e incremento de *LF* (indicado por flecha azul).
- Figure 4.5: Curvas de *break-even* de IAG indicando su margen de incremento de CASK (2019).
- Figure 4.6: Curvas de *break-even* de Ryanair indicando su margen de incremento de CASK (2019)
- Figura 4.7: Diagramas de barras de IAG y Ryanair para mostrar los incrementos de CASK según los precios de 100% SAF en el avión.

Figura 4.8: Diagramas de barras de IAG y Ryanair para mostrar los incrementos de CASK según la mezcla del 70 % de SAF y diferentes precios.

Figura 6.1: Cambios estratégicos de una compañía aérea A, frente a un competidor C de menor coste: desplazar la curva de equilibrio hacia la de C (flecha verde), y desplazar la zona comercial (flecha azul). Además, se puede añadir un producto *premium*.

Lista de Tablas

Tabla 2.1: Diferentes cifras de negocio de compañías de red y LCC en 2019. Fuente: informes anuales de gestión de cada compañía aérea (€).

Tabla 3.1: Indicadores de negocio y relacionados con el coste de combustible (2019).

Tabla 4.1: Incremento de CASK debido al 100% de SAF según diferentes precios.

Tabla 4.2: Incremento del CASK por precios de 100% SAF para diferentes compañías aéreas.

Tabla 4.3: Efecto sobre el incremento del coste del combustible para diferentes precios de SAF y mandato de mezcla de SAF de la UE.

Tabla 4.4: Incremento del CASK para distintas compañías aéreas con mezcla 70% SAF.

Tabla 4.5: Algunos datos de negocio de 2023 (parciales y preliminares) vs. 2019.

Tabla 4.6: Indicadores de negocio de IAG y Ryanair en 2023.

Abreviaturas y Acrónimos

AKO	Asiento Kilómetro Ofrecido
AL	Conjunto universal de compañías aéreas
AL _n	Compañía aérea perteneciente al conjunto AL
AP	Conjunto universal de aeropuertos
ASK	<i>Available seat kilometer</i> = AKO
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials International</i>
ATAG	<i>Air Transport Action Group</i>
ATC	<i>Air Traffic Control</i>
ATM	<i>Air Traffic Management</i>
AWA	<i>Airline Within Airline</i>
BH	<i>Block Hour</i> , Hora Bloque
BH _{be}	<i>Block Hour</i> de <i>break-even</i> (equilibrio)
BPI	<i>Business Performance Indicator</i>
c	Coste unitario = CASK
CAB	<i>Civil Aeronautics Board</i>
CASK	Coste por <i>Available Seat Kilometer</i>
CEE	Comunidad Económica Europea
CF	Coste Fijo
cf	Coste fijo por BH
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CORSIA	<i>Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation</i>
CRM	<i>Customer Relationship Management</i>
CRS	<i>Computer Reservation System</i>
CZ	Zona Comercial, <i>Commercial Zone</i>
DNS	<i>Direct Numerical Simulation</i>
DOC	<i>Direct Operating Cost</i> , Coste Directo Operativo
doc	DOC por BH
EASA	<i>European Union Aviation Safety Agency</i>
EEUU	Estados Unidos
ETS	<i>Emissions Trading System</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FOC	<i>Fixed Operating Cost</i> , Coste Fijo Operativo
foc	FOC por BH
H	Aeropuerto <i>Hub</i> perteneciente al conjunto A
I	Ingresos
i	Ingresos por BH
IAG	<i>International Airlines Group</i>
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
ILT	<i>International Leisure Traveler</i>
IT	<i>Inclusive Tourism</i>
LCC	<i>Low-Cost Carrier</i> , Compañía de bajo coste
LES	<i>Large Eddy Simulation</i>
LF	<i>Load Factor</i> , Factor de Ocupación
LF _{be}	<i>Load Factor</i> de <i>break-even</i>
MBM	<i>Market Based Measures</i>
MRO	<i>Maintenace, Repair and Overhaul</i>
NM	<i>Nautical Miles</i> , Milla Náutica
NW	<i>Network</i> , Red de Rutas
NW _n	Red de Rutas de la compañía aérea AL _n
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional

OE	<i>Operating Expenses, Costes Operativos</i>
OPS	Operaciones de Vuelo
PKT	Pasajero Kilómetro Transportado
pkt	Pasajero kilómetro transportado
RPK	<i>Revenue Passenger Kilometer</i>
SAF	<i>Sustainable Aviation Fuel</i>
SESAR	<i>Single European Sky ATM Research</i>
SET	<i>Strategic Energy Technology</i>
SWA	<i>Southwest Airlines</i>
TA	Transporte Aéreo
TO	Tour Operador
UE	Unión Europea = <i>EU</i>
US	<i>United States</i>

NOTA PRELIMINAR

Esta tesis está basada en trabajos de investigación actuales y también en la propia experiencia profesional y empresarial en la gestión del transporte aéreo. Junto con mis Directores, he sido muy feliz al escribirla. Es una satisfacción compartir lo que he aprendido, por si fuera de interés y utilidad para la gestión de compañías aéreas.

La tesis me ha hecho descubrir mi ignorancia, y ha sido un bonito descubrir, idear y aprender. También me ha hecho descubrir lo que sé y conservo en la razón y en el corazón, y esto también ha sido un bonito descubrir. Como Ítaca, esta tesis me ha dado un viaje hermoso.

Palma, julio/septiembre de 2024

*¡Oh, Roma! En tu grandeza, en tu hermosura,
se fue lo que era firme, solamente
lo que fluye permanece y dura.*

Francisco de Quevedo (pequeña variación)

1. Introducción

El ámbito básico de investigación de esta tesis es la industria del transporte aéreo en Estados Unidos y Europa, pero sus resultados y conclusiones son aplicables a la gestión de cualquier compañía aérea del mundo.

1.1 La liberalización del transporte aéreo

La liberalización del transporte aéreo empezó en Estados Unidos (EEUU) y consistió principalmente en introducir tres cambios regulatorios de gran calado: 1) libertad de acceso al mercado (rutas), 2) libertad de tarifas y 3) libre capacidad de oferta (frecuencias y tamaño de aviones). A partir de EEUU, la liberalización se propagó en diversas formas al transporte aéreo de casi todos los países del mundo, en el tráfico doméstico e internacional. Antes de la liberalización, el acceso al mercado, las tarifas y la capacidad estaban altamente regulados y limitados por los organismos pertinentes cada país y mediante acuerdos bilaterales de reciprocidad entre Estados.

Desde la liberalización del tráfico aéreo doméstico en EEUU en virtud del *US Airline Deregulation Act* de 1978 y la posterior liberalización en la Unión Europea (UE) (1987/88–1997), la industria del transporte aéreo ha experimentado cambios relevantes, profundos y prolongados. En muchos casos han sido discontinuidades, con tiempos característicos de cambio muy breves para los estándares de la industria. Las condiciones iniciales y de contorno cambiaron radicalmente, generándose un nuevo entorno competitivo. Se pasó de un régimen laminar cuasi estacionario a un régimen turbulento. Surgieron nuevas compañías aéreas con planteamientos, cultura y mentalidades insólitos, muy diferentes a las compañías aéreas tradicionales. Los costes y las tarifas de los nuevos entrantes eran muy inferiores, inasumibles para las compañías aéreas establecidas. Las rutinas habituales dejaron de cumplirse. La demanda cambió su comportamiento, con pérdida de fidelidad y un importante aumento impulsado por una mayor accesibilidad de la oferta. No sólo cambiaron las reglas de juego sino también el campo de juego. La liberalización ha marcado un antes y un después muy significativo en la industria del transporte aéreo.

Tras la liberalización, el futuro de la industria del transporte aéreo ha sido de cada vez menos consecuencia evolutiva del pasado, impulsado por la inmediatez del cambio. Fue como pasar del cine mudo al sonoro, donde no todos los actores supieron adaptarse, Chaplin fue una excepción y un ejemplo de saber cambiar. Para las compañías aéreas establecidas, el reto ha sido (y es) no sólo cambiar sino cambiar rápidamente. Las compañías aéreas establecidas que no han logrado cambiar han desaparecido o han sido absorbidas.

1.2 Estados Unidos. Condiciones previas y evolución

Antes del *Airline Deregulation Act*, las rutas y tarifas de cada compañía aérea estaban reguladas por el *Civil Aeronautics Board* (CAB). Para ofrecer nuevas rutas regulares, una compañía aérea debía demostrar su ‘Pública Conveniencia y Necesidad’ y obtener el correspondiente Certificado expedido por el CAB (Meyer et al., 1981). Además de la estructura de rutas y tarifas, el CAB también debía aprobar las posibles fusiones entre compañías aéreas, especialmente cuando alguna tenía problemas financieros que ponían en riesgo la continuidad del servicio. La intención básica del CAB era prevenir bancarrotas y mantener la estabilidad de la industria, evitando bajas tarifas y sin demasiados incentivos para el control de costes (Meyer et al., 1984). La regulación favorecía más la incorporación de gestores con conocimientos de carácter legal que con conocimiento del negocio (Meyer et al., 1987). Las compañías aéreas sólo competían en calidad de servicio y glamur, hasta el punto de que muchas personas recuerdan aquella época como la ‘época dorada de la aviación’. Los resultados positivos estaban casi garantizados, a menos que hubiera una bajada sustancial del tráfico o un sobrecoste repentino (por ejemplo el sobrecoste repentino del combustible). La demanda era muy selectiva.

Existía liberalización sólo *intrastate*, no sujeta a la regulación del CAB sino a organismos propios de cada Estado, con compañías regionales (*commuters*) operando rutas de corto radio y baja densidad, muchas de ellas con pequeños aviones. El CAB también otorgaba licencias para compañías chárter (*supplemental carriers*) para operar largo radio y mercado turístico, generalmente con aviones antiguos. Su operación tenía poco impacto en la industria y mucho menos después de la liberalización, con las compañías establecidas compitiendo intensamente en el largo radio (Meyer et al., 1984). Con la liberalización surgió un nuevo tipo de compañía aérea, los denominados *Low-Cost Carriers* (LCCs). Como ejemplo, antes de la liberalización, Southwest Airlines (SWA) era una pequeña compañía regional, cuya regulación del CAB le impedía volar fuera del estado de Texas. En la actualidad, Southwest es la mayor compañía aérea LCC de EEUU, con una flota de 747 aviones (2019) del tipo Boeing 737 (Southwest, 2019).

Con la aprobación del *Airline Deregulation Act*, el requisito del CAB de obtener el certificado de ‘Pública Conveniencia y Necesidad’ para operar una ruta dio paso a la condición de que la compañía aérea solicitante fuera “válida, dispuesta y capaz” (“*fit, willing and able*”) para operar adecuadamente cualquier ruta que deseara (Meyer, Oster et al., 1984). Con esta provisión, el trámite del CAB para otorgar la ruta solicitada era prácticamente inmediato, incluyendo la libertad total de capacidad de oferta. Esto representó un cambio crucial en la industria del transporte aéreo y en el mercado.

El otro cambio crucial fue la libertad de tarifas. Inicialmente, se fijó un intervalo de variación tanto para su incremento (entre un 5 y un 10 por ciento) como para su reducción (hasta un máximo del 50 por ciento) respecto a unos baremos establecidos por el propio CAB. Sin embargo, muy pronto se amplió completamente el intervalo de variación tarifaria y el CAB abandonó todo control sobre las tarifas (Meyer et al., 1984).

El *Airline Deregulation Act* por el que se liberalizaba el transporte aéreo se promulgó en octubre de 1978 con carácter irreversible y de aplicación inmediata. En 1984, por imperativo legal del propio *Airline Deregulation Act*, el CAB se disolvió como organismo regulador del transporte aéreo. Sus restantes funciones reguladoras se transfirieron al Departamento de Transportes (Meyer et al., 1984). No solo se suprimió la regulación sino también el regulador.

La libertad de rutas y tarifas impulsó enseguida la irrupción de nuevos entrantes LCCs. Con unos costes y tarifas muy inferiores a las compañías establecidas, los LCCs explotaban su bajo coste como ventaja competitiva respecto a las compañías tradicionales para reducir tarifas. Su estructura de rutas se concentró principalmente en los mercados de corto y medio radio y densidad media y alta, con rutas punto a punto para evitar los costes y la complejidad de los vuelos en conexión. Asimismo, el servicio era mucho más simple (*no-frills*, estructura tarifaria simplificada, etc.) que el de las compañías establecidas. En muchos casos utilizando aeropuertos secundarios como base de operaciones (Meyer et al., 1984).

Se crearon nuevas compañías aéreas LCCs como Midway Airlines, Muse Air, New York Air y People Express. Otros nuevos entrantes LCCs ya eran operadores dentro del propio Estado (*intrastate*): Air California, Air Florida, Pacific Southwest Airlines y Southwest.

1.2.1 Respuesta de las compañías aéreas establecidas

La respuesta inicial de las compañías establecidas a los retos de los LCCs se basó en tres estrategias principales (posteriormente hubo más):

1. Establecer una estructura de rutas basada en el sistema *Hub & Spoke* (se comentará en detalle más adelante). Consiste en establecer un aeropuerto troncal como base de conexión de vuelos, de forma que una ruta punto a punto que no resulta rentable pueda realizarse mediante conexión a través del *hub*. Esta estructura permite ofrecer múltiples rutas en conexión, con una mayor ocupación de los aviones, de forma que aumenta la oferta de las compañías establecidas por encima de la capacidad de oferta de los LCCs, incluso operando en el *hub*. Las compañías aéreas establecidas no sólo respondieron con el sistema *Hub & Spoke* en los mercados comunes con los LCCs sino también en los demás mercados como efecto disuasorio para nuevos entrantes (Meyer et al., 1987). El sistema *Hub & Spoke* es un ejemplo de cambio de campo de juego.
2. Implantación de sofisticados y potentes sistemas de reservas (*Computer Reservation System*, CRS). Esto permitió una mejor gestión de los ingresos (*yield management*) y del control de la oferta (control de inventario), controlando la capacidad de oferta de tarifas reducidas con suficiente flexibilidad para competir con los LCCs en su oferta tarifaria. Para aplicar una reducción de tarifas, las compañías aéreas establecidas no necesitan reducirlas en toda su gama de oferta sino parcial, análoga a la oferta de los LCCs. Mediante los CRSs, se controla el ingreso variando la tarifa según la hora del día, el día, la semana, etc., dependiendo de la variación de la demanda, y al mismo tiempo se controla la oferta. De esta forma se facilita que la dilución tarifaria de las compañías aéreas establecidas sea la menor posible. También se utilizó este sistema en mercados

no operados por los LCCs como efecto disuasorio para nuevos entrantes (Meyer, Oster et al., 1984).

3. Implantación de sistemas de fidelización de clientes, con programas para pasajeros frecuentes (*Customer Relationship Management*, CRM). De esta forma, los pasajeros frecuentes pueden obtener vuelos gratuitos (o casi) en la propia compañía u otras asociadas, tener prioridades en el servicio, ofertas especiales, etc. Y también es una manera de conocer al cliente (preferencias de asiento, comidas, etc.) y adaptar mejor el producto/servicio ofrecido. Es una forma de fidelizar al cliente que tiene su coste y que muchos de los LCCs no se pueden permitir.

No todos los nuevos entrantes LCCs tuvieron continuidad, como es el caso de People Express y la mayoría de los mencionados anteriormente. Después de un éxito inicial fulgurante, muchos LCCs desaparecieron o fueron absorbidos al cabo de pocos años, mostrando que ofrecer bajas tarifas es condición necesaria pero no suficiente para tener éxito en el mercado (Gillen et al., 2008). En sentido contrario, un ejemplo virtuoso de éxito continuado es Southwest. Además, algunas compañías aéreas troncales (*trunk carriers*) también desaparecieron; de la consideradas ‘cuatro grandes’ (“*big four*”) antes de la liberalización, American Airlines, Eastern, TWA y United Airlines, solo American y United se mantienen operativas.

Antes de la liberalización, existían compañías aéreas internacionales emblemáticas como Pan Am, TWA, Braniff International. En el tráfico doméstico (mayoritariamente, pero no el único), cabe citar: American Airlines, Delta, United Airlines, Eastern, USAir, Continental, Western, Air Florida, Pacific South Airlines (PSA), Southwest, Republic, Frontier, Northwest, entre otras. Todas pertenecientes al sector privado.

Después de la liberalización, con mayor o menor rapidez, muchas de estas compañías aéreas cesaron operaciones, desaparecidas o absorbidas. Un ejemplo paradigmático es el caso de Pan Am (quiebra en 1991), pionera e innovadora en muchos aspectos, *launcher customer* del Boeing 747; y así también TWA (2001), Braniff International (1982), Eastern (1991), Continental (2010), Northwest (2010) y otras.

Como un indicador de los efectos de la liberalización, la conjunción de la cuota de mercado conseguida por los nuevos entrantes y la respuesta tarifaria de las compañías aéreas establecidas en rutas comunes, generó una reducción de tarifas en torno al 26% en los tres primeros años de liberalización (Meyer et al., 1984). La reducción de tarifas, para determinados segmentos del mercado y con una capacidad de oferta controlada, ha ido aumentando debido a la competencia entre las distintas compañías existentes. El tráfico aéreo también ha aumentado, impulsado por la reducción de tarifas.

Dos de los efectos más importantes de la liberalización han sido: una gama de oferta tarifaria mucho más amplia, sin restricción para reducir tarifas, y la mejora de productividad y la reducción de costes en toda la industria.

Alfred E. Khan, desde la presidencia del CAB, fue el artífice del *Airline Deregulation Act* y el senador Edward Kennedy uno de sus principales impulsores legislativos. En una

conferencia internacional sobre transporte aéreo celebrada en Niza (1988), a la que asistimos, Alfred Khan nos dijo: “*I would do it again*”.

1.3 Europa. Condiciones previas y evolución

A diferencia de Estados Unidos, la liberalización del transporte aéreo en la UE y resto de Europa fue paulatina. Se inició en 1987/88 y culminó en 1997. La estructura de la industria del transporte aéreo en Europa tenía dos diferencias significativas con la de Estados Unidos: 1) las compañías aéreas de bandera estaban nacionalizadas y eran las únicas autorizadas para operar tráfico regular de pasajeros y mercancías mediante acuerdos entre Estados; 2) en virtud del Acuerdo Multilateral de París de 1956, se crearon las compañías aéreas chárter, generalmente de capital privado, para impulsar la creciente e importante industria turística. A diferencia de Estados Unidos, la industria chárter en Europa era muy significativa, con flotas de nueva generación. La regulación chárter no permitía el transporte de pasajeros en ‘sólo vuelo’ (*seat only*) sino que éstos debían adquirir un paquete vacacional como producto turístico completo (denominado *Inclusive Tour*, IT). El IT incluía transporte aéreo, hotel y traslado aeropuerto–hotel–aeropuerto. El paquete turístico era un producto propio del Tour Operador (TO), vendido a través de agencias de viaje minoristas. El TO era a la vez cliente y canal de distribución para la compañía aérea chárter.

El Tratado de Roma por el que se constituyó la Comunidad Económica Europea (CEE) incluía los transportes dentro de la política común de la Comunidad. Sin embargo, en virtud de su artículo 84 (Título IV), se excluían el transporte aéreo y marítimo de la aplicación de las reglas comunitarias de libre competencia, manteniéndose un alto grado de intervención de los Estados. La sentencia ‘*Nouvelles Frontières*’ (abril 1986) representó un paso importante para la liberalización del transporte aéreo en la CEE (Quintana, 1988). El Acta Única Europea (julio 1987) reforma el artículo 84 del Tratado de la CEE y se inicia el proceso de liberalización del transporte aéreo en la CEE, casi diez años después del *Airline Deregulation Act* de Estados Unidos.

La liberalización del transporte aéreo en la UE fue paulatina, estableciéndose tres paquetes de medidas desde 1987/88 hasta 1992, en un proceso de implantación que duró hasta 1997, una década. El primer paquete se aprobó en diciembre de 1987 y entró en vigor en enero de 1988, incluyendo un intervalo de flexibilidad en las tarifas y en el reparto de capacidad entre compañías aéreas regulares operando entre Estados miembros, y regulando el acceso de compañías aéreas a rutas entre Estados miembros. El segundo paquete se aprobó en julio de 1990 y amplió la flexibilidad tarifaria y la capacidad, así como el acceso a rutas regulares entre Estados miembros. El tercer paquete se aprobó en julio de 1992, introduciendo una nueva normativa comunitaria en la concesión de licencias de explotación a compañías aéreas; eliminó las restricciones tarifarias, de capacidad y de acceso al mercado, dando mayores oportunidades a las compañías aéreas para competir en el mercado. La aplicación de este tercer paquete culminó en 1997, suprimiendo la necesidad de acuerdos bilaterales de reciprocidad entre Estados miembros. Esto supuso también la no distinción entre compañía regular y chárter desde el punto de vista normativo. Las compañías chárter fueron autorizadas a vender *seat only*, se generalizaron los tráficos de 5ª, 7ª y 8ª libertad (vuelos intracomunitarios, vuelos

intraestatales por compañía aéreas no pertenecientes al Estado, etc.), sin depender de la normativa de cada Estado sino de la comunitaria (Petit, 2013).

De esta forma, se establecía un mercado único para el transporte aéreo en la UE, que después se extendió a Noruega, Islandia y Suiza, estimulando la competencia. Las compañías aéreas nacionales se convirtieron en compañías aéreas comunitarias, de forma que cualquiera de ellas podía establecer sus propias tarifas y acceder a cualquier ruta interior de la UE, con libre capacidad de oferta. También se establecieron requisitos normativos en cuanto a la propiedad de la compañía aérea, su salud financiera y su solvencia profesional para garantizar la calidad de servicio y la seguridad operativa de la Aviación Civil (Debyser, 2023). La liberalización del transporte aéreo en Europa ha supuesto una ‘desregularización’ pero no la supresión del regulador.

La liberalización en Europa provocó cambios de mayor calado que en Estados Unidos en la industria tradicional del transporte aéreo. Las compañías aéreas de bandera se privatizaron total o parcialmente, en algunos casos con participación residual del Estado. También emergieron con fuerza las compañías aéreas de bajo coste LCCs como nuevos entrantes. Los LCCs tuvieron gran impacto en el mercado, compitiendo con mucha intensidad con las compañías aéreas tradicionales regulares y chárter en los tráficos de corto y medio radio.

La respuesta competitiva de las compañías aéreas establecidas en Europa fue análoga a la de Estados Unidos, ya descrita.

En Europa los cambios en la industria del transporte aéreo también han sido radicales. Antes de la liberalización existían compañías aéreas regulares de bandera emblemáticas como Air France, Aer Lingus, Alitalia, BEA y BOAC (actualmente British Airways desde 1974 por fusión de ambas), Austrian Airlines, Finnair, Iberia, KLM, Lufthansa, SAS, Swissair, Sabena, entre otras. En el ámbito chárter y combinando chárter más regular, cabe citar Britannia, Sterling, Virgin, German Wings (Eurowings), Dan Air, Scanair, Spanair, Air Berlin, Transavia, Germania, Condor, Futura, Hispania, Spantax, LTU, Wow, Laker, Hapag Lloyd, Bcal, entre otras. Unas ya existían antes de la liberalización y otras se crearon a posteriori. Después de la liberalización, algunas compañías regulares han desaparecido o han sido absorbidas y la mayoría de las compañías chárter han cesado operaciones, incluso algunas han desaparecido recientemente en condiciones de bonanza, en plena expansión de la demanda.

El nuevo escenario competitivo cambió por completo el estado del arte de la industria, cuyos efectos han marcado (y siguen marcando) la evolución del transporte aéreo en Europa.

Como un indicador de resultados de la liberalización desde el punto de vista de la demanda, entre 1995 y 2014 los kilómetros recorridos en superficie por los pasajeros dentro de la UE crecieron un 23%, mientras que en el caso del transporte aéreo fue de un 74%. En el mismo período, la cuota de mercado del transporte aéreo en relación con el transporte total de pasajeros pasó del 6,5% al 9,2%, el mayor crecimiento de todos los modos de transporte (Debyser, 2023).

Análogamente a Estados Unidos, dos de los efectos más importantes de la liberalización del transporte aéreo han sido: una gama de oferta tarifaria más amplia, sin restricción para reducir tarifas, y la mejora de productividad y la reducción de costes en toda la industria.

1.4 Cambios principales

La liberalización del transporte aéreo, tanto en Estados Unidos como en Europa, afloró dos importantes evidencias: conocer los precios reales de mercado, muy distintos a los regulados, y mostrar que otra forma de transporte aéreo es posible. Esto implicó un conjunto de cambios en la gestión para competir en el nuevo entorno competitivo. Una breve reseña de los cambios principales es:

1. Cambios en la cultura de empresa, con un enfoque de mayor proximidad al cliente, en un entorno de condiciones de mercado y alta presión competitiva.
2. Con la aparición de los LCCs emergió un nuevo segmento de mercado, estimulado por sus bajas tarifas (Gillen et al., 2008). Una parte importante del crecimiento del tráfico en estos últimos años corresponde al nuevo segmento de mercado estimulado por los LCCs. Los nuevos segmentos de mercado estimulados por los LCCs son muy sensibles a la elasticidad de precios.
3. Reducción de tarifas y, en consecuencia, reducción de *yields* (ingreso unitario, ingreso por pasajero kilómetro transportado). El producto del transporte aéreo es altamente perecedero: se consume en el momento mismo en que se produce. Un asiento no vendido antes de que el avión cierre puertas es un asiento perdido, no se puede almacenar. En consecuencia, el *yield management* y el control de inventario se convirtieron en instrumentos estratégicos para las compañías aéreas establecidas con objeto de optimizar ingresos y ocupación (*Load Factor, LF*), ampliando la oferta tarifaria con productos habituales *low-cost* para poder competir con los LCCs.
4. La reducción de costes fue un objetivo prioritario para competir en precios de forma rentable. Como decía un profesor nuestro en relación a la liberalización del transporte aéreo en EEUU: “*after Deregulation, costs were a major concern for Legacy Carriers*” (Prof. Mc. Kenney, Harvard Business School, notas personales de explicación en clase).
5. Aumento significativo del *Load Factor* de *break-even* (LF_{be}), relación entre coste unitario (coste por asiento kilómetro ofrecido) y *yield*. Antes de la liberalización, el LF_{be} estaba en torno al 60%. En la actualidad es superior al 80% en general. Hay alguna compañía LCC cuyo LF_{be} está en torno al 70%, no por menor coste sino debido a que su excelente producto mantiene la fidelidad y confianza de sus clientes y permite tarifas (*yields*) mayores.
6. Cambios en el producto, flexibilidad tarifaria.
7. Programas de *Customer Relationship Management* (CRM), especialmente en las compañías de red, como elemento estratégico de fidelización de clientes.
8. Efecto *Hub*, cuyo concepto se amplía a continuación como ejemplo de nuevo campo de juego.

En ciertos aspectos, la industria del transporte aéreo tiene dificultad para acoplar oferta y demanda debido a que los tiempos característicos de la oferta y la demanda son muy diferentes. El de la demanda es muy breve (su comportamiento puede cambiar muy rápidamente); sin embargo, el tiempo característico de cambio en una compañía aérea es más dilatado porque la flota, en la mayoría de los casos, no se puede incorporar (o desprender) de inmediato.

1.5 Reestructuración de la red de rutas: sistema *Hub & Spoke*

El objetivo era reducir costes sin abandonar rutas y optimizar su ocupación (*LF*), juntando pasajeros en origen con diferentes destinos y redistribuirlos a su destino final a través del *Hub*. Este sistema de aporte y distribución de tráfico a través de aeropuertos *Hub* se denominó *Hub & Spoke*. Esta denominación procede de su significado en inglés: *hub* es el eje o buje de una rueda y *spoke* son los radios. Se establecieron diversos *hubs* muy potentes, generalmente asociados a una compañía aérea.

El número de vuelos necesarios para enlazar un determinado número de aeropuertos con rutas *non-stop* (punto a punto) es mucho mayor que los vuelos necesarios para enlazar los mismos aeropuertos con rutas vía *hub*.

El número de vuelos sin escalas para enlazar n aeropuertos resulta de las variaciones de n elementos tomados 2 a 2. Esto es:

$$n(n - 1)$$

Sin embargo, para enlazar n aeropuertos vía uno de ellos como *hub*, son suficientes tan sólo $2(n - 1)$ vuelos.

1.5.1 Vuelos *Non-Stop* vs. *Hub & Spoke*: un enfoque matemático

Sea AL el conjunto universal de compañías aéreas regulares, operando cada una de ellas una determinada red de rutas. Se considera cada ruta (rt) como un vuelo de ida o vuelta. Y sea AP el conjunto universal de aeropuertos. La conjunción de compañías aéreas y aeropuertos conforma y posibilita una red de rutas.

1.5.1 a) Red de rutas *non-stop*

El Transporte Aéreo (TA) se puede considerar como una aplicación de $AP \times AP$ (producto cartesiano) en AL . En efecto:

Sean (a_i, a_j) dos aeropuertos pertenecientes a AP entre los cuales se opera una ruta rt_{ij} :

$$TA: AP \times AP \rightarrow AL$$

$$a_i \quad a_j \rightarrow rt_{ij}$$

Donde (i, j) pueden tomar valores $(0, 1, 2, \dots)$. La aplicación refleja la realidad con precisión algebraica. Una observación elemental pero no trivial de la aplicación matemática es que 1 vuelo necesita, al menos, 2 aeropuertos. De ahí a veces la confusión al contabilizar el número de pasajeros según compañías aéreas (pasajeros transportados) y aeropuertos (movimiento de pasajeros). Así, el índice de coste por pasajero entre compañía aérea y aeropuerto puede ser diferente en el caso de vuelos domésticos.

Existe ruta rt_{ij} *non-stop* entre dos aeropuertos (a_i, a_j) si y solo si existe al menos una compañía aérea $\in AL$ cuya red de rutas regulares incluya rt_{ij} . Puede haber pares de aeropuertos $(a_i, a_j) \in AP$ no enlazados por ninguna compañía aérea en vuelo regular *non-stop*, en cuyo caso pertenecerían a un conjunto vacío de rutas.

Definimos AL_n como una compañía aérea, siendo elemento del conjunto AL de las compañías aéreas: $AL_n \in AL$. Cada compañía aérea AL_n tiene asociada una red de rutas NW_n (*Network, NW*). Dentro de una red NW_n pueden existir subredes. Una ruta rt_{ij} puede pertenecer a una o más redes de rutas NW_n . Varias compañías aéreas pueden operar la misma red de rutas, total o parcialmente. Las distintas redes NW_n en general no son disjuntas. Es un escenario en competencia. Un ejemplo de subred se indica en la Figura 1.1. Esta subred incluye rutas comunes de distintas compañías aéreas, por ejemplo Iberia, Air Europa, Air France y British Airways.

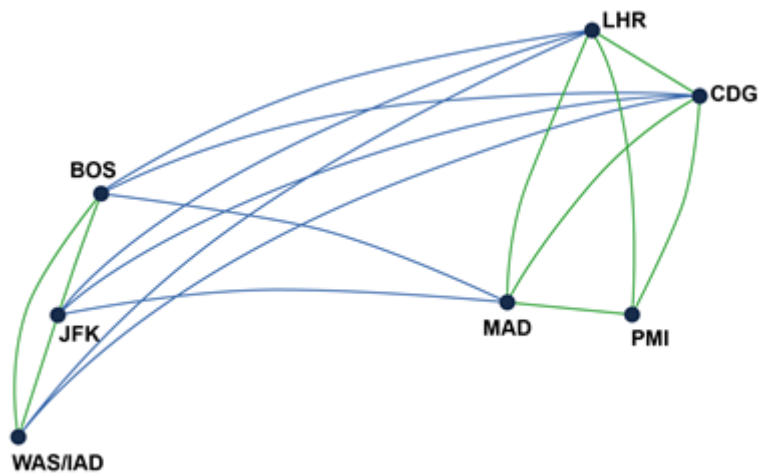


Figura 1.1 Subredes de rutas intercontinentales y domésticas (UE)

Definimos el conjunto universal de rutas en vuelo regular NW como el conjunto unión de todas las redes de rutas NW_n , tal que: $NW = \cup NW_n$ operadas por todas las compañías aéreas regulares del mundo.

Un ejemplo esquemático mundial de NW sería el indicado en la Figura 1.2.

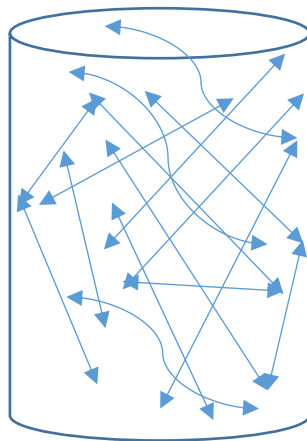


Figura 1.2 Esquema de red de rutas mundiales

Las distintas redes de rutas constituyen un grafo, donde los aeropuertos son los vértices y las rutas son las aristas.

1.5.1 b) Sistema de rutas Hub & Spoke

En este sistema la red de vuelos se realiza en conexión comercial a través de un aeropuerto *Hub*.

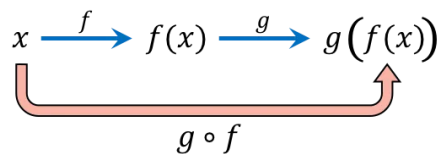
El producto/servicio está configurado y realizado por la compañía aérea y abarca origen – destino final. Si H es el subconjunto de aeropuertos *Hub* que pertenecen a AP , la aplicación matemática sería en este caso:

$$TA : (AP \times H) \cup (H \times AP) \rightarrow AL$$

$$a_i \quad a_k \quad a_k \quad a_j \rightarrow rt_{ik} \cup rt_{kj} = rt_{ij}$$

Donde a_k es el aeropuerto *hub* perteneciente al subconjunto H , a través del cual se realiza el vuelo de conexión para realizar la ruta rt_{ij} .

El sistema *Hub & Spoke* también se puede considerar como una composición de funciones. Un ejemplo genérico sobre una variable x sería:



Para conectar dos aeropuertos $(a_i, a_j) \in AP$ vía $a_k \in H$, sean:

$$f: AP \rightarrow H$$

$$g: H \rightarrow AP$$

$$a_i \rightarrow a_k = f(a_i)$$

$$a_k \rightarrow a_j = g(a_k) = g(f(a_i))$$

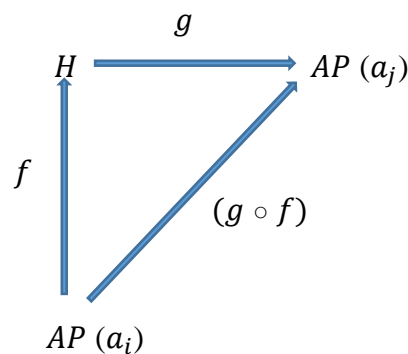
La función composición de f con g se denomina $g \circ f$:

$$(g \circ f): AP \rightarrow AP$$

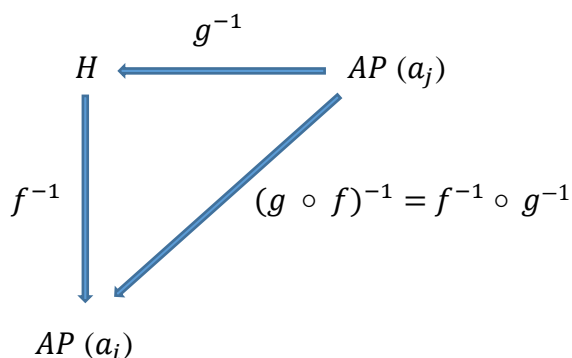
$$a_i \rightarrow a_j = g(f(a_i))$$

Una representación gráfica mediante un diagrama conmutativo sería:

Conexión de ida (a_i, a_j) :



Conexión de vuelta (a_j, a_i):



Así, el cilindro universal de rutas *non-stop* (Figura 1.2) se convertiría en dos conos unidos por su vértice a través del *hub*, según se indica en la Figura 1.3. La relación entre el cilindro y los dos conos es de naturaleza topológica.

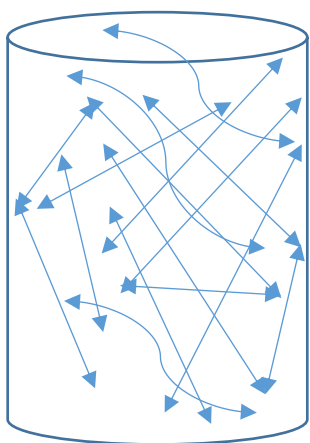


Figura 1.2 Red de vuelos punto a punto

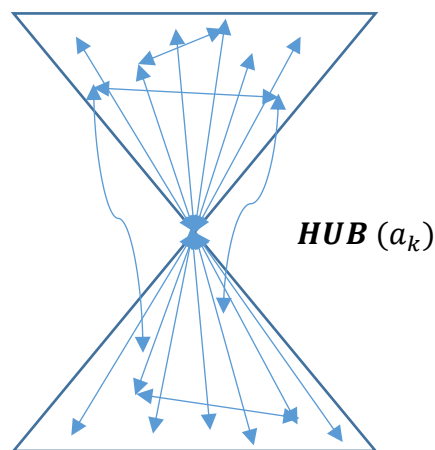


Figura 1.3 Red de vuelos vía *Hub*

Si se nos permite la licencia, cabría imaginar que el *hub* es una singularidad y que las trayectorias de vuelo son una suave monodromía en su aproximación al *hub* donde convergen. Quizá también cabría imaginar una topología algebraica moderadamente discontinua en el *hub*, donde el avión hace escala y reemprende el vuelo en una aplicación biyectiva entre el subconjunto de rutas en conexión; lo cual constituye su resolución.

Tal vez el concepto *Hub & Spoke* podría ser un ejemplo de la conjetura planteada por John F. Nash en 1968, en virtud de la cual existe determinada relación entre las propiedades de una singularidad y la familia de trayectorias que la atraviesan (Nash, 1968/1995). Casi medio siglo después, María Pe Pereira demostró que la conjetura de Nash se cumple (Pe Pereira, 2013). Es decir: las características del *hub* están determinadas por los vuelos en conexión a través del *hub*. Y así es.

Recordando a Shakespeare (*Venus y Adonis*), puede que el concepto *Hub & Spoke* sea un ejemplo muy leve para un apoyo matemático tan robusto; pero su decisiva contribución al transporte aéreo, a conectar el mundo, a unir personas, quizá le hace merecedor de una modesta elegancia algebraica.

La transformación de la red de rutas *non-stop* en sistemas de rutas *Hub & Spoke* se puede representar de forma esquemática (Figura 1.4). A mayor abundamiento y en concurrencia competitiva, siguen existiendo diversas rutas *non-stop* y, en particular, entre *hubs*.

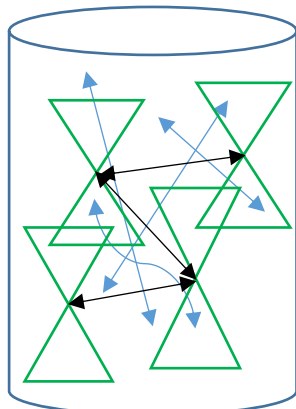


Figura 1.4 Redes de rutas a través de *hubs*

Existen alrededor de 25 aeropuertos *hub* principales (*mega-hubs*) en el mundo. Cada *hub* está asociado en general a una compañía aérea, aunque hay excepciones: Chicago O'Hare es *hub* de American Airlines y United Airlines, Madrid-Barajas Adolfo Suárez es *hub* de Iberia y, en menor medida, de Air Europa. Distintos *hubs* pueden no ser disjuntos, es decir, tener rutas comunes origen-destino final. Por ejemplo: $PMI - MAD - JFK$ y $PMI - CDG - JFK$: el origen y destino final es el mismo (ver Figura 1.1).

1.5.2 Condición de continuidad comercial

Un vuelo se realiza a través de *hub* si y sólo si existe continuidad comercial (esto es: conexión comercial). El producto *hub* lo configura y realiza la compañía aérea asociada al *hub* y el riesgo de conexión en *hub* es responsabilidad de la compañía aérea. Su responsabilidad es origen - destino final: existe continuidad comercial. Por ejemplo, en un vuelo $PMI - LHR - BOS$, es responsabilidad de la compañía aérea llevar al pasajero/a desde Palma a Boston, existe continuidad comercial.

Sin embargo, si un pasajero/a compra dos billetes independientes $PMI - LHR$ y $LHR - BOS$ vía el *hub* LHR , aunque sea con la misma compañía aérea, es el pasajero/a quien construye el producto, no la compañía aérea. En este caso no hay continuidad comercial, aunque los vuelos se realicen operativamente vía *hub*. El riesgo de conexión en el *hub* es responsabilidad del pasajero/a, no de la compañía aérea (además de tener que salir del aeropuerto al lado tierra si tiene que recoger equipaje y volver a facturar).

2. Estado de la cuestión

Después de la liberalización, tanto en EEUU como en Europa, compañías aéreas sólidas en su momento, con solera y solvencia, han desaparecido o se han reconfigurado. Las existentes han tenido que reconvertirse, y en muchos casos reinventarse, para poder competir y sobrevivir en el nuevo escenario competitivo, con tarifas muy inferiores a las previas. Antes de la liberalización el transporte aéreo era un mercado de compradores, después de la liberalización se convirtió en un mercado de vendedores.

El nuevo entorno competitivo ha generado nuevas estrategias en algunas compañías aéreas (además de las ya indicadas). Se pueden resumir en dos enfoques (Porter, 1985 y Moir et al., 2018): ser muy efectivos en costes (ejemplo LCC) u ofrecer un producto global diferenciado y superior (compañías de red). En algunos casos también han surgido planteamientos híbridos de ambas estrategias, integrando eficiencia en costes y diferenciación del producto.

Se han configurado dos grandes tipos básicos de compañías aéreas: las compañías de red, que operan tráficos de conexión a través de grandes aeropuertos *Hub*, ofreciendo un producto completo, diferenciado y superior; y compañías LCCs., que ofrecen vuelos punto a punto de corto y medio radio, con planteamientos muy simples: flota única, simplicidad de producto y tarifas, simplicidad en organización, producción y procesos (Porter, 1996), sin la complejidad de los *hubs*. Su planteamiento es todo un sistema de actuación, no sólo un conjunto de actividades (Gillen et al., 2008). Entremedias, existen también algunas compañías aéreas regulares de tamaño medio (alrededor de 50 aviones): no son LCCs genuinos pero ofrecen productos tipo LCC, con tarifas a bajo precio, y tampoco son exactamente compañías de red. Además, también existen compañías regionales y algunas compañías chárter (en general vinculadas al TO).

Otro tipo de estrategia, implantada por algunas compañías de red, ha sido crear nuevas compañías aéreas filiales de bajo coste, tipo *spin-off* (extensión de la compañía matriz) o tipo *start-up* (vinculada a la compañía matriz pero independiente). Las compañías aéreas tradicionales suelen ser deficitarias en el corto y medio radio pero lo necesitan para alimentar el largo radio, su segmento de mercado más rentable. De ahí la creación de nuevas compañías aéreas filiales dentro de la compañía matriz para el corto y medio radio. La compañía filial opera un nicho de mercado concreto y contribuye también al tráfico de red en el *Hub* de la compañía matriz. En ambos casos la compañía matriz ampara con su *branding* las nuevas compañías aéreas filiales para darles respaldo e imagen de solidez y solvencia. Un ejemplo es el de Iberia e Iberia Express. De esta forma, la compañía matriz proporciona el músculo y la filial el nervio. Las nuevas compañías aéreas filiales son distintas pero no distantes de la compañía matriz. Este planteamiento de compañía aérea dentro de compañía aérea (*airline within airline*, AWA) no siempre ha dado resultados satisfactorios (Gillen et al., 2008). Otra posibilidad es cambiar desde la propia compañía aérea matriz, un cambio interno, si se tiene capacidad de liderazgo para persuadir y convencer del cambio. Si se logra, esta fórmula genera menos tensiones internas y es más eficiente, no hay discontinuidad, es un comportamiento topológico.

Las compañías de red han hecho esfuerzos para reducir costes sin devaluar el producto, con objeto de aproximarse a los LCCs en el corto y medio radio, cerrar el *gap* en la medida

de lo posible y poder competir. Esto ha propiciado una ampliación de la gama tarifaria de las compañías de red, ofreciendo tarifas inferiores a la tradicional turista (Y) con ciertas restricciones. Y asimismo, ofreciendo tarifas inferiores en clase *Business* con objeto de captar mercado dispuesto a pagar algo más que tarifa turista para obtener un producto premium tipo *business*. Como resultado, las compañías de red han extendido su gama tarifaria y diversificado el producto, con un mayor acoplamiento entre oferta y demanda, combinando ocio y negocio.

Hasta la aparición del efecto Covid 19 parecía existir una cierta tendencia a la estabilidad de negocio sustentada por el impulso de la demanda. No obstante, la situación de la industria hasta 2019 y principios de 2020 (antes del efecto Covid 19) ha tenido sus turbulencias por la propia variación del mercado y el entorno de alta presión competitiva (factores exógenos), pero también por problemas internos de gestión de las compañías aéreas. En los últimos 10 años hasta 2019 inclusive, el tráfico regular de pasajeros a nivel mundial mantuvo un crecimiento sostenido y significativo, por encima del 6% anual en términos medios (OACI, 2019). En la UE el crecimiento medio anual fue superior al 7% (Statista, 2023/1). Sin embargo, a pesar de esta bonanza de mercado, en estos últimos años han desaparecido algunas compañías aéreas en Europa, regulares y chárter. Es el caso de Air Berlín, Germania, Spanair, Wow y otras.

Con objeto de descartar el efecto singular de la pandemia por Covid 19, la mayoría de los datos utilizados en este estudio son hasta 2019 inclusive (un buen año para las compañías aéreas bien gestionadas). En 2022 la industria ya experimentó una importante recuperación, alcanzando cifras del 87% respecto a 2019 (IATA, 2022). En 2023, se han alcanzado cifras de pasajeros transportados alrededor del 95% respecto a 2019. Incluso en algunos casos, principalmente en Estados Unidos y Europa, los pasajeros transportados han sobrepasado los de 2019. Los resultados operativos de las compañías aéreas en 2023 son similares a los de 2019 (OACI, 2024).

La cuota de mercado de los LCCs a nivel mundial en 2019 fue superior al 30% en tráfico regular de pasajeros, siendo en Europa del 37% (Statista 2023/2), con un crecimiento global cercano al 9% frente al 6% de crecimiento total (OACI, 2019).

La Tabla 2.1 muestra un conjunto de datos de compañías de red y LCCs correspondientes a 2019 (fuente: Informes Anuales de gestión de cada compañía aérea en euros, €). La Tabla 2.1 incluye compañías aéreas que superaron con éxito los retos del nuevo entorno de alta presión competitiva creado tras la liberalización del transporte aéreo en Estados Unidos (OACI, 2016 y Moir, 2018) y en la UE (Debyser, 2023 y UE, 2023/3). Estas compañías aéreas han realizado un importante esfuerzo para ser más eficientes y competitivas.

Tabla 2.1 Diferentes cifras de negocio de compañías de red y LCC en 2019. Fuente: informes anuales de gestión de cada compañía aérea (€)

AIRLINE	Profits before tax (M€)	Cost/ask (cts €)	Yield (cts€/rpk)	LF _{be} (%)	LF (%)	Δ LF (pp)
IAG	2,275	6.58	8.93	73.7	84.6	10.9
Air France-KLM	346	8.69	10.32	84.2	87.9	3.7
Lufthansa Group	1,857	10.38	13.15	78.9	82.5	3.6
Ryanair	671	3.37	4.06	83	95	12
easyJet	494	5.85	6.82	85.8	92.8	7
Delta	5,537	7.08	9.54	74.2	86.3	12.1
Southwest	2,641	5.97	8.24	72.5	83.5	11

Donde:

ASK: Available Seat Kilometer, Asiento km ofrecido (AKO)

RPK: Revenue Passenger Kilometer, Pasajero km transportado (PKT)

Yield: Ingreso medio por RPK ó PKT

Cost/ask: Coste unitario por AKO ó ASK = CASK

LF: Load Factor, Factor de ocupación (PKT/AKO, RPK/ASK), en %

LF_{be}: Load Factor de *break-even*, Factor de ocupación de equilibrio (cuando los Ingresos son iguales a los Costes, es decir, Resultados igual a cero)

ΔLF (pp): diferencia entre LF and LF_{be} en puntos porcentuales

En 1997, justo antes de la liberalización en EEUU, el LF medio de las compañías aéreas estaba en torno al 62%, con un LF_{be} alrededor del 60% (James, 1982). En la actualidad, el LF medio oscila entre el 82% y por encima del 90% (ver Tabla 2.1). Esto representa un gran salto cuantitativo respecto a las cifras de LF anteriores a la liberalización. Este incremento significativo de LF indica que en la actualidad hay un mejor uso de la capacidad de oferta, una mejor eficiencia en el transporte aéreo y un menor consumo de combustible por pasajero transportado (es decir, una menor emisión de CO₂ por pasajero).

El coste unitario (CASK) medio de las compañías aéreas en 1977, en términos reales de 2019, fue de 6,62 cts/ASK (James, 1982), del mismo orden que el actual. Esto indica que el coste unitario a lo largo de los años ha permanecido casi constante en términos corrientes, es decir, se ha reducido en términos reales. Las compañías aéreas competitivas se esfuerzan por mantener o incluso reducir su coste unitario a lo largo del tiempo.

2.1 Estados Unidos

Ha habido una consolidación de la industria en torno a dos grandes grupos: compañías de red y LCCs, con algunos casos de hibridación.

En el caso de compañías de red, se han formado 3 grandes compañías aéreas internacionales, denominadas *megacarriers*: American Airlines, Delta Airlines y United Airlines. A su vez, tienen socios regionales para alimentar sus *hubs*. Cada una de estas compañías aéreas ha absorbido a otras compañías aéreas, lo cual les ha permitido adquirir mercado y *slots* (derechos de aterrizaje). Estas tres grandes compañías aéreas han sabido adaptarse al nuevo entorno competitivo y cambiar, han utilizado su *know-how* para aprender lo nuevo, han logrado hacer bailar al elefante (como se suele decir en términos

de gestión empresarial cuando una gran empresa es capaz de cambiar su dirección). Una breve reseña a fecha de 2019 es:

American: Flota de 942 aviones, 365 destinos en 61 países, 215 millones de pasajeros. *Hubs* principales: Dallas–Fort Worth y Chicago O’Hare. Pertenece a la alianza global Oneworld. (*Annual Report 2019*).

Delta: Flota de 836 aviones, 375 destinos en 66 países, 204 millones de pasajeros. Opera en varios *hubs*, principalmente en Atlanta y Nueva York–JFK. Pertenece a la alianza global Sky Team. (*Annual Report 2019*).

United: Flota de 777 aviones, 340 destinos, 162 millones de pasajeros. Opera en varios *hubs*, principalmente en Chicago–O’Hare y Houston Intercontinental. Pertenece a la alianza global Star Alliance. (*Annual Report 2019*).

En el caso de los LCCs, Southwest es la compañía aérea hegemónica, con tráfico de corto y medio radio punto a punto. Flota de 747 aviones del mismo tipo (Boeing 737), 162 millones de pasajeros a 101 destinos. Base en el aeropuerto de Dallas Love Field. Hasta 2019 inclusive, los resultados de Southwest han sido siempre positivos desde su primer año completo de operación en 1972, cuarenta y siete años ininterrumpidos, algo sin precedentes en la historia del transporte aéreo.

2.2 Europa

Igual que en EEUU, también ha habido una consolidación de la industria en torno a dos grandes grupos: compañías de red y LCCs, con algunos casos de hibridación.

En el caso de compañías de red, se han formado 3 grandes grupos aéreos internacionales, también denominados *megacarriers*: Air France–KLM Group, International Airlines Group (IAG) y Lufthansa Group. A su vez, tienen socios regionales para alimentar sus *hubs*. Cada uno de estos grupos aéreos han absorbido a otras compañías aéreas, lo cual les ha permitido adquirir mercado y *slots*. Estos tres grandes grupos aéreos también han sabido adaptarse al nuevo entorno competitivo y cambiar, han utilizado su *know-how* para aprender lo nuevo, han logrado hacer bailar al elefante. Una breve reseña a fecha de 2019 es:

IAG: Flota de 598 aviones, 279 destinos, 118 millones de pasajeros. Opera en los *hubs* de Madrid–Barajas y Londres–Heathrow. Pertenece a la alianza global Oneworld. (*Annual Report 2019*).

Air France–KLM Group: Flota de 546 aviones, 300 destinos, 104 millones de pasajeros. Opera en los *hubs* de París–Charles de Gaulle y Ámsterdam–Schiphol. Pertenece a la alianza global Sky Team. (*Annual Report 2019*).

Lufthansa Group: Flota de 763 aviones, 318 destinos en 102 países, 145 millones de pasajeros. Opera en los *hubs* de Frankfurt y Múnich. Pertenece a la alianza global Star Alliance. (*Annual Report 2019*).

En el grupo de LCCs, las dos compañías aéreas hegemónicas son Ryanair y easyJet, operando rutas de corto y medio radio punto a punto. Ambas muy orientadas a la eficiencia en costes pero easyJet incluye algo de hibridación (Moir et al., 2018), con una

política de producto diferenciado y superior orientado también a clase business. Una breve reseña a fecha de 2019 es:

Ryanair: Flota de 455 aviones, 219 destinos 142 millones de pasajeros. (*Annual Report March 2019*).

EasyJet: Flota de 331 aviones, 159 destinos en 34 países, 96 millones de pasajeros. (*Annual Report 2019*).

2.2.1 Efecto de los LCCs en Europa

En Europa los LCCs emergieron con fuerza en torno a 1990. El efecto de los LCCs no sólo ha sido en los costes sino también, y muy importante, en las tarifas. La situación actual en Europa es que los LCCs operan el corto y medio radio punto a punto en gran parte de casi todos los mercados. El largo radio regular lo operan generalmente compañías aéreas de red tradicionales, se concentra mayoritariamente en aeropuertos *hub* y debe alimentarse en la mayoría de las rutas con tráficos de corto y medio radio para ser rentable, como ya se ha comentado.

La eclosión de los LCCs alteró el equilibrio competitivo, configurando un nuevo entorno desconocido hasta entonces. La aparición de los LCCs generó cambios cuantitativos y cualitativos, confirmando que, en este caso, ‘más es diferente’ (Anderson, 1972).

Los LCCs han captado un nicho de mercado latente, desconocido o ignorado hasta entonces, y lo han estimulado vía tarifas: debido a las bajas tarifas, personas sin intención de viajar han decidido hacerlo, especialmente por motivos turísticos. Antes de los LCCs nadie se había dado cuenta de este mercado latente, el turismo se encajaba mayoritariamente en las compañías chárter con producto todo incluido (IT). Además, los LCCs también han captado segmentos de mercado tradicionales estimulados por la reducción de tarifas. El efecto de los LCCs ha sido doble: estimular tráfico con nuevos segmentos de demanda no atendida (Gillen et al., 2008) y, a su vez, captar cuota a las compañías aéreas tradicionales. Una combinación que algunas compañías aéreas establecidas no han sabido contrarrestar. El mayor incremento de tráfico de los últimos años no ha sido en los segmentos tradicionales sino en nuevos segmentos de mercado, de menor *yield*, surgidos a raíz de los LCCs, donde algunas compañías aéreas tradicionales no han sabido adaptarse (Pearson et al., 2015).

La aparición de los LCCs también ha reconfigurado la industria turística, especialmente los sistemas de distribución, debido a las bajas tarifas y a la tecnología *on-line*. El pasajero que compraba el paquete turístico todo incluido al TO ha dado paso al turista independiente (*independent leisure traveler*, ILT), que configura *on-line* su propio producto de viaje y hotel a la carta o tipo *prêt-à-porter*, lo cual permite un producto más flexible, sin necesidad del TO. Es otro ejemplo de nuevo campo de juego.

Otro efecto de los LCCs ha sido el impacto competitivo sobre la operación *hub* de alguna de las compañías aéreas tradicionales. Los LCCs, debido a sus menores costes unitarios, son capaces de operar con rentabilidad rutas sin escalas donde las tradicionales operan vía *hub*. Un ejemplo es la desaparición de Air Berlin (cese en 2017) del aeropuerto de Palma como *hub* debido a las nuevas rutas sin escalas abiertas principalmente por LCCs.

En la actualidad están emergiendo nuevos entrantes LCCs también en el largo radio (Level, Norwegian), operando punto a punto y estableciendo un nuevo escenario para las compañías aéreas tradicionales que operan el largo radio a través de *hub*. En este nuevo escenario competitivo, marcado por los LCCs en el corto y medio y empezando de forma incipiente en el largo radio, las compañías aéreas tradicionales se están reinventando para sobrevivir. Más que un cambio dentro del sistema es un cambio de sistema que afecta a los modelos de gestión y negocio.

2.3 Nuevas regulaciones medioambientales

El cambio climático es una preocupación mundial de gran importancia para la conservación del planeta. La industria del transporte aéreo es plenamente consciente de esta importancia y su objetivo es reducir las emisiones que afectan al calentamiento global. A tal efecto, una de sus prioridades es invertir e incorporar tecnología de última generación en aviones, motores y sistemas. La industria del transporte aéreo está comprometida con la reducción de las emisiones de carbono por razones ambientales y económicas (Jaume, Alonso y Benito, 2024).

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) empezó a regular las emisiones en 1980 (Anexo 16, Vol. II), con especial énfasis inicial en la calidad del aire. Tras el Protocolo de Kioto de 1997, la OACI asumió la responsabilidad de controlar el impacto de la aviación civil internacional en el cambio climático. El CO₂ (dióxido de carbono) es el principal gas de efecto invernadero emitido por los motores a reacción. Como la certeza científica sobre el comportamiento del CO₂ es mucho mayor que la de otros efectos climáticos, como la formación de cirros (estela de condensación) o la distribución atmosférica de NO_x, las Autoridades Reguladoras de la Aviación han decidido (por el momento) centrarse en el CO₂, implantando medidas para obtener resultados a corto y medio plazo.

La combustión estequiométrica de 1 kg de queroseno (combustible de aviación) produce 3,16 kg de CO₂. El objetivo original de la OACI era minimizar el combustible quemado considerando las siguientes acciones:

1. Fabricantes: producir aviones, motores y sistemas más eficientes. Esto involucra la sustentación y la resistencia aerodinámicas, el peso del avión, el empuje de los motores, la velocidad, los sistemas y el diseño de los aviones. Algunos ejemplos son: mejorar la interacción aerodinámica entre el fuselaje, las alas y las góndolas y pilones del motor; simulación de las condiciones de turbulencia (*Large Eddy/Direct Numerical Simulation* LES/DNS); capa límite laminar a lo largo de todo el perfil del ala; metales ligeros y materiales compuestos; sistemas de navegación de última generación y alta precisión (*Required Navigation Precision*); sistemas avanzados para una óptima operación de vuelo continua (*Flight Management System*); desarrollo de propulsores y hélices avanzados (*Advanced Ducted Propeller*); nuevos diseños de aviones: fuselaje sustentador, alas volantes, geometría de las alas; incluir SAF (Pereira et al., 2022).
2. Compañías aéreas: mejorar los procedimientos operativos, más eficientes, y optimizar la utilización de flota. Algunos ejemplos son: a nivel regulatorio, la continua actualización de la Circular 303 original de la OACI ‘Oportunidades

operacionales para minimizar el uso de combustible y reducir emisiones’ hasta su versión actual (OACI, 2014), y las mejores prácticas de las compañías aéreas recogidas por la Asociación Internacional del Transporte Aéreo, IATA (IATA, 2023).

3. Proveedores de infraestructuras: los aeropuertos, proporcionar capacidad suficiente para evitar congestiones, y Control de Tráfico Aéreo (*Air Traffic Control*, ATC) para una gestión óptima del tráfico aéreo (*Air Traffic Management*, ATM). Dos ejemplos son: el programa ATM de sistemas avanzados de ATC NextGen en EE UU (FAA, 2024), y el programa Cielo Único (SESAR, 2024) en Europa.

La experiencia de IATA indica que estas tres líneas de acción de la OACI producen una mejora en la eficiencia del consumo de combustible entre el 1,5% y el 2% anual (Benito y Alonso, 2018), lo cual no es suficiente para compensar el crecimiento del tráfico internacional alrededor del 3-4% anual (OACI, 2024). De acuerdo con los principales representantes de la industria del transporte aéreo para resolver esta diferencia, la OACI agregó una nueva acción a las tres iniciativas indicadas de carácter técnico, introduciendo mecanismos económicos e incentivos de mercado para lograr los objetivos establecidos: las Medidas Basadas en el Mercado (*Market Based Measures*, MBM). El conjunto completo se conoce como ‘Los Cuatro Pilares’. Las MBM aplicadas hasta el momento y actualizadas a marzo de 2024 son: Acuerdos Voluntarios, Impuestos, Tasas, Sistema de Comercio de Emisiones (Emissions Trading System, ETS) y Compensación (Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional –CORSA). Su aplicación depende de cada Estado o grupo de Estados (la UE utiliza el ETS para vuelos internos), excepto CORSA, el cual fue aprobado por la OACI en octubre de 2016. El CORSA empezó a implantarse en 2021 de forma voluntaria, para convertirse en obligatorio para la mayoría de los miembros de la OACI en 2027. Además, el combustible de aviación sostenible (SAF) se ha convertido en un quinto elemento importante en el proceso de descarbonización (Watson et al., 2024). Algunos ejemplos de la literatura existente sobre el tema incluyen: a) el efecto del MBM en los costes operativos de las compañías aéreas y su impacto en las tarifas, considerando las posibles caídas de la demanda (Pagoni y Psaraki, 2016), con un enfoque de teoría de juegos; b) la descarbonización del transporte aéreo como un gran desafío y preocupación para las compañías aéreas, en particular el precio del SAF (Watson et al., 2024); c) la posible incertidumbre sobre la producción, el precio, el calendario y las regulaciones del SAF (McKinsey, 2023) ya que aún no hay una vía bien definida para su implantación (IATA, 2024). En cualquier caso, se recomienda adoptar un enfoque flexible para la descarbonización.

2.3.1 Acerca del SAF

El SAF es un sustituto de los combustibles fósiles tradicionales para reducir las emisiones de CO₂. A diferencia de los biocombustibles, que se pueden obtener a partir de una producción no sostenible (plantaciones de caña de azúcar, aceite de palma), el SAF se obtiene únicamente a partir de materias primas sostenibles (aceites y grasas usados, residuos municipales, entre otros), lo cual proporciona una reducción neta de las emisiones de CO₂. La industria del transporte aéreo se compromete a utilizar únicamente

combustibles que cumplan los estrictos requisitos de sostenibilidad. La OACI define el SAF como "un combustible de aviación renovable o derivado de residuos que cumple con los criterios de sostenibilidad de OACI-CORSIA". Las propiedades del combustible tradicional (queroseno) no cambian al mezclarlo con SAF. Los aeropuertos, los aviones y los motores no requieren ninguna adaptación al SAF, lo cual se denomina combustible de sustitución directa, *drop-in* (ATAG, 2023).

Se han probado con éxito diferentes tipos de productos de sustitución directa y sus resultados mostraron un ahorro de CO₂ entre el 60% y el 80%, según los cálculos del análisis del ciclo de vida. Con esta nueva herramienta en mente, la OACI aprobó en 2022 el objetivo a largo plazo de lograr emisiones netas de CO₂ cero para 2050 (OACI, 2022/1), como se muestra en la Figura 2.1

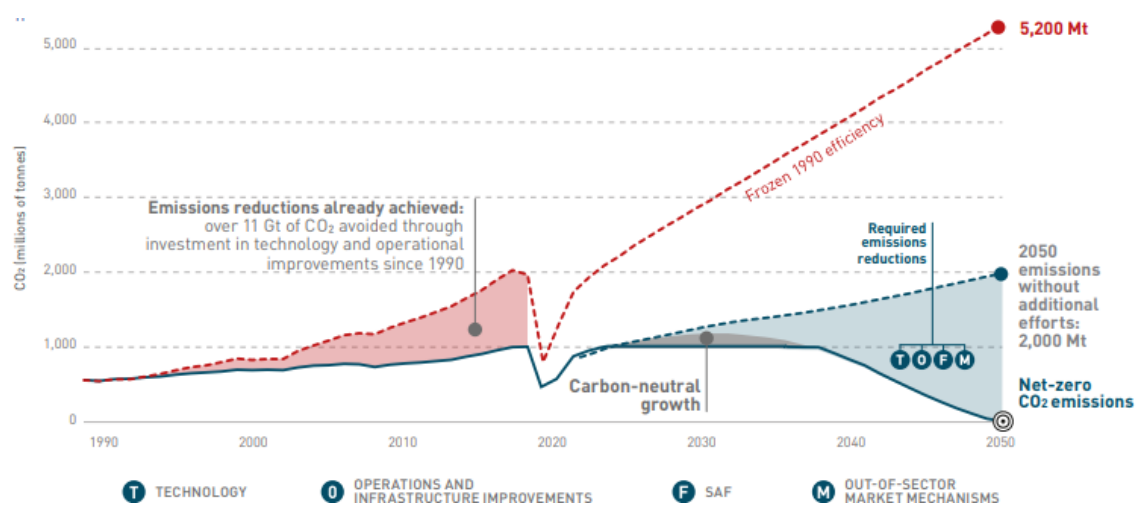


Figura 2.1 Plan de reducción de emisiones de CO₂ (ATAG, 2023)

La OACI creó un grupo técnico para elaborar un cronograma general que se revisaría periódicamente como herramienta práctica para la selección de las mejores vías para alcanzar el objetivo previsto con puntualidad (OACI, 2022/2).

2.3.2 Mezcla obligatoria de SAF de la Unión Europea (UE)

La industria del transporte aéreo y organismos reguladores consideran la introducción del SAF como el principal factor para eliminar las emisiones de carbono a corto y medio plazo (IATA et al., 2024). El paquete climático de la UE "Fit for 55" (UE, 2023/1) (anunciado por primera vez el 14 de julio de 2021) incluía una propuesta de mezcla obligatoria mínima de SAF para los proveedores de combustible en los aeropuertos de la UE y se aprobó en septiembre de 2023. La obligación también incluye un porcentaje mínimo de e-queroseno (la categoría de aviación de los e-combustibles). Este paquete involucra a los proveedores de combustible de aviación, las compañías aéreas y los aeropuertos. La propuesta considera que el SAF tiene el mayor potencial de descarbonización y, por lo tanto, la UE impulsa la introducción del SAF en el mercado. El plan para lograrlo con una mezcla mínima de SAF y e-queroseno es (UE, 2023/2):

- 2% a partir de 2025
- 6% a partir de 2030, con un mínimo de 0,7% de e-queroseno
- 20% a partir de 2035, con un mínimo de 5% de e-queroseno
- 34% a partir de 2040, con un mínimo de 8% de e-queroseno

- 42% para 2045, con un mínimo de 11% de e-queroseno
- 70% para 2050, con un mínimo de 28% de e-queroseno

Tras el exitoso primer vuelo comercial de un Boeing 747/400 de Virgin Atlantic con una mezcla de 80% de queroseno convencional y 20% de biocombustible de primera generación, más de 40 compañías aéreas han probado diferentes biocombustibles de aviación con resultados satisfactorios. Se verificó que las propiedades del queroseno no se modificaron al mezclarlo con biocombustible (*drop-in fuel*). La Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (*American Society for Testing and Materials International*, ASTM) aprobó una especificación de biocombustibles (julio de 2011), y la mayoría de los motores en servicio en la actualidad están certificados para funcionar con una mezcla de hasta el 50% de SAF en el queroseno estándar. La UE aceptó el reto de promover el SAF en el transporte aéreo, y dichos métodos se establecieron en el Plan Estratégico de Tecnología Energética (*Strategic Energy Technology*, SET).

La tecnología actual permite proporcionar SAF con emisiones de carbono reducidas, medidas sobre la base del ciclo de vida del CO₂, para sustituir al queroseno estándar. Lo que no está tan claro es si se puede hacer de manera rentable, y aquí radica el verdadero reto. Según estimaciones de la UE, el combustible SAF podría costar más de 2.000 €/tonelada frente a los 700 €/tonelada del queroseno estándar a los precios actuales (alrededor del triple de la media) (EASA, 2022), lo que puede resultar inasumible para la industria del transporte aéreo. Sin embargo, se espera que el precio disminuya a medida que mejore la curva de aprendizaje y aumenten los niveles de producción.

2.3.3 Posición de la industria del transporte aéreo

IATA realizó un comunicado de prensa el 14 de julio de 2021, relacionado con el paquete “*Fit for 55*” de la UE, en el cual afirmó que el SAF es la solución más práctica para la descarbonización, pero existe preocupación por su coste. La industria del transporte aéreo está comprometida con la descarbonización, pero se opone a los impuestos y tasas como solución para el cambio. Para reducir las emisiones, la IATA reivindica una política constructiva centrada en incentivar la producción de SAF y en la consecución de un Cielo Único Europeo. La IATA propuso emisiones netas de carbono cero para 2050. La 41ª Asamblea de la OACI (septiembre/octubre de 2022) también acordó el objetivo de emisiones netas de carbono cero de la aviación internacional para 2050, en línea con el Acuerdo de París de la CMNUCC (Figura 2.1). Las compañías aéreas ya cooperan con plantas industriales y centros de investigación para multiplicar la producción de SAF. A modo de ejemplo, el 25 de julio de 2023, International Airlines Group (IAG) anunció una inversión en Nova Pangaea Technologies (IAG, 2023/1) para impulsar el SAF de origen británico hacia la descarbonización de la industria.

2.4 Compañías aéreas prósperas y rentables desaparecen: ¿por qué?

Considerando las transformaciones de la industria del transporte aéreo, puede resultar sorprendente que a partir de la liberalización, tanto en EEUU como en Europa, las numerosas compañías troncales existentes (*majors, flag carriers*) se hayan reducido a tres grandes grupos (más las regionales y LCCs) en cada continente.

Ante tanta desaparición y absorción de compañías aéreas, cabe cuestionarse el porqué. ¿Cómo es posible que compañías aéreas, en su momento robustas y solventes, que han gestionado de forma rentable el negocio durante años, hayan colapsado y se hayan desmoronado como las ruinas de la antigua Roma? ¿Por qué no han sabido adaptar su *know-how* al nuevo entorno competitivo? ¿Cuál es el concepto de negocio que no han sabido ver y aplicar a las nuevas condiciones iniciales y de contorno? ¿Por qué hay compañías que desaparecen en el entorno reciente de 2019, en plena expansión de la demanda? ¿Por qué antes de la liberalización sabían gestionar y después no?

Es posible que la causa inmediata del cese de operaciones o absorción de algunas compañías aéreas fuera debido a problemas, y a veces colapso, económico-financiero; a un cambio brusco en las condiciones iniciales y de contorno que no supieron prever y menos gestionar; a la obsolescencia del producto para una demanda diferente; a las nuevas tarifas inasumibles; quizá cabría pensar también en razones de consolidación de negocio y economías de escala, etc. Estas y otras podrían ser causas inmediatas. Pero debido a la magnitud de la reestructuración, tanto en EEUU como en Europa, podría haber otras causas vinculadas a la gestión del negocio, a su *know-how*. Vamos a investigar esta hipótesis, desarrollando un modelo matemático y sus aplicaciones para conocer las causas, identificar los problemas y orientar las soluciones en la gestión de las compañías aéreas.

Para lo cual vamos a analizar y estudiar las variables que definen y describen el comportamiento de negocio de una compañía aérea, a partir de las cuales definiremos el concepto de negocio. Vamos a establecer y desarrollar un modelo matemático que permita visualizar de forma gráfica e ilustrativa tales variables de negocio y su relación entre ellas, definiendo la curva de equilibrio ó *break-even*. El modelo matemático incluye algunas ecuaciones simples y su discusión. Sus representaciones gráficas asociadas permitirán ver el comportamiento de negocio de una compañía aérea. Permitirán identificar dónde está la compañía aérea y dónde debería estar, dónde están los competidores y donde está el mercado. Permitirán entender y gestionar el negocio de una compañía aérea e ilustrar las decisiones a tomar y su porqué. Vamos a probar que el modelo matemático y sus curvas asociadas son un instrumento eficaz de gestión; y así mismo, un instrumento útil para investigar y encontrar las razones del éxito o fracaso de una compañía aérea.

Además, las curvas de *break-even* también proporcionan una útil herramienta de aplicación para valorar y abordar el caso de las nuevas regulaciones medioambientales y su efecto en los costes operativos de las compañías aéreas.

3. Material y métodos

Esta sección está estructurada en 9 partes:

- 3.1 Unidades de Producción ligadas al negocio
- 3.2 Variables Económicas de Negocio
- 3.3 Ecuación General de Negocio de una Compañía Aérea y superficie asociada
- 3.4 Ecuación de Equilibrio o *Break–Even* y su curva asociada
- 3.5 Discusión de la Ecuación de *Break–Even* ($R = 0$), con $\Delta c = 0$
- 3.6 Discusión de la Ecuación de *Break–Even* ($R = 0$), con $\Delta c \neq 0$
- 3.7 Discusión cuando NO se parte de la Curva de *Break–Even* sino de una posición donde $R > 0$, con $\Delta c \neq 0$
- 3.8 Discusión cuando NO se parte de la Curva de *Break–Even* sino de una posición donde $R < 0$, con $\Delta c \neq 0$
- 3.9 Ecuaciones de negocio referidas a Horas Bloque (BH)
- 3.10 Impacto del precio de SAF en los Costes Operativos

3.1 Unidades de Producción ligadas al negocio

Como recordatorio previo, consideramos algunos conceptos ligados al negocio del transporte aéreo.

3.1.1 Oferta

- Longitud de etapa: distancia de vuelo recorrida. Puede ser en km o en millas náuticas (NM, por sus siglas en inglés).
- Unidad de producción de pasajeros: Asiento km ofrecido, (*ako*, *AKO*) y también *Available seat km* (*ask*, *ASK*). Ambas unidades se utilizarán indistintamente. Como dato orientativo, para una compañía aérea con una flota de 120 aviones, de los cuales alrededor de un 30% son aviones de fuselaje ancho (*wide body*) dedicados a rutas de largo radio, el orden de magnitud de producción anual está en torno a los 70.000 millones de *akos*.
- Unidad de producción de carga: Tonelada km ofrecida, *tko*. En algunos casos se pueden unificar las unidades de producción en términos de *tkos*, asignando una cifra standard de peso por pasajero y maleta, sumando la carga. Si fuera el caso, mantendremos ambas unidades de producción desglosadas.

3.1.2 Demanda

- Unidad de pasajeros de pago transportados: Pasajero km transportado, (*pkt*, *PKT*) y también *Revenue Passenger km* (*rpk*, *RPK*). Ambas unidades se utilizarán indistintamente.
- Unidad de carga realizada: Tonelada km transportada, (*tkt*).
- Unidad de producción en términos de horas voladas: Hora Bloque ó *Block Hour*, BH por sus siglas en inglés. Se entiende por Hora Bloque el tiempo entre calzo y calzo (tiempo de vuelo despegue–aterrizaje más el tiempo de taxi o carreteo desde puesta en marcha de motores en origen hasta parada de motores en destino).

3.2 Variables económicas de negocio

Nos centraremos en el transporte de pasajeros en toda la tesis por ser la fuente de ingresos principal, cuya metodología es aplicable también al transporte de carga.

- *Coste unitario (c)* – Coste por unidad de producción de oferta: coste por *ako* en céntimos de € (*cts/ako* ó *cts/ask*, también *CASK*).
- *Ingreso unitario: yield (y)* – Ingreso medio por pasajero de pago transportado: *yield (y)*, ingreso por *pkt* en céntimos de € (*cts/pkt* ó *cts/rpk*).
- *Ocupación (LF)*: ocupación de pasajeros de pago del avión, *Load Factor, LF (%)*. Es la relación entre *ppts* y *akos*:

$$LF = \frac{ppts}{akos} (\%) = \frac{rpks}{asks} (\%)$$

El *LF* se suele expresar en términos porcentuales o en decimales (tanto por uno).

El *coste unitario (c)*, coste por *ako*, *cts/ako = CASK*, el *yield (y)* y el *Load Factor (LF)* constituyen las tres variables fundamentales de negocio de una compañía aérea y describen su comportamiento. Se trata de conseguir el mayor *yield* posible, la mayor ocupación posible (*LF*) y el menor coste por *ako (c)* posible, con la mayor producción posible (*akos*).

Se pueden considerar otros parámetros o variables, y en algunos casos proporcionan información muy indicativa y complementaria del negocio, pero son combinación lineal de las variables fundamentales. Por ejemplo: la producción en términos de Horas Bloque (*BH*) es un indicador relevante pero está incluido en los *akos*. Las *BH* están relacionadas con los *akos* mediante la velocidad bloque del avión. No obstante, se incluye una subsección referida a Horas Bloque. Otros indicadores operativos como el rendimiento tecnológico del avión, su versatilidad según la longitud de etapa, el alcance específico (ecuaciones de Breguet), etc., están integradas en las variables fundamentales de negocio definidas, especialmente en el coste unitario (*CASK*).

A veces también se facilita el ingreso por *ako* como parámetro de información adicional, pero solo es visualizar información complementaria, otro punto de vista, ligada al *yield* a través del *LF*.

3.3 Ecuación General de Negocio de una Compañía Aérea y superficie asociada

Las tres variables fundamentales indicadas proceden de la ecuación básica de negocio de toda empresa:

$$Resultados = Ingresos - Costes \quad (R = I - C)$$

Particularizando la ecuación anterior para una compañía aérea, considerando las tres variables fundamentales de negocio (*y, LF, c*), tenemos:

$$Ingresos (I) = y \cdot pkt$$

$$Costes (C) = c \cdot ako$$

Sustituyendo en $R = I - C$:

$$R = y \cdot pkt - c \cdot ako$$

Dividiendo la ecuación por los *akos*:

$$\frac{R}{ako} = y \cdot \frac{pkt}{ako} - c$$

Sustituyendo la expresión del *LF* en la ecuación anterior:

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c \quad (1)$$

La ecuación (1) relaciona los resultados económicos de una compañía aérea con sus tres variables fundamentales de negocio definidas. A su vez, proporciona información sobre el rendimiento económico de la compañía aérea por unidad de producción en *akos*.

La ecuación (1) también se puede escribir:

$$R = (y \cdot LF - c) \cdot ako \quad (2)$$

Las ecuaciones (1) y (2) representan la ecuación general característica de una compañía aérea y definen su comportamiento de negocio.

La representación gráfica de la ecuación (1) es (Figura 3.1):

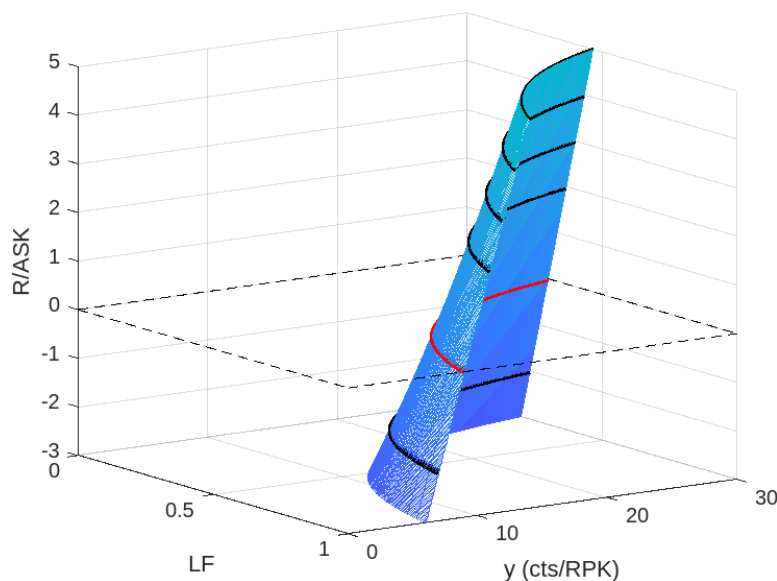


Figura 3.1. Representación gráfica de los resultados de una compañía aérea

La Figura 3.1 es la superficie representativa de los resultados de una compañía aérea para un coste unitario *c* determinado (ecuación 1). En el caso de la Figura 3.1, $c = 9 \text{ cts}/ako$.

Es una superficie suave y doblemente reglada según la intersección con planos paralelos a los planos verticales de coordenadas, con ligera inclinación hacia delante (para incrementar resultados, el *yield* o el *LF*, o ambos, deben aumentar).

Observaciones

1. En efecto: la intersección de la superficie con un plano genérico $y = y_0$ (perpendicular al eje *y*) es una recta $R/ako = y_0 \cdot LF - c$ de pendiente y_0 ; asimismo, la intersección de la superficie con un plano genérico $LF = LF_0$ (perpendicular al eje *LF*) es una recta $R/ako = y \cdot LF_0 - c$ de pendiente LF_0 . En

ambos casos, la ordenada en el origen es $-c$. Asimismo, las derivadas parciales respecto a LF y respecto a y son constantes. Por lo tanto, es una superficie doblemente reglada según ambos planos verticales.

2. El lugar geométrico de los puntos de la superficie con resultados constantes R_i es:

$$R_i/ako = y_i \cdot LF_i - c_i = \text{constante}$$

Es decir: $y_i \cdot LF_i = \text{constante} = k_i$. Lo cual corresponde a la ecuación de una hipérbola equilátera. Esto es: el lugar geométrico de resultados constantes son hipérbolas equiláteras contenidas en planos horizontales que cortan a la superficie de resultados (en trazo negro). Esto significa que la generatriz longitudinal de la superficie es una hipérbola equilátera, que sube o desciende a partir de la curva de *break-even* (se define a continuación) $y \cdot LF = c$ ($R/ako = 0$), dibujada en trazo rojo en la Figura 3.1.

3.4 Ecuación de Equilibrio ó *Break-Even* y su curva asociada

Para la gestión de una compañía aérea es muy útil considerar el caso en que $R = 0$.

Esto permite conocer qué combinación de variables consiguen el equilibrio o *break-even* de negocio. De esta forma se puede visualizar y conocer con precisión la referencia básica a partir de la cual obtener resultados positivos: $R > 0$.

A partir de la ecuación (1), la condición para $R = 0$ es:

$$\frac{R}{ako} = (y \cdot LF - c) = 0 \rightarrow y \cdot LF - c = 0$$

Por tanto:

$$y \cdot LF = c \tag{3}$$

Esta ecuación es una hipérbola equilátera¹ referida a sus asíntotas como ejes de coordenadas. Es una curva del tipo $x \cdot y = \text{constante}$. La representación gráfica de la ecuación (3) es (Figura 3.2):

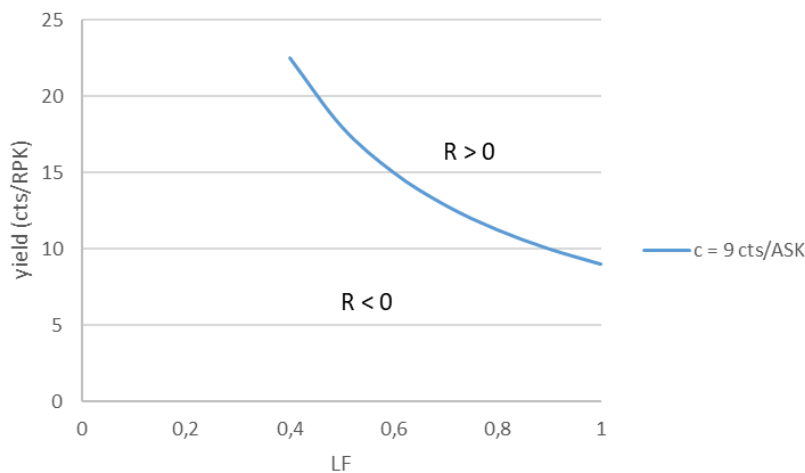


Figura 3.2: Curva de *break-even* o de equilibrio con un coste unitario de 9 cts/ako, correspondiente a una media de AF, LH, DL (ver Tabla 2.1)

¹ La hipérbola equilátera es una cónica que también se encuentra en la Termodinámica, la Teoría de la Relatividad, la Física Cuántica, la Economía y la Arquitectura.

Esta curva (Figura 3.2) se llama curva de *break-even* o de equilibrio y para cada valor de *yield* de la curva se obtiene el *Load Factor* de *break-even* (LF_{be}). Y viceversa. Valores de *yield* y LF sobre la curva generan equilibrio económico, resultados cero: $R = 0$.

Para cada par de valores de *yield* y LF por encima de la curva se obtienen resultados positivos ($R > 0$) y para valores de *yield* y LF por debajo de la curva se obtienen resultados negativos ($R < 0$). La curva de *break-even* es la frontera entre el conjunto de resultados positivos (por encima de la curva) y negativos (por debajo de la curva).

Considerando la superficie de resultados (Figura 3.1), si se corta la superficie por planos horizontales sucesivos en la zona de resultados positivos ($R/ako > 0$), su proyección horizontal son hipérbolas equiláteras de coste unitario c crecientes (convertir resultados positivos en cero, empeora), esto es, si fueran curvas de *break-even*, dejarían menos margen para resultados positivos. En sentido contrario, si se corta la superficie por planos horizontales sucesivos en la zona de resultados negativos ($R/ako < 0$), su proyección horizontal son hipérbolas equiláteras de coste unitario c decrecientes (convertir resultados negativos en cero, mejora), esto es, si fueran curvas de *break-even*, darían mayor margen para resultados positivos.

La ecuación de *break-even* y su curva asociada es una síntesis que aglutina el resto de las ecuaciones de negocio del transporte aéreo y se puede considerar como una ecuación básica para la gestión de una compañía aérea: es su indicador del comportamiento de negocio.

La curva de *break-even* puede oscilar continuamente por la variación permanente del coste unitario c debido a la variación del precio de combustible, paridad €/\$, etc. En consecuencia, conviene que la zona de operación comercial no sólo esté por encima de la curva sino lo más alejada posible para evitar resultados negativos debido a una oscilación no prevista que incremente el coste unitario y engulla el resultado de la compañía aérea.

3.5 Discusión de la Ecuación de *Break-Even* sin incremento de coste ($\Delta c = 0$)

Utilizaremos la hipérbola equilátera de equilibrio (curva de *break-even*) como modelo matemático para visualizar y comprender las principales variables fundamentales de negocio de una compañía aérea. Esto permite identificar dónde está la compañía aérea y dónde están los competidores; visualizar gráficamente el comportamiento de negocio de la compañía aérea y facilitar la toma de decisiones y su porqué.

Partimos de la ecuación general (1) de una compañía aérea:

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c \quad (1)$$

Diferenciamos la ecuación (1) para ver cómo las variaciones de y, LF, c generan variaciones en R . Así:

$$\begin{aligned} \frac{(R + dR)}{ako} &= (y + dy)(LF + dLF) - (c + dc) \\ \frac{R}{ako} + \frac{dR}{ako} &= yLF - c + ydLF + LFdy + dydLF - dc \end{aligned}$$

Sustituyendo la ecuación (1) en la ecuación anterior y simplificando, la ecuación anterior queda:

$$\frac{dR}{ako} = ydLF + LFdy + dydLF - dc$$

En términos diferenciales puede ocurrir que

$$\lim_{(dx,dy) \rightarrow (0,0)} dydLF = 0$$

Sin embargo, no ocurre así en términos de incrementos discretos, que es el caso real de una compañía aérea. Es decir: $\Delta y \cdot \Delta LF \neq 0$.

Poniendo la ecuación diferencial anterior en términos de incrementos discretos, queda:

$$\frac{\Delta R}{ako} = y\Delta LF + LF\Delta y + \Delta y\Delta LF - \Delta c \quad (4)$$

3.5.1 Consideración de los incrementos de *yield* (*y*), *LF* y coste unitario (*c*)

Sean:

u: Incremento porcentual de *yield* (*y*)

v: Incremento porcentual de *LF*

z: Incremento porcentual del coste unitario (*c*)

Podemos escribir la ecuación (4) de la forma:

$$\frac{\Delta R}{ako} = yLF \cdot v + LFy \cdot u + y \cdot uLF \cdot v - c \cdot z = yLF(u + v + uv) - cz$$

Es decir,

$$\frac{\Delta R}{ako} = yLF(u + v + uv) - cz \quad (5)$$

Las ecuaciones (4) y (5) se pueden utilizar indistintamente porque son equivalentes.

Si partimos de la ecuación de equilibrio $y \cdot LF = c$, sustituyendo en la ecuación (5) anterior queda:

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv) - cz = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) \quad (6)$$

3.5.2 Diversos casos y comprobación. Ejemplos: Casos 1, 2, 3 y 4

Partiendo de la ecuación de *break-even*

$$y \cdot LF = c,$$

vamos a considerar diversos casos posibles.

Para lo cual tomamos el ejemplo de una compañía aérea de corto y medio radio, representativa del conjunto de compañías aéreas europeas de corto y medio radio antes de la liberalización. El ejemplo también sería aplicable al largo radio o mezcla de ambos puesto que el planteamiento algebraico es el mismo: cambiarían los números pero no su representatividad.

Tomando una media de valores típicos de compañías aéreas europeas antes de la liberalización, podemos establecer un coste unitario $c = 9 \text{ cts/ako}$.

Aplicando la ecuación de *break-even* $y \cdot LF = c$ y particularizándola para $c = 9$:

$$y \cdot LF = 9$$

Considerando asimismo una media de valores típicos de compañías aéreas europeas de antes de la liberalización, sólo a título de ejemplo, podemos establecer un *yield* $y_0 = 15 \frac{\text{cts}}{\text{pkt}}$, obteniéndose un $LF_0 = 0,6$ (60%). Ambos valores pertenecen a la curva de *break-even* ($R = 0$).

Así pues:

$$y_0 = 15 \frac{\text{cts}}{\text{pkt}} \quad LF_0 = 0,6 \quad c = 9 \frac{\text{cts}}{\text{ako}}$$

Caso 1: $\Delta y \neq 0$, $\Delta LF = \Delta c = 0$ (incremento sólo de *yield*)

En este caso, donde sólo hay Δy , la ecuación (4) queda:

$$\frac{\Delta R}{\text{ako}} = y\Delta LF + LF\Delta y + \Delta y\Delta LF - \Delta c = LF\Delta y$$

Mantenemos las condiciones de partida: $c = 9 \frac{\text{cts}}{\text{ako}}$, $y_0 = 15 \frac{\text{cts}}{\text{pkt}}$, $LF_0 = 0,6$

Ejemplo numérico 1

Si incrementamos el *yield* y_0 ($15 \frac{\text{cts}}{\text{pkt}}$) en un 15%, se tiene:

$$u = 0,15 \text{ (15\%)} \rightarrow \Delta y_0 = 0,15 \cdot y_0 = 2,25 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 17,25 \frac{\text{cts}}{\text{pkt}}$$

$$v = 0$$

$$z = 0$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{\text{ako}} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{\text{ako}} = LF_0 \cdot \Delta y = 0,6 \cdot 2,25 = 1,35 \frac{\text{cts}}{\text{ako}}$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c = 17,25 \cdot 0,6 - 9 = 1,35 \frac{cts}{ako}$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide

Caso 2: $\Delta LF \neq 0$, $\Delta y = \Delta c = 0$ (incremento sólo de LF)

En este caso, donde sólo hay ΔLF , la ecuación (4) queda:

$$\frac{\Delta R}{ako} = y\Delta LF + LF\Delta y + \Delta y\Delta LF - \Delta c = y\Delta LF$$

Ejemplo numérico 2

Incrementando el LF_0 (0,6) en la misma proporción que en el caso de incremento de *yield* anterior (15%), tenemos:

$$u = 0$$

$$v = 0,15 \text{ (15\%)} \rightarrow \Delta LF_0 = 0,15 \cdot LF_0 = 0,09 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,69$$

$$z = 0$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = y\Delta LF = 15 \cdot 0,09 = 1,35 \frac{cts}{ako}$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_0 \cdot LF_1 - c = 15 \cdot 0,69 - 9 = 1,35 \frac{cts}{ako}$$

Como en el Caso 1, por ambas vías el resultado coincide, como era de esperar.

Asimismo, se comprueba que incrementos iguales de *yield* y LF producen el mismo incremento de resultado debido a la simetría de la ecuación de *break-even*.

Combinación de los Casos 1 y 2

Considerando la simetría de las ecuaciones de los Casos 1 y 2, se puede demostrar que cuando se incrementan *yield* y LF en la misma proporción, el resultado final (ΔR) es el mismo. En efecto:

Sean (y_0, LF_0) las coordenadas de un punto perteneciente a la curva de *break-even*.

Y sean sus incrementos (u, v) , respectivamente (no simultáneos), con $z = 0$ ($\Delta c = 0$):

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0, \quad \Delta LF_0 = v \cdot LF_0$$

1) Aplicando $\Delta y_0 = u \cdot y_0$:

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = LF_0 \Delta y_0 = LF_0 u \cdot y_0 = y_0 LF_0 \cdot u$$

2) Aplicando $\Delta LF_0 = v \cdot LF_0$:

$$\frac{\Delta R_2}{ako} = y_0 \Delta LF_0 = y_0 v \cdot LF_0 = y_0 LF_0 \cdot v$$

Si $u = v = a$, se cumple:

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{\Delta R_2}{ako} \rightarrow \Delta R_1 = \Delta R_2 = y_0 LF_0 \cdot a \cdot ako = c \cdot a \cdot ako$$

Asimismo, considerando la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

1) Aplicando Δy_0 :

$$\frac{R_1}{ako} = LF_0 \cdot y_0(1 + u) - c = y_0 \cdot LF_0 \cdot u$$

2) Aplicando ΔLF_0 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_0 \cdot LF_0(1 + v) - c = y_0 \cdot LF_0 \cdot v$$

Si $u = v = a$, se cumple:

$$\frac{R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} \rightarrow R_1 = R_2 = y_0 LF_0 \cdot a \cdot ako = c \cdot a \cdot ako$$

Como se quería demostrar.

Si aplicamos la ecuación (6)

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

el resultado es el mismo. Efectivamente, si $u = v = a$ (no simultáneos sino alternativos, con $z = 0$), se cumple:

$$\frac{\Delta R}{ako} = cu = cv = ca$$

Comentario 1

Para incrementar resultados R , el conocimiento de los Casos 1 y 2 y su combinación facilita la decisión de hacerlo vía incremento de *yield* o de LF , según dónde esté posicionada la compañía aérea en relación con su curva de *break-even*. Por ejemplo, si la compañía aérea está operando con un LF muy elevado, entre 0,8 y 0,9, aumentar resultados será más probable, si es posible, hacerlo vía incremento de *yield*. Y viceversa.

Caso 3: $\Delta y \neq 0$, $\Delta LF \neq 0$, $(\Delta y, \Delta LF > 0$, $\Delta c = 0)$

En este caso se incrementa *yield* y *LF* simultáneamente, ambos con incrementos positivos.

En este caso la ecuación (4) sería:

$$\frac{\Delta R}{ako} = y\Delta LF + LF\Delta y + \Delta y\Delta LF$$

Y la ecuación (6) quedaría:

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv)$$

Ejemplo numérico 3

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$ $LF_0 = 0,6$ $c = 9 \frac{cts}{ako}$

Incrementando *yield* en un 12% y *LF* en un 15%:

$$u = 0,12 \text{ (12\%)} \rightarrow \Delta y_0 = 0,12 \cdot y_0 = 1,8 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 16,8$$

$$v = 0,15 \text{ (15\%)} \rightarrow \Delta LF_0 = 0,15 \cdot LF_0 = 0,09 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,69$$

$$z = 0 \text{ } (\Delta c = 0)$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de *R* final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = y_0\Delta LF + LF_0 \cdot \Delta y + \Delta y\Delta LF = 15 \cdot 0,09 + 0,6 \cdot 1,8 + 1,8 \cdot 0,09 = 2,59 \frac{cts}{ako}$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c = 16,8 \cdot 0,69 - 9 = 2,59 \frac{cts}{ako}$$

Por ambas vías el resultado coincide, como era de esperar.

Efecto en la curva de *break-even*

Si con Δy_0 y ΔLF_0 indicados se pretendiera mantener al menos el resultado $R = 0$, los nuevos valores de *yield* y_1 y LF_1 serían los de la nueva curva de *break-even*, esto es:

$$y_1 \cdot LF_1 = 16,8 \cdot 0,69 = 11,59 = c$$

Es decir, el coste unitario *c* tendría margen para aumentar desde 9 hasta 11,59, esto es, hasta un 28,8% para mantener, al menos, $R = 0$.

Comentario 2

- a) En el caso de Δy e ΔLF alternativos (uno u otro, no simultáneos, como se ha visto en los Casos 1 y 2), la suma de resultados genera un incremento de resultado total inferior a si se incrementan ambos de forma simultánea (o sucesiva pero a partir

del primer incremento realizado) debido al efecto del factor $\Delta y \cdot \Delta LF$. Este factor mejora la suma simple de resultados.

Efectivamente, aplicando la ecuación (6) para $z = 0$:

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv)$$

$u + v = 0,12 + 0,15 = 0,27$ (27%), incrementos no simultáneos.

Sin embargo, con incrementos simultáneos o continuados pero a partir del incremento inicial:

$u + v + uv = 0,27 + 0,018 = 0,288$, es decir un incremento del 28,8%.

Si no hay alta presión de demanda, incrementar *yield* y *LF* al mismo tiempo (o de forma sucesiva no lejana en el tiempo) es difícil, pero no imposible.

- b) Cuando se incrementan *yield* y *LF*, es muy probable que aumente también el coste unitario c . El margen para aumentar el coste unitario c manteniendo al menos $R = 0$, es hasta un 28,8% como se ha comprobado al calcular la nueva curva de *break-even* con los nuevos *yield* y *LF* incrementados, lo cual coincide con el apartado a) anterior de este comentario. Este margen de Δc permite conocer el marco de referencia dentro del cual hay que gestionar los incrementos para que $\Delta R \geq 0$.

Si Δy y ΔLF son de signo contrario, el efecto de $\Delta y \cdot \Delta LF$ es negativo, como se verá.

Caso 4: $\Delta y \neq 0$, $\Delta LF \neq 0$ y de signo contrario, con $\Delta c = 0$

En este caso Δy y ΔLF son simultáneos pero de signo contrario, lo cual es un hecho frecuente en la gestión de una compañía aérea (cuando se aumenta la tarifa suele bajar la ocupación y, viceversa, la ocupación suele crecer al disminuir la tarifa; la elasticidad puede ser diferente).

Supongamos el caso en que se mantiene $R = 0$ ($\Delta R = 0$), con $\Delta c = 0$.

En este caso,

$$\frac{\Delta R}{ako} = y\Delta LF + LF\Delta y + \Delta y\Delta LF = 0$$

Sean (y_0, LF_0) las coordenadas de un punto perteneciente a la curva de *break-even*.

Es decir:

$$y_0\Delta LF_0 + LF_0\Delta y_0 + \Delta y_0\Delta LF_0 = 0 \quad (7)$$

Sean u, v los incrementos porcentuales de y_0, LF_0 respectivamente. Es decir:

$$\Delta y_0 = uy_0$$

$$\Delta LF_0 = vLF_0$$

Sustituyendo en (7):

$$y_0 v L F_0 + L F_0 u y_0 + u y_0 v L F_0 = 0$$

Como $y_0 L F_0 = c$, sustituyendo en la ecuación anterior:

$$c v + c u + c u v = 0 \rightarrow c(v + u + uv) = 0$$

Simplificando c , queda:

$$u + v + uv = 0 \quad (8)$$

Ejemplo numérico 4

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$ $L F_0 = 0,6$ $c = 9 \frac{cts}{ako}$

Si $\Delta y_0 = +14\%$ ($u = +0,14$)

Despejando v de la ecuación (8) se obtiene:

$$v = -\frac{u}{1+u} = -0,1228 \text{ } (-12,28\%) < |0,14| \rightarrow |v| < |u|$$

De la misma forma, si $\Delta L F_0 = +14\%$ ($v = +0,14$)

Despejando u (función inversa), se obtiene:

$$u = -\frac{v}{1+v} = -0,1228 \text{ } (-12,28\%) < |0,14| \rightarrow |u| < |v|$$

Comentario 3

Para mantener al menos $\Delta R = 0$ como consecuencia de un incremento del *yield*, la máxima disminución de *LF* admisible es inferior al porcentaje de incremento de *yield* en valor absoluto. Y viceversa si se incrementa *LF*.

En consecuencia,

$$u + v \neq 0 \rightarrow u \neq -v$$

Es decir, u no puede ser igual a $-v$ porque si fuera $u + v = 0$ entonces debería ser $uv = 0$, lo cual no es posible.

Esto tiene interés para la gestión de una compañía aérea y su control estratégico de los límites. Significa que no se puede incrementar el *yield* y disminuir el *LF* en la misma cantidad porcentual si se pretende mantener al menos $R = 0$ ($\Delta R = 0$) sin modificar el coste unitario c . Su desconocimiento puede inducir a un error de cálculo y sorpresas si se asume que ambos incrementos se compensan. Incrementos de *yield* y decrementos de *LF* de igual valor absoluto implican necesariamente: o bien $\Delta R \neq 0$ (en este caso sería $\Delta R < 0$ manteniendo $\Delta c = 0$); o bien reducir el coste unitario c para mantener $\Delta R = 0$, como se comprueba a continuación.

Así, a partir de la ecuación (6):

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

Si $u + v = 0$ ocurre que:

a) Caso en que $\Delta R = 0$

$$u + v + uv - z = 0 \rightarrow uv = z$$

Es decir, $\Delta c \neq 0$. En cuyo caso, $\Delta c < 0$ ya que u y v son de signo contrario, y por consiguiente $\Delta c = z \cdot c = -uv \cdot c = -\Delta y \Delta LF < 0$. Por lo tanto hay que reducir el coste unitario c para mantener al menos $\Delta R = 0$.

O bien:

b) Caso en que $\Delta c = 0$

$$z = 0 \rightarrow \Delta R \neq 0, \quad \Delta R < 0$$

En efecto, si $u = -v$ y $z = 0$

$$\frac{\Delta R}{ako} = -uv \cdot c = -\Delta y \Delta LF < 0$$

Esto es, los resultados se reducen si se mantiene el coste unitario ($\Delta c = 0$). También pueden existir soluciones intermedias entre reducción de resultados R y reducción de coste unitario c .

Por ejemplo: si se pretende incrementar *yield* como objetivo estratégico, en general suele disminuir el LF , al menos inicialmente, salvo en un escenario de alta demanda. En este caso hay que tener en cuenta que el máximo decremento admisible de LF es inferior en valor absoluto al incremento de *yield*, para al menos mantener resultados ($\Delta R = 0$) sin reducir coste unitario. Y viceversa si se incrementa el LF . Es importante para la gestión de una compañía aérea conocer los límites aceptables del incremento objetivo y su posible impacto negativo en otras variables.

Ejemplo numérico 5 ($-\Delta y = \Delta LF$, $-u = v$)

$$\text{Mantenemos las condiciones de partida: } y_0 = 15 \frac{cts}{pkt} \quad LF_0 = 0,6 \quad c = 9 \frac{cts}{ako}$$

Sean:

$$u = -0,14 (-14\%) \rightarrow \Delta y_0 = -0,14 \cdot y_0 = -2,1 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 12,9$$

$$v = +0,14 (+14\%) \rightarrow \Delta LF_0 = 0,14 \cdot LF_0 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$z = 0 (\Delta c = 0)$$

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = \Delta y_0 \Delta LF_0 = -2,1 \cdot 0,084 = uv \cdot c = -0,1764 \frac{cts}{ako} < 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c = 12,9 \cdot 0,684 - 9 = -0,1764 \frac{cts}{ako} < 0$$

Ambas vías coinciden, como se quería verificar.

Si se pretendiera mantener al menos $R = 0$ ($\Delta R = 0$), la curva de *break-even* debería serlo con los nuevos *yield* y *LF* obtenidos, es decir:

$$y_1 \cdot LF_1 = 12,9 \cdot 0,684 = 8,8236 = c$$

Por consiguiente, para mantener al menos $R = 0$ se debería reducir el coste unitario desde 9 hasta 8,8236 (-1,96%). Se puede observar que también $uv = -0,0196$ (-1,96%), todo lo cual verifica los apartados a) y b) del Comentario 3 anterior.

3.5.3 Relación de incrementos porcentuales (u, v) para $\Delta R = 0$ con $\Delta c = 0$

Partimos de la ecuación (8): $u + v + uv = 0$.

Tomamos v como variable independiente y vamos a calcular $u = f(v)$:

$$u(1 + v) + v = 0 \quad \rightarrow \quad u = -\frac{v}{1 + v} \quad (9)$$

Como se puede observar, $|u| < |v|$ como ya se ha comentado.

Representación gráfica:

$$v = 0 \quad \rightarrow \quad u = 0 \quad (\text{la curva pasa por el origen de coordenadas})$$

Asíntotas:

$$\lim_{v \rightarrow \infty} u = \lim_{v \rightarrow \infty} -\frac{v}{1 + v} = -1$$

Derivada:

$$\frac{du}{dv} = -\frac{(1 + v) - v}{(1 + v)^2} = -\frac{1}{(1 + v)^2}$$

Derivada en el origen ($v = 0$):

$$\frac{du}{dv} = -1$$

Representación gráfica:

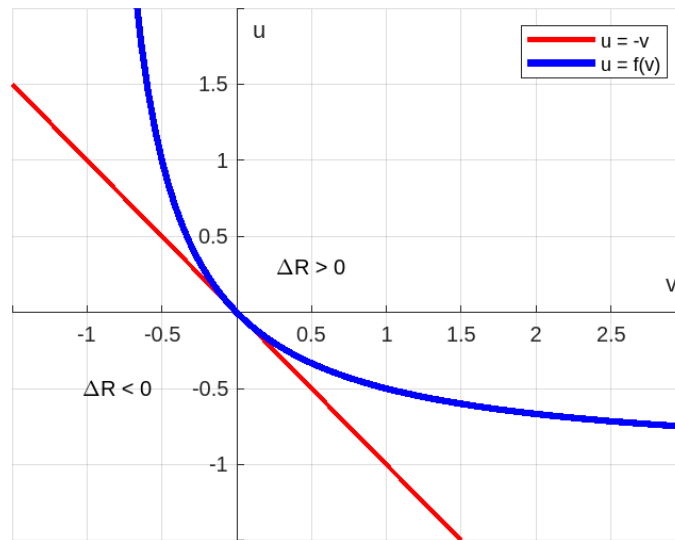


Figura 3.3 Representación gráfica entre incrementos (u, v) con $u = f(v)$. La línea roja corresponde a la tangente en el origen.

La ecuación (9) y su curva asociada (Figura 3.3) expresa algebraicamente que una disminución de *yield* del 100% ($u = -1$), es decir: cero ingresos, implica que la ocupación (*LF*) debe ser infinita ($v \rightarrow \infty$) para compensarlo. Esto es: v es una singularidad para $u = -1$. Y viceversa: en el caso de una disminución del 100% del *LF*, el *yield* debe ser infinito ($v = -1, u \rightarrow \infty$) para compensarlo. Evidentemente, esto está fuera del mundo real pero las matemáticas permiten aproximarse al infinito para explicar cosas en el mundo real.

Comentario 4

Considerando la recta $u = -v$ de la Figura 3.3 (recta de pendiente negativa -1 , ángulo de 45°), para cualquier valor de v , u ‘llega’ a la curva antes de ‘llegar’ a la recta $u = -v$. Es decir, para cualquier valor de v , el valor absoluto de u es inferior al valor absoluto de v ($|u| < |v|$). Cuanto mayor es el valor de v , mayor es la diferencia, como se puede observar en la Figura 3.3. Cuanto más aumenta el *LF* (v), más capacidad de disminución de *yield* (u) manteniendo $\Delta R \geq 0$, y viceversa. Es un elemento más de gestión que permite conocer los límites a no sobrepasar en las variaciones de *yield* y *LF* para que en todo caso $\Delta R \geq 0$. Por encima de la curva, $\Delta R > 0$. Por debajo de la curva, $\Delta R < 0$.

Si se hubiera considerado u como variable independiente (función inversa), tendríamos:

$$u + v(1 + u) = 0 \quad \rightarrow \quad v = -\frac{u}{1 + u}$$

Las consideraciones son análogas al caso anterior.

3.5.4 Reconsideración del Caso 4: $\Delta y \neq 0, \Delta LF \neq 0$ de signo contrario, con $\Delta c = 0$

Caso 4a) Caso en que $\Delta R = 0$. En este caso se cumple:

$$u = -\frac{v}{1 + v}$$

Ejemplo numérico 6

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$ $LF_0 = 0,6$ $c = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$u =$ a determinar según la ecuación (9)

$v = +0,14$ (+14%)

$z = 0$ ($\Delta c = 0$)

Determinación de u :

$$u = -\frac{v}{1+v} = -\frac{0,14}{1+0,14} = -0,1228 \text{ (-12,28\%)} \quad (|u| < |v|)$$

En estas condiciones:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = -1,842 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 13,158$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c = 0$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv) = 9(-0,1228 + 0,14 - 0,0172) = 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c = 13,158 \cdot 0,684 - 9 = 0$$

Por ambas vías el resultado coincide, como se quería comprobar.

Verificación de la curva de break-even

Como $\Delta R = 0$, los nuevos valores de *yield* y_1 y LF_1 deben verificar la curva de *break-even*. Efectivamente:

$$y_1 \cdot LF_1 = 13,158 \cdot 0,684 = 9$$

Caso 4b) Caso en que $\Delta R > 0$. En este caso se debe cumplir:

$$u > -\frac{v}{1+v}$$

Para cualquier valor de v , u no llega a la curva, se mantiene en su parte superior (Figura 3.3), que corresponde a la zona de $\Delta R > 0$, como ya se ha comentado. Esto significa que u (Δy_0) no puede reducirse tanto como en el caso $\Delta R = 0$ si se pretende que $\Delta R > 0$.

Ejemplo numérico 7

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$ $LF_0 = 0,6$ $c = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$$u \text{ (ahora dado)} = -0,12 \text{ (-12\%)} > u = -\frac{v}{1+v} = -0,1228 \text{ (-12,28\%)}$$

$$v = +0,14 \text{ (+14\%)}$$

$$z = 0$$

Tomamos un valor de u ligeramente superior (menos negativo) al valor de u obtenido en el caso anterior $\Delta R = 0$. Nótese que u aquí también es inferior a v en valor absoluto $|u| < |v|$.

En estas condiciones:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = -0,12 \cdot 15 = -1,8 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 15 - 1,8 = 13,2$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c = 0$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv) = 9(-0,12 + 0,14 - 0,0168) = 0,0288 > 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c = 13,2 \cdot 0,684 - 9 = 0,0288 > 0$$

Los resultados coinciden y son positivos, como se quería comprobar. La variación de *yield* asociada a u no llega a la curva y se mantiene en la parte superior (Figura 6-3).

Verificación de la posible curva de *break-even* con el nuevo *yield* y_1 y LF_1 :

$$y_1 \cdot LF_1 = 13,2 \cdot 0,684 = 9,0288 > 9 = c$$

Lo cual indica que, si se pretendiera mantener el resultado $R = 0$ ($\Delta R = 0$), se podría incrementar el coste unitario c desde 9 hasta 9,0288 (+0,32%).

Caso 4c) Caso en que $\Delta R < 0$. En este caso se cumple:

$$u < -\frac{v}{1+v}$$

Para cualquier valor de v , u sobrepasa la curva, se mantiene en su parte inferior (véase Figura 3.3), que corresponde a la zona de $\Delta R < 0$.

Ejemplo numérico 8

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$ $LF_0 = 0,6$ $c = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$$u(\text{ahora dado}) = -0,125 (-12,5\%) < u = -\frac{v}{1+v} = -0,1228 (-12,28\%)$$

$$v = +0,14 (+14\%)$$

$$z = 0 (\Delta c = 0)$$

Tomamos un valor de u ligeramente inferior (más negativo) al valor de u obtenido en el caso $\Delta R = 0$. Nótese que u aquí es superior en valor absoluto al caso $\Delta R = 0$:

$$|u| > \left| -\frac{v}{1+v} \right|$$

En estas condiciones:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = -0,125 \cdot 15 = -1,875 \quad \rightarrow \quad y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 13,125$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \quad \rightarrow \quad LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c = 0$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv) = 9(-0,125 + 0,14 - 0,0175) = -0,0225 < 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c = 13,125 \cdot 0,684 - 9 = -0,0225 < 0$$

Los resultados coinciden y son negativos, como se quería comprobar. La variación de *yield* asociada a *u* sobrepasa a la curva y se sitúa en la parte inferior (ver Figura 6-3).

Verificación de la posible curva de break-even con el nuevo yield y_1 y LF_1 :

$$y_1 \cdot LF_1 = 13,125 \cdot 0,684 = 8,9775 < 9 = c$$

Lo cual indica que, si se pretendiera mantener el resultado $R = 0$ ($\Delta R = 0$), se debería reducir el coste unitario c hasta desde 9 hasta 8,9775 (−0,25%).

Comentario 5

El efecto cruzado de $\Delta y \cdot \Delta LF$ contribuye a mejorar resultados cuando ambos incrementos simultáneos o sucesivos son positivos, con un efecto mayor a la sola suma de Δy e ΔLF (Casos 1 y 2). Sin embargo, contribuyen a reducir resultados cuando son de signo contrario, con un efecto peor a la sola resta entre ambos incrementos, como se ha comprobado.

Comentario 6

En la realidad de la gestión de una compañía aérea es probable que al incrementar *yield* se reduzca el *LF* y viceversa, como ya se ha mencionado. En consecuencia, es de mucho interés conocer los márgenes de maniobra posibles de Δy y ΔLF para su control y mantener al menos resultados R en todo momento, que en ningún caso sea $\Delta R < 0$. También es útil para conocer las reducciones de *LF* (o *yield*) asumibles que pudieran generar inicialmente resultados $R < 0$, dentro de unos límites previstos en cantidad y tiempo hasta que la acción estratégica de incremento de *yield* (o *LF*) dé sus frutos.

La Figura 3.3 es una síntesis de lo descrito hasta ahora, donde se puede observar con mucha claridad gráfica la relación entre los distintos valores de las variables. En síntesis, la relación de incrementos es un indicador que ayuda a la gestión, muestra cuál debe ser la relación (u, v) de signo contrario para que en todo momento sea $\Delta R \geq 0$.

3.6 Discusión de la Ecuación de *Break-Even* con incremento de coste ($\Delta c \neq 0$)

Hasta aquí todos los casos considerados han sido partiendo de la ecuación de *break-even*, sin variación del coste unitario ($\Delta c = 0$). Vamos ahora a plantear 3 casos en los que el coste unitario varía: $\Delta c \neq 0$.

Caso 5) $\Delta y \neq 0$, $\Delta LF \neq 0$, $\Delta c \neq 0$, siendo $\Delta y > 0$, $\Delta LF > 0$ (ambos positivos)

Caso 6) Cuando Δy e ΔLF son de signo contrario, $\Delta c \neq 0$ con $\Delta c > 0$

Caso 7) Cuando Δy e ΔLF son de signo contrario, $\Delta c \neq 0$ con $\Delta c < 0$

Caso 5) $\Delta y \neq 0$, $\Delta LF \neq 0$, $\Delta c \neq 0$, siendo $\Delta y > 0$, $\Delta LF > 0$ (ambos positivos)

Recordamos:

u Incremento porcentual de *yield* (y)

v Incremento porcentual de *LF*

z Incremento porcentual del coste unitario (c)

En este caso, partimos de la ecuación (6)

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) \quad (6)$$

En general, cuando se incrementa el *yield* y el *LF* suele aumentar el coste unitario *c*. Por ejemplo, incrementar *yield* puede estar asociado a una mayor calidad del producto y, en consecuencia, mayor coste. Asimismo, incrementar *LF* implica mayor peso y puede resultar también en más catering y otras atenciones. Es decir, el coste unitario *c* es una función del *yield* y *LF* (entre otras componentes de coste). Evidentemente, el posible incremento del coste unitario *c* debe hacerlo menor que el incremento de *yield* y *LF* para que el resultado sea positivo.

En este caso, al incrementar *yield* y *LF*, la variación del resultado *R* dependerá del posible incremento del coste unitario *c* asociado.

Caso 5a) Caso en que $\Delta R = 0$:

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) = 0$$

$$c(u + v + uv - z) = 0 \quad \rightarrow \quad u + v + uv = z$$

Es decir, $z > u + v$

En este caso, los incrementos de *yield* y *LF* están contrarrestados por el incremento de coste unitario *c*.

Ejemplo numérico 9

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$ $LF_0 = 0,6$ $c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$$u = +0,12 (+12\%)$$

$$v = +0,14 (+14\%)$$

En estas condiciones:

$$z = u + v + uv = 0,12 + 0,14 + (0,12 \cdot 0,14) = 0,26 + 0,0168 = 0,2768$$

$$z = 0,2768 (27,68\%) \rightarrow \Delta c = c_0 \cdot z = 2,4912 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c = 11,4912$$

El nuevo coste unitario será $c_1 = c_0 + \Delta c = 11,4912$. Como se puede comprobar, el incremento porcentual del coste unitario para pasar desde $c_0 = 9$ á $c_1 = 11,4912$ es + 27,68%.

Comentario 7

Se observa que la suma porcentual de Δy más ΔLF es 26%, inferior a *z*. Es decir, un incremento inferior al incremento del coste unitario *c* ($z = 27,68\%$). Esto es debido al efecto cruzado de $\Delta y \Delta LF$, de forma que permite un pequeño margen de Δc , ligeramente por encima de la suma de Δy más ΔLF . Esto es importante para la gestión de una compañía aérea con objeto de controlar el efecto en costes de las decisiones estratégicas

para aumentar *yield* y *LF*. La suma de Δy más ΔLF puede ser un primer control a no sobrepasar en el Δc como consecuencia del incremento de *yield* y *LF*.

En estas condiciones:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = 0,12 \cdot 15 = +1,8 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 16,8$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,6 \cdot 0,14 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,2768 \cdot 9 = 2,4912 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 11,4912$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de *R* final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = 9(0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14 - 0,2768) = 9 \cdot 0 = 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c_1 = (16,8 \cdot 0,684) - 11,4912 = 0$$

Como se quería comprobar y cabía esperar, por ambas vías el resultado coincide.

Verificación de la hipérbola

Al ser condición $\Delta R = 0$, los nuevos valores de *yield* (y_1), *LF* (LF_1) y coste unitario (c_1) deberán constituir una nueva curva de *break-even* ($R = 0$). Efectivamente:

$$y_1 \cdot LF_1 = 16,8 \cdot 0,684 = 11,4912 = c_1$$

En el caso de que Δc fuera menor que $z \cdot c$ ($\Delta c < z \cdot c$), ΔR sería positivo, como se verá a continuación.

Caso 5b) Caso en que $\Delta R > 0$

En este caso

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) > 0$$

Es decir:

$$c(u + v + uv - z) > 0 \rightarrow (u + v + uv - z) > 0 \rightarrow z < (u + v + uv)$$

Ejemplo numérico 10

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$, $LF_0 = 0,6$, $c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$$u = +0,12 (+12\%)$$

$$v = +0,14 (+14\%)$$

$$z (\text{dado}) = 0,26 (26\%) < z = u + v + uv = 0,2768 \text{ del caso anterior 5a.}$$

(Se ha tomado $z = 0,26 (26\%)$, que coincide con $u + v$).

En estas condiciones:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = 0,12 \cdot 15 = 1,8 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 16,8$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,6 \cdot 0,14 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,26 \cdot 9 = 2,34 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 11,34$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = 9(0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14 - 0,26) = 9 \cdot 0,0168 = 0,1512 \frac{cts}{ako} > 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c_1 = (16,8 \cdot 0,684) - 11,34 = 0,1512 \frac{cts}{ako} > 0$$

Como se quería comprobar y cabía esperar, por ambas vías el resultado coincide.

Si se quisiera mantener al menos $\Delta R = 0$, hay margen para incrementar coste unitario desde 11,34 hasta 11,4912 (Caso 5a anterior), es decir: + 1,33 %.

Comentario 8

Se puede establecer un cierto margen de maniobra como límites de referencia entre Δy , ΔLF y Δc , dentro del cual se pueden ir moviendo las variables para obtener $\Delta R \geq 0$ en cualquier caso. Lo cual es muy útil en la gestión de compañías aéreas para conocer lo que está pasando en todo momento, tenerlo bajo control, y hacer los reajustes necesarios (si fuere necesario) para que $\Delta R \geq 0$, de tal forma que si $z > 0$ se cumpla $0 \leq z < (u + v + uv)$. Lo ideal es que $z = 0$, lo cual es difícil pero no imposible.

Caso 5c) Caso en que $\Delta R < 0$

En este caso

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) < 0$$

Es decir:

$$c(u + v + uv - z) < 0 \rightarrow (u + v + uv - z) < 0 \rightarrow z > (u + v + uv)$$

Ejemplo numérico 11

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$, $LF_0 = 0,6$, $c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$$u = +0,12 \text{ (+12\%)}$$

$$v = +0,14 \text{ (+14\%)}$$

$$z \text{ (dado)} = 0,28 \text{ (28\%)} > z = u + v + uv = 0,2768 \text{ (del caso anterior 5a)}$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

En estas condiciones:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = 0,12 \cdot 15 = 1,8 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 16,8$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,6 \cdot 0,14 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c = z \cdot c_0 = 0,28 \cdot 9 = 2,52 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 11,52$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = 9(0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14 - 0,28) = 9 \cdot (-0,0032) = -0,0288 \frac{cts}{ako} < 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c_1 = (16,8 \cdot 0,684) - 11,52 = -0,0288 \frac{cts}{ako} < 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar. Por ambas vías el resultado coincide.

En resumen:

Para $\Delta y > 0$, $\Delta LF > 0$, $\Delta c \neq 0$, se cumple:

$$\Delta R = 0 \rightarrow z = u + v + uv$$

$$\Delta R > 0 \rightarrow z < u + v + uv$$

$$\Delta R < 0 \rightarrow z > u + v + uv$$

En consonancia con el Comentario 8, esta información es de gran utilidad para el control de gestión de las decisiones estratégicas y su influencia en los resultados de negocio de una compañía aérea.

Caso 6. Cuando Δy e ΔLF son de signo contrario, $\Delta c \neq 0$ con $\Delta c > 0$

Este caso es muy frecuente en la vida real de una compañía aérea. Cuando se incrementa el *yield* (vía aumento de tarifas o por trasvase de pasajeros de turista a *business*) suele disminuir el *LF* (y viceversa), al menos inicialmente, y también suele aumentar el coste unitario. Una excepción es, como ya se ha comentado, cuando hay mucha presión de demanda.

Partimos de la ecuación (6):

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) \quad (6)$$

Caso 6a) Caso en que $R = 0$ ($\Delta R = 0$)

En este caso en que $\Delta R = 0$ se cumple:

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) = 0 \rightarrow u + v + uv - z = 0$$

$$z = u + v + uv = u(1 + v) + v$$

Tomando v como variable independiente y despejando u , queda:

$$u = \frac{z - v}{1 + v} \quad (10)$$

Obsérvese que si $z = 0$ ($\Delta c = 0$) se obtiene

$$u = -\frac{v}{1 + v}$$

Que corresponde a la ecuación 9 para el caso ya visto en que $\Delta c = 0$ (Caso 4)

A partir de (10):

$$u = \frac{z - v}{1 + v}$$

En este caso $z > 0$: consideramos z como parámetro. Tomamos $z = 0,05 > 0$.

Se trata de discutir $\Delta c = z \cdot c$ en relación con los incrementos de *yield* y *LF*.

Ejemplo numérico 12

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$, $LF_0 = 0,6$, $c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$u = a$ determinar mediante la ecuación (10)

$v = +0,14$ (+14%)

$z = +0,05$ (+5%)

En estas condiciones:

$$u = \frac{z - v}{1 + v} = \frac{0,05 - 0,14}{1 + 0,14} = -0,07895 \text{ (-7,895\%)}$$

En consecuencia,

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = -0,07895 \cdot 15 = -1,184211 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 13,81579$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,05 \cdot 9 = 0,45 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 9,45$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = 9(-0,07895 + 0,14 - 0,07895 \cdot 0,14 - 0,05) = 9 \cdot (0) = 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c_1 = (13,81579 \cdot 0,684) - 9,45 = 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Verificación nueva hipérbola

Al ser condición $\Delta R = 0$, los nuevos valores de yield (y_1), LF (LF_1) y coste unitario (c_1) deberán constituir una nueva curva de *break-even* ($R = 0$):

$$y_1 \cdot LF_1 = 13,81579 \cdot 0,684 = 9,45 = c_1$$

Caso 6b) Caso en que $\Delta R > 0$

En este caso,

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) > 0 \rightarrow u + v + uv - z > 0$$

$$u > \frac{z - v}{1 + v}$$

Tomamos

$$u = -0,07 (-7\%) > \frac{z - v}{1 + v} = -0,07895$$

Es decir, se reduce la disminución de *yield* (se hace menos negativo)

Ejemplo numérico 13

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$, $LF_0 = 0,6$, $c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$$u \text{ (dado)} = -0,07 \text{ (-7\%)}$$

$$v = +0,14 \text{ (+14\%)}$$

$$z = +0,05 \text{ (+5\%)}$$

En estas condiciones:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = -0,07 \cdot 15 = -1,05 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 13,95$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,05 \cdot 9 = 0,45 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 9,45$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{1}{ako} \Delta R = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = 9(-0,07 + 0,14 - 0,07 \cdot 0,14 - 0,05) = 9 \cdot 0,0102 = 0,0918 > 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c_1 = (13,95 \cdot 0,684) - 9,45 = 9,5418 - 9,45 = 0,0918 > 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Verificación de posible nueva hipérbola (con el nuevo yield y_1 y LF_1)

$$y_1 \cdot LF_1 = 13,95 \cdot 0,684 = 9,5418 > 9,45 = c_1$$

Lo cual indica que en el caso de mantener al menos $\Delta R = 0$, habría margen para incrementar el nuevo coste unitario c_1 desde 9,45 hasta 9,5418 (+0,97%).

Caso 6c) Caso en que $\Delta R < 0$

En este caso,

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) < 0 \rightarrow u + v + uv - z < 0$$

$$u < \frac{z - v}{1 + v}$$

Tomamos

$$u = -0,08 \text{ (-8\%)} < \frac{z - v}{1 + v} = -0,07895$$

Es decir, la disminución de *yield* se hace más negativa

Ejemplo numérico 14

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$, $LF_0 = 0,6$, $c = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$$u \text{ (dado)} = -0,08 \text{ (-8\%)}$$

$$v = +0,14 \text{ (+14\%)}$$

$$z = +0,05 \text{ (+5\%)}$$

En estas condiciones:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = -0,08 \cdot 15 = -1,2 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 13,8$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,05 \cdot 9 = 0,45 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 9,45$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = 9(-0,08 + 0,14 - 0,08 \cdot 0,14 - 0,05) = 9 \cdot (-0,0012) = -0,0108 < 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c_1 = (13,8 \cdot 0,684) - 9,45 = 9,4392 - 9,45 = -0,0108 < 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Verificación de posible nueva hipérbola (con el nuevo *yield* y_1 y LF_1)

$$y_1 \cdot LF_1 = 13,8 \cdot 0,684 = 9,4392 < 9,45 = c_1$$

Para mantener al menos $\Delta R = 0$, se debería reducir el nuevo coste unitario c_1 desde 9,45 hasta 9,4392 (-0,11429%).

Caso 7. Cuando Δy y ΔLF son de signo contrario, $\Delta c \neq 0$ con $\Delta c < 0$

Partimos de la ecuación (6):

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) \quad (6)$$

Y también:

$$u = \frac{z - v}{1 + v} \quad (10)$$

En este caso $z < 0$: tomamos z como parámetro, $z = -0,05$ (-5%)

Caso 7a) Caso en que $R = 0$ ($\Delta R = 0$)

En este caso en que $\Delta R = 0$ se cumple:

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) = 0 \rightarrow u + v + uv - z = 0$$

$$z = u + v + uv = u(1 + v) + v$$

Ejemplo numérico 15

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$, $LF_0 = 0,6$, $c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$u = a$ determinar mediante la ecuación (10)

$v = +0,14$ (+14%)

$z = -0,05$ (-5%)

Cálculo de u :

$$u = \frac{z - v}{1 + v} = \frac{-0,05 - 0,14}{1 + 0,14} = \frac{-0,19}{1,14} = -0,1667 \text{ (-16,67\%)}$$

$$u = -0,1667 \text{ (-16,67\%)}$$

Comentario 9

Es decir, reduciendo el coste unitario c un 5% ($z = -5\%$) hay margen para reducir *yield* hasta un 16,67% (-16,67%) con un incremento del 14% del LF y mantener $R = 0$ ($\Delta R = 0$), lo cual es un indicador del gran efecto que produce reducir el coste unitario. Esto es de gran importancia para la gestión de una compañía aérea, especialmente en entornos de alta presión competitiva por la entrada de los LCCs. La experiencia confirma que reducciones de *yield* inferiores al 16% ya generan incrementos de LF suficientes para obtener resultados positivos.

En estas condiciones,

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = -0,1667 \cdot 15 = -2,5005 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 12,4995$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = -0,05 \cdot 9 = -0,45 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 8,55$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = 9(-0,1667 + 0,14 - 0,1667 \cdot 0,14 - [-0,05]) = 9 \cdot (0) = 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c_1 = 12,4995 \cdot 0,684 - 8,55 = 8,55 - 8,55 = 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Verificación de nueva hipérbola

Al ser condición $\Delta R = 0$, los nuevos valores de *yield* (y_1), *LF* (LF_1) y coste unitario (c_1) deberán constituir una nueva curva de *break-even* ($R = 0$):

$$y_1 \cdot LF_1 = 12,4995 \cdot 0,684 = 8,55 = c_1$$

Caso 7b) Caso en que $\Delta R > 0$

En este caso,

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) > 0 \rightarrow u + v + uv - z > 0$$

$$u > \frac{z - v}{1 + v}$$

Tomamos

$$u = -0,16 (-16\%) > \frac{z - v}{1 + v} = -0,1667 (-16,67\%)$$

En este caso, la disminución de *yield* es menor (se hace menos negativo).

Ejemplo numérico 16

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$, $LF_0 = 0,6$, $c = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$$u \text{ (dado)} = -0,16 (-16\%)$$

$$v = +0,14 (+14\%)$$

$$z = -0,05 (-5\%)$$

Con estos valores:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = -0,16 \cdot 15 = -2,4 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 12,6$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c = z \cdot c = -0,05 \cdot 9 = -0,45 \rightarrow c_1 = c + \Delta c = 8,55$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = 9(-0,16 + 0,14 - 0,16 \cdot 0,14 - [-0,05]) = 9 \cdot 0,0076 = 0,0684 > 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c_1 = (12,6 \cdot 0,684) - 8,55 = 8,6184 - 8,55 = 0,0684 > 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Verificación de posible nueva hipérbola (con el nuevo yield y_1 y LF_1):

$$y_1 \cdot LF_1 = 12,6 \cdot 0,684 = 8,6184 > 8,55 = c_1$$

Lo cual indica que para mantener al menos $\Delta R = 0$, habría margen para incrementar el coste unitario c_1 desde 8,55 hasta 8,6184 (+0,8%).

Caso 7c) Caso en que $\Delta R < 0$

En este caso,

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z) < 0 \rightarrow u + v + uv - z < 0$$

$$u < \frac{z - v}{1 + v}$$

Tomamos

$$u = -0,17 (-17\%) < \frac{z - v}{1 + v} = -0,1667 (-16,67\%)$$

Es decir, la disminución de *yield* es mayor (se hace más negativa).

Ejemplo numérico 17

Mantenemos las condiciones de partida: $y_0 = 15 \frac{cts}{pkt}$, $LF_0 = 0,6$, $c = 9 \frac{cts}{ako}$

Sean:

$$u \text{ (dado)} = -0,17 (-17\%)$$

$$v = +0,14 (+14\%)$$

$$z = -0,05 (-5\%)$$

En estas condiciones:

$$\Delta y_0 = u \cdot y_0 = -0,17 \cdot 15 = -2,55 \rightarrow y_1 = y_0 + \Delta y_0 = 12,45$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c = z \cdot c = -0,05 \cdot 9 = -0,45 \rightarrow c_1 = c + \Delta c = 8,55$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR y cálculo de R final (que llamaremos R_1) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR :

$$\frac{\Delta R}{ako} = c(u + v + uv - z)$$

$$\frac{\Delta R}{ako} = 9(-0,17 + 0,14 - 0,17 \cdot 0,14 - [-0,05]) = -9 \cdot 0,0038 = -0,0342 < 0$$

b) Vía R_1 :

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_1 - c_1 = (12,45 \cdot 0,684) - 8,55 = 8,5158 - 8,55 = -0,0342 < 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Verificación de posible nueva hipérbola (con el nuevo yield y_1 y LF_1):

$$y_1 \cdot LF_1 = 12,45 \cdot 0,684 = 8,5158 < 8,55 = c_1$$

Lo cual indica que para mantener al menos $\Delta R = 0$, habría que reducir adicionalmente el coste unitario desde 8,55 hasta 8,5158 (-0,4%).

3.6.1 Relación de incrementos de (u, v) , tomando z como parámetro, siendo $z \neq 0$ ($\Delta c \neq 0$)

En este caso hay variación del coste unitario y, de forma análoga al caso anterior en que $\Delta c = 0$, también es posible determinar la relación de incrementos (u, v) y sus límites de variación para que $\Delta R \geq 0$.

Sea z parámetro.

Así, a partir de la ecuación (5):

$$\frac{\Delta R}{ako} = yLF(u + v + uv) - cz$$

En el caso de $\Delta R = 0$,

$$yLF(u + v + uv) - cz = 0 \rightarrow yLF(u + v + uv) = cz$$

Es decir:

$$u + v + uv = \frac{c}{yLF} \cdot z$$

Puesto que c/yLF puede considerarse también un parámetro, al que denominamos q , la ecuación anterior se puede escribir de la forma:

$$u + v + uv = q \cdot z$$

Por lo tanto:

$$u = \frac{qz - v}{1 + v}$$

Si $R > 0$, $\rightarrow c < yLF \rightarrow q < 1 \rightarrow$ reducción de z

Si $R < 0$, $\rightarrow c > yLF \rightarrow q > 1 \rightarrow$ aumento de z

Si $R = 0$, $\rightarrow c = yLF \rightarrow q = 1 \rightarrow$ ecuación de *break-even*.

Tomamos el caso de $q = 1$ puesto que no reduce generalidad y facilita la comprensión. En consecuencia, se puede escribir la ecuación anterior de la forma:

$$u = \frac{z - v}{1 + v} \quad (10)$$

Representación gráfica

$v = 0 \rightarrow u = z$ (Es decir, el *yield* tiene que crecer para compensar el incremento de coste unitario $\Delta c = z$)

Asíntotas:

$$\lim_{v \rightarrow \infty} u = \lim_{v \rightarrow \infty} \frac{z - v}{1 + v} = -1$$

Todas las curvas $u = u(v)$, cualquiera que sea el parámetro z , convergen en la misma asíntota.

Derivada:

$$\frac{du}{dv} = \frac{-1(1 + v) - (z - v)1}{(1 + v)^2} = -\frac{1 + z}{(1 + v)^2}$$

Derivada en el origen ($v = 0$):

$$\frac{du}{dv} = -(1 + z)$$

Observaciones:

1. Pendiente negativa en $v = 0$, siendo más negativa cuanto más crece z como parámetro.
2. Además, todas las curvas $u = u(v)$ para distintos parámetros z convergen en $u = -1$ cuando $v \rightarrow \infty$. La ordenada en el origen es positiva para $z > 0$ (y creciente según crece z como parámetro).
3. La ordenada en el origen es negativa para $z < 0$ (y decreciente según se hace más negativa). En este caso de $z < 0$, la curva desciende, con lo cual da mayor margen

para resultados positivos ($R > 0$), coherente con lo visto inicialmente según decrece el coste unitario.

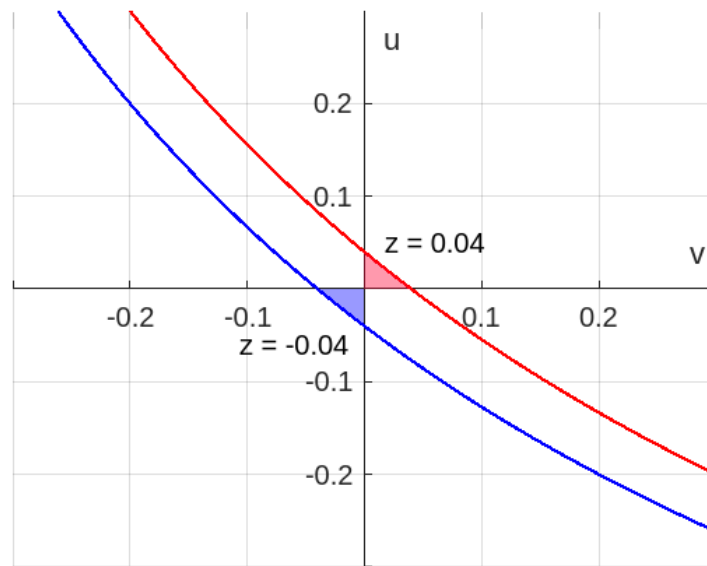


Figura 3.4 Relación gráfica entre incrementos (u, v) con $u = f(v)$

Si se hubiera considerado v como variable independiente, tendríamos:

$$v = \frac{z - u}{1 + u}$$

Las consideraciones son análogas al caso anterior.

Como se observa en la Figura 3.4, cuando $z > 0$, existe una zona tipo triangular indicada en color rojo donde tener (u, v) positivos no es suficiente para alcanzar resultados positivos (por encima de la curva) debido al incremento positivo del coste unitario. Por el contrario, cuando $z < 0$, son posibles los valores negativos de (u, v) manteniendo resultados positivos (zona triangular color azul). Esto es una indicación más de la potencia del coste unitario en el signo de los resultados.

La ecuación (10)

$$u = \frac{z - v}{1 + v} \quad (10)$$

y sus curvas asociadas para diversos parámetros de z (Figura 3.4), expresa algebraicamente que una disminución de *yield* del 100% ($u = -1$), es decir: cero ingresos, implica una ocupación (LF) infinita ($v \rightarrow \infty$) para compensarlo. Esto se cumple para todo z como parámetro, positivo o negativo. Y viceversa ($v = -1, u \rightarrow \infty$).

Obsérvese que si $z = 0$ ($\Delta c = 0$) se obtiene

$$u = -\frac{v}{1 + v}$$

Que corresponde a la ecuación 9 para el caso ya visto en que $\Delta c = 0$ (Caso 4), en cuyo caso la curva pasaría por el origen como se vio en la Figura 4.3.

Igualmente que lo referido en el Comentario 8, también en este caso se puede establecer un cierto margen de maniobra como límites de referencia entre $\Delta y, \Delta LF$ y Δc , dentro del

cual se pueden ir moviendo las variables para obtener $\Delta R \geq 0$ en cualquier caso. Lo cual es muy útil en la gestión de compañías aéreas para conocer lo que está pasando en todo momento, tenerlo bajo control, y hacer los reajustes necesarios (si fuere necesario) para que $\Delta R \geq 0$, de tal forma que si $z > 0$ se cumpla $0 \leq z < (u + v + uv)$. Lo ideal es que $z = 0$, lo cual es difícil pero no imposible.

Comentario 10

Como ejemplo ilustrativo, cuando Δy e ΔLF son de signo contrario, una reducción del coste unitario c en torno a un 5% permite reducciones de *yield* en torno al 10% (con ΔLF en torno al 5%) para mantener al menos $\Delta R = 0$, lo cual es un indicador más del gran efecto que produce reducir el coste unitario. Cuanto mayor es el ΔLF , el margen para reducir el *yield* aumenta. Este es un caso muy real y relevante, indicador del impacto de los LCCs en el corto y medio radio, con severas reducciones de *yields*, aumentos de *LF* y reducción drástica del coste unitario c .

En síntesis, también cuando hay variación de coste unitario c ($z \neq 0$, parámetro) la relación de incrementos es un indicador que ayuda a la gestión, muestra cuál debe ser la relación (u, v) de signo contrario para que en todo momento sea $\Delta R \geq 0$ con $z \neq 0$.

3.7 Discusión cuando no se parte de la curva de break-even sino de una posición donde $R > 0$, con $\Delta c \neq 0$.

Caso 8: Cuando todos los incrementos son positivos: $\Delta y, \Delta LF, \Delta c > 0$

Caso 9: Cuando los incrementos de *yield* y *LF* son de diferente signo

Hasta ahora hemos partido de la curva de *break-even* ($R = 0$). Vamos ahora a partir de posiciones de *yield* y *LF* por encima de la curva de *break-even* (ver Figura 3.5), punto azul, ejemplo genérico), donde los resultados son positivos, que llamaremos $R_1 > 0$.

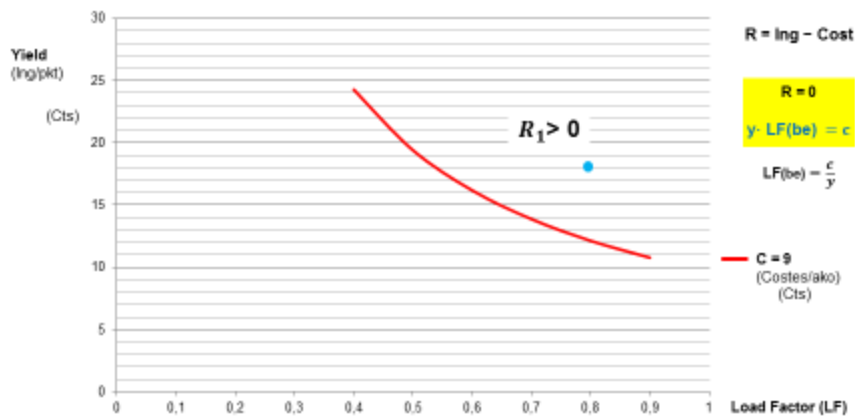


Figura 3.5. Cuando se parte de resultados positivos

Para lo cual, incrementamos *yield* desde y_0 hasta y_1 .

Sean ahora: $y_1 = 19 > y_0 \left(15 \frac{\text{cts}}{\text{pkt}}\right)$; $LF_0 = 0,6$ $c_0 = 9$ tomados de los casos anteriores.

En estas condiciones,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 19 \cdot 0,6 - 9 = 2,4 \frac{cts}{ako} > 0$$

Recordamos, como anteriormente:

u Incremento porcentual de *yield* (*y*)

v Incremento porcentual de *LF*

z Incremento porcentual del coste unitario (*c*)

En estas condiciones, la ecuación general (1) sería:

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 > 0 \quad (1 \text{ Bis})$$

Calculando incrementos finitos:

$$\begin{aligned} \frac{(R_1 + \Delta R_1)}{ako} &= (y_1 + uy_1) \cdot (LF_0 + vLF_0) - (c_0 + zc_0) = \\ &= y_1LF_0 + y_1vLF_0 + y_1uLF_0 + uv y_1LF_0 - c_0 - c_0z \end{aligned}$$

Sustituyendo la ecuación (1 Bis):

$$\frac{(R_1 + \Delta R_1)}{ako} = \frac{R_1}{ako} + y_1vLF_0 + y_1uLF_0 + uv y_1LF_0 - c_0z$$

Por consiguiente,

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1vLF_0 + y_1uLF_0 + uv y_1LF_0 - c_0z = y_1LF_0(u + v + uv) - c_0z \quad (12)$$

Caso 8. Cuando todos los incrementos son positivos: $\Delta y, \Delta LF, \Delta c > 0$

Partimos de posiciones de *yield* y *LF* por encima de la curva de *break-even*, donde los resultados son positivos, que llamaremos $R_1 > 0$.

Caso 8.a) Caso en que $\Delta R_1 = 0$

En este caso:

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1LF_0(u + v + uv) - c_0z = 0$$

Es decir,

$$y_1LF_0(u + v + uv) = c_0z \quad \rightarrow \quad z = \frac{y_1LF_0}{c_0}(u + v + uv) \quad (11)$$

Según la ecuación (1 Bis), $y_1 \cdot LF_0 - c_0 > 0 \rightarrow y_1LF_0 > c_0$

Por consiguiente:

$$\frac{y_1LF_0}{c_0} > 1$$

Lo cual significa que es un factor de efecto aumentador y, en consecuencia:

$$z > (u + v + uv)$$

Comentario 11

En los casos anteriores partiendo de $R = 0$, el efecto multiplicador de $\Delta y \cdot \Delta LF$ (uv) daba un mayor margen que la suma simple de $\Delta y + \Delta LF$ para incrementar coste unitario; es decir: $\Delta c > \Delta y + \Delta LF$. En este caso, al partir de $R_1 > 0$, el margen de crecimiento de c (Δc) debido al incremento de *yield* (Δy) y *LF* (ΔLF) todavía aumenta más debido al factor aumentador:

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} > 1$$

Es decir, en el caso de partir de $R_1 > 0$, el margen de Δc para al menos mantener R_1 ($\Delta R_1 = 0$), aumenta. Partir con ventaja positiva da mayor margen para mantener al menos resultados al incrementar *yield* y *LF*.

Ejemplo numérico 18

Mantenemos las nuevas condiciones iniciales:

$$y_1 = 19 \frac{cts}{pkt} > y_0 \quad (15) \quad LF_0 = 0,6 \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$$

En estas condiciones, como ya se ha indicado:

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 2,4 \frac{cts}{ako}$$

Y sean:

$$u = 0,12 \text{ (12\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$z =$ a determinar mediante la ecuación (11)

De la ecuación (11):

$$z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = \frac{19 \cdot 0,6}{9} (0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14) = 0,35061 \text{ (35,06\%)}$$

Es decir, incrementos de *yield* del 12% y *LF* del 14% (si se lograsen) permitirían incrementos de coste unitario c_0 de hasta el 35,06% para mantener al menos el mismo resultado R_1 ($\Delta R_1 = 0$).

Como se comprueba, de acuerdo con el Comentario 11, el efecto multiplicador de

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0}$$

amplía todavía más el margen de Δc_0 : $0,35061 \gg 0,12 + 0,14 = 0,26$

En estas condiciones:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = 0,12 \cdot 19 = 2,28 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 21,28$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_1 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_2 = LF_1 + \Delta LF_1 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,35061 \cdot 9 = 3,1555 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 12,1555$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 19 \cdot 0,6(0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14) - 3,1555 = \\ &= 3,1555 - 3,1555 = 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{ako} &= y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 21,28 \cdot 0,684 - 12,1555 = 14,5555 - 12,1555 = 2,4 \frac{cts}{ako} \\ &= \frac{R_1}{ako} \rightarrow \frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,4 \frac{cts}{ako} - 2,4 \frac{cts}{ako} = 0 \end{aligned}$$

Como cabía esperar y se quería comprobar. Por ambas vías el resultado coincide.

Caso 8.b) Caso en que $\Delta R_1 > 0$

De la ecuación (12):

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z > 0$$

Es decir,

$$y_1 LF_0 (u + v + uv) > c_0 z \rightarrow z < \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv)$$

Tomamos $z = 0,34$ (34%), es decir, un incremento inferior de c_0 :

$$z = 0,34 \text{ (34\%)} < \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = 0,35061 \text{ (35,06\%)}$$

Ejemplo numérico 19

Mantenemos las nuevas condiciones iniciales:

$$y_1 = 19 \frac{cts}{pkt} > y_0 \quad LF_0 = 0,6 \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$$

En estas condiciones, como ya se ha indicado:

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 2,4 \frac{cts}{ako}$$

Y sean:

$$u = 0,12 \text{ (12\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z \text{ (dado)} = 0,34 \text{ (34\%)}$$

Con estos valores:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = 0,12 \cdot 19 = 2,28 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 21,28$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_1 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_2 = LF_1 + \Delta LF_1 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = 0,34 \cdot c_0 = 0,34 \cdot 9 = 3,06 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 12,06$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 19 \cdot 0,6 (0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14) - 9 \cdot 0,34 = \\ &= 3,1555 - 3,06 = 0,0955 \frac{cts}{ako} > 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 21,28 \cdot 0,684 - 12,06 = 14,5555 - 12,06 = 2,4955 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,4955 - 2,4 = 0,0955 \frac{cts}{ako} > 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 8.c) Caso en que $\Delta R_1 < 0$

En este caso, los incrementos de *yield* y *LF* no compensan el incremento de coste unitario. Es decir,

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z < 0$$

En consecuencia,

$$y_1 LF_0 (u + v + uv) < c_0 z \rightarrow z > \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv)$$

Tomamos ahora $z = 0,36$ (36%), es decir, un incremento superior de c_0 :

$$z = 0,36 \text{ (36\%)} > \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = 0,35061 \text{ (35,06\%)}$$

Es decir, el incremento de coste unitario (z) es mayor ahora que el máximo permitido por la condición $\Delta R_1 = 0$.

Ejemplo numérico 20

Mantenemos las nuevas condiciones iniciales:

$$y_1 = 19 \frac{cts}{pkt} > y_0 \quad LF_0 = 0,6 \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$$

En estas condiciones, como ya se ha indicado;

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 2,4 \frac{cts}{ako}$$

Y sean:

$$u = 0,12 \text{ (12\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z \text{ (dado)} = 0,36 \text{ (36\%)}$$

Con estos valores:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = 0,12 \cdot 19 = 2,28 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 21,28$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_1 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_2 = LF_1 + \Delta LF_1 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = 0,36 \cdot c_0 = 0,36 \cdot 9 = 3,24 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 12,24$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 19 \cdot 0,6 (0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14) - 9 \cdot 0,36 = \\ &= 3,1555 - 3,24 = -0,0845 \frac{cts}{ako} < 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 21,28 \cdot 0,684 - 12,24 = 14,5555 - 12,24 = 2,3155 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,3155 - 2,4 = -0,0845 \frac{cts}{ako} < 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar. Por ambas vías el resultado coincide.

Caso 9. Cuando los incrementos de *yield* y *LF* son de diferente signo

Partimos de posiciones de *yield* y *LF* por encima de la curva de *break-even*, donde los resultados son positivos, que llamaremos $R_1 > 0$ (ver Caso 8 anterior, Figura 6-6).

Para lo cual, incrementamos *yield* desde y_0 hasta y_1 .

Mantenemos las nuevas condiciones iniciales:

$$y_1 = 19 \frac{cts}{pkt} > y_0 \quad (15) \quad LF_0 = 0,6 \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$$

En estas condiciones, (como en el caso 8):

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 19 \cdot 0,6 - 9 = 2,4 \frac{cts}{ako}$$

La ecuación general (1) sería:

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 > 0 \quad (1 \text{ Bis})$$

Como $y_1 \cdot LF_0 - c_0 > 0 \rightarrow y_1 LF_0 > c_0$

Resulta:

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} > 1$$

Lo cual significa que es un factor de efecto aumentador, como en el Caso 8 anterior.

Partimos de la ecuación (12):

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z \quad (12)$$

Como Δy_1 e ΔLF_0 son ahora de signo contrario, u y v serán de signo contrario.

Supongamos que $\Delta R_1 = 0$. En estas condiciones,

$$z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) \quad (11)$$

Puede ocurrir:

$$1) (u + v + uv) > 0 \rightarrow z > 0.$$

Es decir, se produce un efecto aumentador en positivo del factor

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} > 1$$

En este caso se da margen a z para incrementar el coste unitario y mantener al menos R_1 ($\Delta R_1 = 0$).

$$2) (u + v + uv) < 0 \rightarrow z < 0.$$

Es decir, se produce un efecto aumentador en negativo (reductor) del factor

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} > 1$$

Existirá una zona de tránsito donde $z = 0$, en cuyo caso, de la ecuación (11) sería:

$$(u + v + uv) = 0 \rightarrow v = u - (1 + v) \rightarrow u = -\frac{v}{1 + v}$$

Por ejemplo:

$u = a$ determinar

$v = 0,14$ (14%)

$z = 0$

En estas condiciones,

$$u = -\frac{v}{1 + v} = -\frac{0,14}{1 + 0,14} = -0,122807 \text{ (-12,2807\%)}$$

Esta es la máxima reducción posible de *yield* para mantener $\Delta R_1 = 0$ sin reducir coste unitario ($\Delta c = 0$).

Como era de esperar, como en ejemplos anteriores, también u es inferior a v en valor absoluto: $|u| < |v|$.

En el caso de mayor disminución de u (es decir, más negativo), el coste unitario deberá disminuir para poder mantener al menos $\Delta R_1 = 0$. Es decir, en este caso sería $\Delta c < 0$ ($z \neq 0, z < 0$).

Ejemplo numérico 21

Supongamos que se mantiene $\Delta R_1 = 0$. Veamos la reducción de z ($\Delta c < 0$).

Efectivamente, supongamos $u = -0,13$ (-13%) $< -0,122807$

En estas condiciones, $(u + v + uv) = -0,13 + 0,14 - 0,13 \cdot 0,14 = -0,0082 < 0$

$$z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = \frac{19 \cdot 0,6}{9} (-0,0082) = -0,010387$$

Es decir,

$u = -0,13$ (-13%)

$v = 0,14$ (14%)

$z = -0,010387$ (-1,0387%)

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,13 \cdot 19 = -2,47 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 16,53$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = -0,010387 \cdot 9 = -0,09348 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 8,90652$$

Comprobación

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = \\ &= 19 \cdot 0,6 (-0,13 + 0,14 - 0,13 \cdot 0,14) - (-0,09348) = \\ &= -0,09348 + 0,09348 = 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{ako} &= y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 16,53 \cdot 0,684 - 8,90652 = 11,30652 - 8,90652 = \\ &= 2,4 \frac{cts}{ako} \rightarrow \frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,4 - 2,4 = 0 \end{aligned}$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Comentario 12

Según variamos u , todos los z resultantes son coherentes para mantener constante R_1 ($\Delta R_1 = 0$). A medida que u se va haciendo más negativo, es necesaria una mayor reducción de coste unitario para compensar la mayor reducción de *yield*.

Vamos ahora a considerar las dos opciones anteriormente indicadas:

$$1) (u + v + uv) > 0$$

$$2) (u + v + uv) < 0$$

Caso 9-1) $(u + v + uv) > 0$

Mantenemos las nuevas condiciones iniciales.

$$\text{Sean: } y_1 = 19 \frac{cts}{pkt} \quad LF_0 = 0,6 \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako} \text{ tomados de los casos anteriores.}$$

En estas condiciones,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 2,4 \frac{cts}{ako}$$

Sean ahora:

$$u = -0,05 \text{ (-5\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

En consecuencia,

$$(u + v + uv) = -0,05 + 0,14 - 0,05 \cdot 0,14 = 0,083 > 0.$$

z a determinar mediante las ecuaciones (12) ó (11).

Caso 9 – 1a) Caso en que $\Delta R_1 = 0$

Ejemplo numérico 22

Calculamos z para $\Delta R_1 = 0$

De la ecuación (12):

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 0$$

$$z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = \frac{19 \cdot 0,6}{9} (0,083) = 0,105133 \text{ (10,5133\%)}$$

Este sería el máximo incremento de coste unitario Δc (z) para mantener $\Delta R_1 = 0$.

Es decir,

$$u = -0,05 \text{ (-5\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z = 0,105133 \text{ (10,5133\%)}$$

En estas condiciones:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,05 \cdot 19 = -0,95 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 18,05$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,105133 \cdot 9 = 0,9462 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 9,9462$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 19 \cdot 0,6 (-0,05 + 0,14 - 0,05 \cdot 0,14) - 0,946 = \\ &= 0,9462 - 0,9462 = 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 18,05 \cdot 0,684 - 9,9462 = 12,3462 - 9,9462 = 2,4 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,4 - 2,4 = 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 9 – 1b) Caso en que $\Delta R_1 > 0$

Ejemplo numérico 23

Partiendo de la ecuación (12):

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z > 0$$
$$z < \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = 0,105133 \text{ (10,5133\%)}$$

Tomamos $z = 0,1$ (10%) < 0,105133 (10,5133%)

Es decir,

$$u = -0,05 \text{ (-5\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z \text{ (dado)} = 0,1 \text{ (10\%)}$$

Con estos valores:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,05 \cdot 19 = -0,95 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 18,05$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,1 \cdot 9 = 0,9 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 9,9$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 19 \cdot 0,6 (-0,05 + 0,14 - 0,05 \cdot 0,14) - 0,9 =$$
$$= 0,9462 - 0,9 = 0,0462 \frac{cts}{ako} > 0$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 18,05 \cdot 0,684 - 9,9 = 12,3462 - 9,9 = 2,4462 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,4462 - 2,4 = 0,0462 \frac{cts}{ako} > 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 9 – 1c) Caso en que $\Delta R_1 < 0$

Ejemplo numérico 24

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z < 0$$

$$z > \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = 0,105133 \text{ (10,5133\%)}$$

Tomamos $z = 0,12$ (12%) $> 0,105133$ (10,5133%)

Es decir,

$$u = -0,05 \text{ (-5\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z \text{ (dado)} = 0,12 \text{ (12\%)}$$

En estas condiciones:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,05 \cdot 19 = -0,95 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 18,05$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,12 \cdot 9 = 1,08 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 10,08$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 19 \cdot 0,6 (-0,05 + 0,14 - 0,05 \cdot 0,14) - 1,08 = \\ &= 0,9462 - 1,08 = -0,1338 \frac{cts}{ako} < 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 18,05 \cdot 0,684 - 10,08 = 12,3462 - 10,08 = 2,2662 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,2662 - 2,4 = -0,1338 \frac{cts}{ako} < 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

En conclusión, en estas condiciones en que $(u + v + uv) = 0,083 > 0$:

$$\Delta R_1 = 0 \rightarrow z = 0,105133 \text{ (10,5133\%)}$$

$$\Delta R_1 > 0 \rightarrow z < 0,105133 \text{ (10,5133\%)}$$

$$\Delta R_1 < 0 \rightarrow z > 0,105133 \text{ (10,5133\%)}$$

Caso 9-2) $(u + v + uv) < 0$

Comentario 13

Este es un caso muy real y relevante, indicador del impacto de las LCC en el corto y medio radio, con severas reducciones de *yields*, aumentos de *LF* y reducción drástica del coste unitario *c*.

En este caso se produce un efecto multiplicador en negativo del factor

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} > 1$$

Mantenemos las nuevas condiciones iniciales:

$$y_1 = 19 \frac{cts}{pkt} \quad LF_0 = 0,6 \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$$

En estas condiciones,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 19 \cdot 0,6 - 9 = 2,4 \frac{cts}{ako}$$

Sean ahora:

$$u = -0,16 \text{ (-16\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

z a determinar según las ecuaciones (12) ó (11)

En consecuencia,

$$(u + v + uv) = -0,16 + 0,14 - 0,16 \cdot 0,14 = -0,0424 < 0.$$

Caso 9 – 2a) Caso en que $\Delta R_1 = 0$

Ejemplo numérico 25

Calculamos *z* para que $\Delta R_1 = 0$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 0 \\ z &= \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = \frac{19 \cdot 0,6}{9} (-0,16 + 0,14 - 0,16 \cdot 0,14) = \\ &= 1,26667 \cdot (-0,0424) = -0,053707 \text{ (-5,3707\%)} \end{aligned}$$

Para $(u + v + uv) = -0,0424 < 0$, el anterior valor calculado de *z* es el valor mínimo de reducción de coste unitario para mantenerse al menos en R_1 ($\Delta R_1 = 0$). Para incrementar R_1 ($\Delta R_1 > 0$), la reducción de coste unitario deberá ser mayor, con un valor de *z* todavía más negativo, como se verá a continuación.

Es decir, ahora tenemos:

$$u = -0,16 \text{ (-16\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z = -0,053707 \text{ (-5,3707\%)}$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,16 \cdot 19 = -3,04 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 15,96$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = -0,053707 \cdot 9 = -0,483363 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 8,516637$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 = 19 \cdot 0,6 (-0,0424) - (-0,483363) = \\ &= -0,483363 + 0,483363 = 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 15,96 \cdot 0,684 - 8,516637 = 10,91664 - 8,516637 = 2,4 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,4 - 2,4 = 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 9 – 2b) Caso en que $\Delta R_1 > 0$

Ejemplo numérico 26

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z > 0 \\ z &< \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = -0,053707 (-5,3707\%) \end{aligned}$$

El valor de z debe ser más negativo, la reducción de coste unitario debe ser mayor para poder incrementar resultados ($\Delta R_1 > 0$).

Tomamos $z = -0,06$ (6%) $< -0,053707$ (-5,3707%)

Es decir,

$$u = -0,16 (-16\%)$$

$$v = 0,14 (14\%)$$

$$z \text{ (dado)} = -0,06 (-6\%)$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,16 \cdot 19 = -3,04 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 15,96$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = -0,06 \cdot 9 = -0,54 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 8,46$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 19 \cdot 0,6 (-0,16 + 0,14 - 0,16 \cdot 0,14) + 0,54 = \\ &= -0,48336 + 0,54 = 0,05664 \frac{cts}{ako} > 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 15,96 \cdot 0,684 - 8,46 = 10,91664 - 8,46 = 2,45664 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,45664 - 2,4 = 0,05664 \frac{cts}{ako} > 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 9 – 2c) Caso en que $\Delta R_1 < 0$

Ejemplo numérico 27

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z < 0$$

$$z > \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = -0,053707 (-5,3707\%)$$

En este caso, la reducción del coste unitario es insuficiente, no llega al mínimo valor de reducción de z necesario para mantener al menos el resultado R_1 ($\Delta R_1 = 0$).

$$\text{Tomamos } z = -0,05 (-5\%) > -0,053707 (-5,3707\%)$$

Es decir,

$$u = -0,16 (-16\%)$$

$$v = 0,14 (14\%)$$

$$z \text{ (dado)} = -0,05 (-5\%)$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,16 \cdot 19 = -3,04 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 15,96$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = -0,05 \cdot 9 = -0,45 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 8,55$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación [general] (2):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 19 \cdot 0,6 (-0,16 + 0,14 - 0,16 \cdot 0,14) + 0,45 = \\ &= -0,48336 + 0,45 = -0,03336 \frac{cts}{ako} < 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{ako} &= y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 15,96 \cdot 0,684 - 8,55 = 10,91664 - 8,55 = 2,36664 \frac{cts}{ako} \\ \frac{\Delta R_1}{ako} &= \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = 2,36664 - 2,4 = -0,03336 \frac{cts}{ako} < 0 \end{aligned}$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

3.8 Discusión cuando no se parte de la curva de *break-even* sino de una posición donde $R < 0$, con $\Delta c \neq 0$

Caso 10: Todos los incrementos son positivos: $\Delta y, \Delta LF, \Delta c > 0$

Caso 11: Cuando Δy e ΔLF son de distinto signo

Vamos ahora a partir de posiciones de *yield* y *LF* por debajo de la curva de *break-even* (véase Figura 6-7, ejemplo genérico punto rojo), donde los resultados son negativos, que llamaremos $R_1 < 0$. Esto es, una compañía aérea en pérdidas.

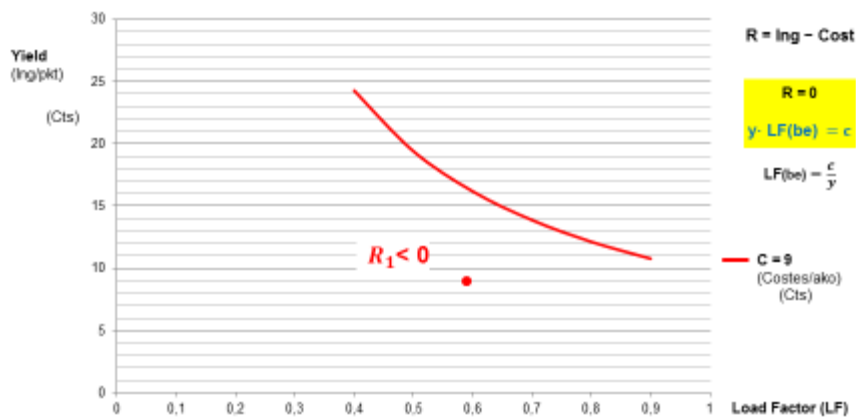


Figura 3.6. Cuando se parte de resultados negativos

Para lo cual, reducimos *yield* desde y_0 hasta y_1 .

Sean ahora:

$$y_1 = 8 \frac{cts}{pkt} < y_0 \left(15 \frac{cts}{pkt} \right)$$

$LF_0 = 0,6$ y $c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$ tomados de los casos anteriores.

En estas condiciones,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 8 \cdot 0,6 - 9 = -4,2 \frac{cts}{ako}$$

Recordamos, como anteriormente:

u Incremento porcentual de *yield* y

v Incremento porcentual de *LF*

z Incremento porcentual del coste unitario c

En estas condiciones, la ecuación general (1) sería:

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 < 0$$

Como $y_1 \cdot LF_0 - c_0 < 0 \rightarrow y_1 LF_0 < c_0$

Se cumple:

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} < 1$$

Es decir, en este caso es un factor reductor.

Lo cual significa que en el caso de $\Delta R_1 = 0$, de la ecuación (11):

$$z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv)$$

Es decir:

$$z < (u + v + uv)$$

Comentario 14

A diferencia del caso anterior en que se partía de $R_1 > 0$, en este caso en que se parte de $R_1 < 0$,

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} < 1$$

es un factor reductor y el margen de Δc_0 para mantener al menos R_1 ($\Delta R_1 = 0$) disminuye.

Caso 10. Todos los incrementos son positivos: $\Delta y, \Delta LF, \Delta c > 0$

Partimos de la ecuación (12):

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z \quad (12)$$

Caso 10a) Caso en que $\Delta R_1 = 0$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 0$$

Es decir,

$$y_1 LF_0 (u + v + uv) = c_0 z \quad \rightarrow \quad z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) \quad (11)$$

Ejemplo numérico 28

Mantenemos las condiciones establecidas:

$$y_1 = 8 \frac{cts}{pkt} < y_0 (15 \frac{cts}{pkt}), \quad LF_0 = 0,6, \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$$

En estas condiciones, como ya se ha indicado;

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = -4,2 \frac{cts}{ako}$$

Y sean:

$$u = 0,12 \text{ (12\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$z =$ a determinar mediante la ecuación (11)

De la ecuación (11):

$$z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = \frac{8 \cdot 0,6}{9} (0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14) = 0,14763 \text{ (14,76\%)}$$

Comentario 15

Este valor de z es el máximo incremento de coste unitario c_0 para mantener al menos R_1 ($\Delta R_1 = 0$) con los Δy_1 (u) y ΔLF_0 (v) indicados.

Como se observa, el margen de z (Δc_0) ha disminuido respecto al Caso 8 de partir de $R_1 > 0$. En este Caso 10 solo es posible Δc_0 hasta $z = 14,76\%$ con los Δy_1 y ΔLF_0 para mantener al menos R_1 ($\Delta R_1 = 0$), incluso por debajo de la suma de $\Delta y_1 + \Delta LF_0$ ($u + v = 26\% > 14,76\%$), a diferencia del Caso 8 anterior. En este caso de

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} < 1$$

su efecto es reductor: reduce el margen de Δc_0 .

En estas condiciones, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = 0,12 \cdot 8 = 0,96 \quad \rightarrow \quad y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 8,96$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \quad \rightarrow \quad LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,14763 \cdot 9 = 1,32864 \quad \rightarrow \quad c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 10,32864$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 8 \cdot 0,6 (0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14) - 1,32864 = \\ &= 1,32864 - 1,32864 = 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{ako} &= y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 8,96 \cdot 0,684 - 10,32864 = 6,12864 - 10,32864 = \\ &= -4,2 \frac{cts}{ako} = \frac{R_1}{ako} \rightarrow \frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = -4,2 - (-4,2) = 0 \end{aligned}$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Comentario 16

Remontada: para conseguir remontar desde $R_1 = -4,2 \frac{cts}{ako} < 0$ hasta $R_2 = 0$ con los nuevos valores obtenidos, $R_2 = 0$ correspondería una curva de *break-even*. Esto es:

$$y_2 \cdot LF_1 = 6,12864$$

Es decir, el coste unitario c_1 debería reducirse desde 10,32864 hasta 6,12864, esto es: una reducción de coste unitario de $-40,7\%$.

Caso 10.b) Caso en que $\Delta R_1 > 0$

De la ecuación (12):

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z > 0$$

Es decir,

$$y_1 LF_0 (u + v + uv) > c_0 z \rightarrow z < \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv)$$

Tomamos ahora:

$$z = 0,14 (14\%) < \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = 0,14763 (14,76\%)$$

Ejemplo numérico 29

Mantenemos las condiciones establecidas:

$$y_1 = 8 \frac{cts}{pkt} < y_0 (15 \frac{cts}{pkt}), \quad LF_0 = 0,6, \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$$

En estas condiciones, como ya se ha indicado,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = -4,2 \frac{cts}{ako}$$

Y sean:

$$u = 0,12 (12\%)$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z \text{ (dado)} = 0,14 \text{ (14\%)}$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = 0,12 \cdot 8 = 0,96 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 8,96$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,14 \cdot 9 = 1,26 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 10,26$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación [general] (2):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 8 \cdot 0,6 (0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14) - 1,26 = \\ &= 1,32864 - 1,26 = 0,06864 > 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\begin{aligned} b) \frac{R_2}{ako} &= y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 8,96 \cdot 0,684 - 10,26 = 6,12864 - 10,26 = \\ &= -4,1314 \frac{cts}{ako} \rightarrow \frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = -4,1314 - (-4,2) = 0,06864 > 0 \end{aligned}$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 10.c) Caso en que $\Delta R_1 < 0$

De la ecuación (12):

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z < 0$$

Es decir,

$$y_1 LF_0 (u + v + uv) < c_0 z \rightarrow z > \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv)$$

Tomamos ahora:

$$z = 0,16 \text{ (16\%)} > \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = 0,14763 \text{ (14,76\%)}$$

En este caso, el incremento de coste unitario z supera el máximo permitido para mantener al menos R_1 ($\Delta R_1 = 0$).

Ejemplo numérico 30

Mantenemos las condiciones establecidas:

$$y_1 = 8 \frac{cts}{pkt} < y_0 (15 \frac{cts}{pkt}), \quad LF_0 = 0,6, \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$$

En estas condiciones, como ya se ha indicado,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = -4,2 \frac{cts}{ako}$$

Y sean:

$$u = 0,12 \text{ (12\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z \text{ (dado)} = 0,16 \text{ (16\%)}$$

Con estos valores:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = 0,12 \cdot 8 = 0,96 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 8,96$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,16 \cdot 9 = 1,44 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 10,44$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 8 \cdot 0,6 (0,12 + 0,14 + 0,12 \cdot 0,14) - 1,44 = \\ &= 1,32864 - 1,44 = -0,11136 \frac{cts}{ako} < 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\begin{aligned} \text{b) } \frac{R_2}{ako} &= y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 8,96 \cdot 0,684 - 10,44 = 6,12864 - 10,44 = \\ &= -4,31136 \frac{cts}{ako} \rightarrow \frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = -4,31136 - (-4,2) = -0,11136 < 0 \end{aligned}$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 11. Cuando Δy e ΔLF son de distinto signo

Partimos de posiciones de *yield* y *LF* por debajo de la curva de *break-even*, donde los resultados son negativos, que llamaremos $R_1 < 0$. Esto es, una compañía aérea en pérdidas.

Para lo cual, reducimos *yield* desde y_0 hasta y_1 .

$$\text{Sean ahora: } y_1 = 8 \frac{cts}{pkt} < y_0 \left(15 \frac{cts}{pkt} \right)$$

$$LF_0 = 0,6 \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako} \text{ tomados de los casos anteriores.}$$

En estas condiciones,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 8 \cdot 0,6 - 9 = -4,2 \frac{cts}{ako}$$

La ecuación general (1) sería:

$$\frac{1}{ako} R_1 = y_1 \cdot LF_0 - c_0 < 0$$

Como $y_1 \cdot LF_0 - c_0 < 0 \rightarrow y_1 LF_0 < c_0$

Es decir,

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} < 1$$

En este caso es un factor reductor.

Lo cual significa que para $\Delta R_1 = 0$:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 0 \\ y_1 LF_0 (u + v + uv) &= c_0 z \rightarrow z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) \end{aligned} \quad (11)$$

Es decir, debido al factor reductor

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} < 1, \quad \rightarrow \quad z < (u + v + uv)$$

Comentario 17

A diferencia de cuando se partía de $R_1 > 0$, en este caso en que se parte de $R_1 < 0$,

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} < 1$$

es un factor reductor y el margen de Δc_0 para mantener al menos $R_1 (\Delta R_1 = 0)$ disminuye.

Puede ocurrir:

1) $(u + v + uv) > 0 \rightarrow z > 0$.

En este caso se produce un efecto reductor en positivo del factor

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} < 1$$

2) $(u + v + uv) < 0 \rightarrow z < 0$.

En este caso se produce un efecto reductor en negativo del factor

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} < 1$$

Caso 11 – 1) Cuando $(u + v + uv) > 0$

Sean: $y_1 = 8 \frac{cts}{pkt}$ $LF_0 = 0,6$ $c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$ tomados de los casos anteriores.

En estas condiciones,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 8 \cdot 0,6 - 9 = -4,2 \frac{cts}{ako}$$

Sean ahora:

$$u = -0,05 \text{ (-5\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

En consecuencia,

$$(u + v + uv) = -0,05 + 0,14 - 0,05 \cdot 0,14 = 0,083 > 0.$$

z: A determinar mediante la ecuación (11)

Caso 11 – 1a) Caso en que $\Delta R_1 = 0$

Calculamos z para $\Delta R_1 = 0$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 0$$
$$z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = \frac{8 \cdot 0,6}{9} (0,083) = 0,044267 \text{ (4,4267\%)}$$

En este caso, el coste unitario c_0 puede aumentar sólo hasta un 4,4267% adicional para mantener al menos resultado R_1 ($\Delta R_1 = 0$). Si no llega a este límite, $\Delta R_1 > 0$.

Ejemplo numérico 31

Mantenemos las condiciones establecidas:

$$y_1 = 8 \frac{cts}{pkt} < y_0(15) \text{ , } LF_0 = 0,6 \text{ , } c_0 = 9 \frac{cts}{ako}$$

En estas condiciones, como ya se ha indicado,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = -4,2 \frac{cts}{ako}$$

Y sean ahora:

$$u = -0,05 \text{ (-5\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z = 0,044267 \text{ (4,4267\%)}$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,05 \cdot 8 = -0,4 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 7,6$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,044267 \cdot 9 = 0,3984 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 9,3984$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 8 \cdot 0,6 (-0,05 + 0,14 - 0,05 \cdot 0,14) - 0,3984 = \\ &= 4,8 \cdot 0,083 = 0,3984 - 0,3984 = 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{ako} &= y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 7,6 \cdot 0,684 - 9,3984 = 5,1984 - 9,3984 = -4,2 \frac{cts}{ako} \\ \frac{\Delta R_1}{ako} &= \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = -4,2 - (-4,2) = 0 \end{aligned}$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Comentario 18

Para conseguir remontar desde $R_1 = -4,2 \frac{cts}{ako} < 0$ hasta $R_2 = 0$ con los nuevos valores obtenidos, $R_2 = 0$ correspondería una curva de *break-even*. Esto es:

$$y_2 \cdot LF_1 = 5,1984$$

El coste unitario c_1 debería reducirse desde 9,3984 hasta 5,1984, es decir una reducción de coste unitario de $-44,6\%$.

Caso 11 – 1b) Caso en que $\Delta R_1 > 0$

Ejemplo numérico 32

Partiendo de la ecuación (12):

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z > 0 \\ z &< \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = 0,044267 (4,4267\%) \end{aligned}$$

El valor de z debe ser inferior: el incremento de coste unitario debe ser inferior al máximo permitido anteriormente ($\Delta R_1 = 0$) para poder incrementar resultados ($\Delta R_1 > 0$)

Tomamos $z = 0,04 (4\%) < 0,044267 (4,4267\%)$

Es decir, sean ahora:

$$u = -0,05 (-5\%)$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z \text{ (dado)} = 0,04 \text{ (4\%)}$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,05 \cdot 8 = -0,4 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 7,6$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,04 \cdot 9 = 0,36 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 9,36$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 8 \cdot 0,6 (-0,05 + 0,14 - 0,05 \cdot 0,14) - 0,36 = \\ &= 4,8 \cdot 0,083 - 0,36 = 0,3984 - 0,36 = 0,0384 \frac{cts}{ako} > 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 7,6 \cdot 0,684 - 9,36 = 5,1984 - 9,36 = -4,1616 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = -4,1616 - (-4,2) = 0,0384 \frac{cts}{ako} > 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 11- 1c) Caso en que $\Delta R_1 < 0$

Ejemplo numérico 33

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z < 0 \\ z &> \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = 0,044267 \text{ (4,4267\%)} \end{aligned}$$

El valor de z debe ser superior, es decir, el incremento de coste unitario debe ser superior al máximo permitido anteriormente cuando $\Delta R_1 = 0$ para que el resultado sea negativo.

Tomamos $z = 0,05 \text{ (5\%)} > 0,044267 \text{ (4,4267\%)}$

Es decir, sean ahora:

$$u = -0,05 \text{ (-5\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z \text{ (dado)} = 0,05 \text{ (5\%)}$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,05 \cdot 8 = -0,4 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 7,6$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = 0,05 \cdot 9 = 0,45 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 9,45$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 8 \cdot 0,6 (-0,05 + 0,14 - 0,05 \cdot 0,14) - 0,45 = \\ &= 4,8 \cdot 0,083 - 0,45 = 0,3984 - 0,45 = 0,0516 \frac{cts}{ako} < 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$b) \frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 7,6 \cdot 0,684 - 9,36 = 5,1984 - 9,45 = -4,2516 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = -4,2516 - (-4,2) = -0,0516 \frac{cts}{ako} < 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 11 – 2) Cuando $(u + v + uv) < 0$

Este es un caso muy real y relevante del impacto de los LCCs en el corto y medio radio, con severas reducciones de *yields*, aumentos de *LF* y reducción drástica de coste unitario.

En este caso se produce un efecto reductor en negativo del factor

$$\frac{y_1 LF_0}{c_0} < 1$$

$$\text{Sean: } y_1 = 8 \frac{cts}{pkt}$$

$$LF_0 = 0,6 \quad c_0 = 9 \frac{cts}{ako} \text{ (tomados de los casos anteriores)}$$

En estas condiciones,

$$\frac{R_1}{ako} = y_1 \cdot LF_0 - c_0 = 8 \cdot 0,6 - 9 = -4,2 \frac{cts}{ako}$$

Sean ahora:

$$u = -0,16 \text{ (-16\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

En consecuencia,

$$(u + v + uv) = -0,16 + 0,14 - 0,16 \cdot 0,14 = -0,0424 < 0.$$

z a determinar mediante la ecuación (12) ó (11)

Caso 11 – 2a) Caso en que $\Delta R_1 = 0$

Calculamos z para $\Delta R_1 = 0$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 0$$

$$z = \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = \frac{8 \cdot 0,6}{9} (-0,0424) = -0,022613 \text{ (-2,2613\%)}$$

En este caso, $z = -2,2613\%$ es la reducción mínima de coste unitario c_0 para mantener al menos el resultado R_1 ($\Delta R_1 = 0$). Si hay mayor reducción de coste unitario (z se hace más negativo), el incremento de resultado será positivo ($\Delta R_1 > 0$), como veremos. Si la reducción del coste unitario c_0 fuera menor (z menos negativo), el incremento de R_1 sería negativo ($\Delta R_1 < 0$), como se verá.

Ejemplo numérico 34

Es decir, sean ahora:

$$u = -0,16 \text{ (-16\%)}$$

$$v = 0,14 \text{ (14\%)}$$

$$z = -0,022613 \text{ (-2,2613\%)}$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,16 \cdot 8 = -1,28 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 6,72$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = -0,022613 \cdot 9 = -0,20352 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 8,79648$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_1}{ako} &= y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z = 8 \cdot 0,6 (-0,16 + 0,14 - 0,16 \cdot 0,14) - \\ &\quad - (-0,20352) = -0,20352 + 0,20352 = 0 \end{aligned}$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 6,72 \cdot 0,684 - 8,79648 = 4,59648 - 8,796 = -4,2 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = -4,2 - (-4,2) = 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Comentario 19

Para conseguir remontar desde $R_1 = -4,2 \frac{cts}{ako} < 0$ hasta $R_2 = 0$ con los nuevos valores obtenidos, $R_2 = 0$ correspondería una curva de *break-even*. Esto es:

$$y_2 \cdot LF_1 = 4,59648$$

En este caso, el coste unitario c_1 debería reducirse desde 8,79648 hasta 4,59648, es decir una reducción de coste unitario de $-47,7\%$.

Caso 11 – 2b) Caso en que $\Delta R_1 > 0$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0 (u + v + uv) - c_0 z > 0$$

$$z < \frac{y_1 LF_0}{c_0} (u + v + uv) = -0,022613 \text{ } (-2,2613\%)$$

En este caso el valor de z debe ser inferior, es decir, más negativo que el permitido anteriormente para $\Delta R_1 = 0$, con objeto de obtener mayor reducción de coste unitario que permita incrementar resultados ($\Delta R_1 > 0$).

Tomamos $z = -0,03 \text{ } (-3\%) < -0,022613 \text{ } (-2,2613\%)$

Ejemplo numérico 35

Sean ahora:

$$u = -0,16 \text{ } (-16\%)$$

$$v = 0,14 \text{ } (14\%)$$

$$z \text{ (dado)} = -0,03 \text{ } (-3\%)$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,16 \cdot 8 = -1,28 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 6,72$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = -0,03 \cdot 9 = -0,27 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 8,73$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2) según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0(u + v + uv) - c_0 z = 8 \cdot 0,6(-0,16 + 0,14 - 0,16 \cdot 0,14) - (-0,27) = -0,20352 + 0,27 = 0,06648 \frac{cts}{ako} > 0$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot LF_1 - c_1 = 6,72 \cdot 0,684 - 8,73 = 4,59648 - 8,73 = -4,13352 \frac{cts}{ako}$$
$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = -4,13352 - (-4,2) = 0,06648 \frac{cts}{ako} > 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

Caso 11 – 2c) Caso en que $\Delta R_1 < 0$

Ejemplo numérico 36

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 LF_0(u + v + uv) - c_0 z < 0$$
$$z > \frac{y_1 LF_0}{c_0}(u + v + uv) = -0,022613 (-2,2613\%)$$

En este caso el valor de z debe ser superior, es decir, menos negativo, para que la reducción de coste unitario sea menor y no alcance el necesario para que $\Delta R_1 = 0$.

Tomamos $z = -0,02 (-2\%) > -0,022613 (-2,2613\%)$

Es decir, tenemos ahora:

$$u = -0,16 (-16\%)$$

$$v = 0,14 (14\%)$$

$$z \text{ (dado)} = -0,02 (-2\%)$$

Con estos valores, tendremos:

$$\Delta y_1 = u \cdot y_1 = -0,16 \cdot 8 = -1,28 \rightarrow y_2 = y_1 + \Delta y_1 = 6,72$$

$$\Delta LF_0 = v \cdot LF_0 = 0,14 \cdot 0,6 = 0,084 \rightarrow LF_1 = LF_0 + \Delta LF_0 = 0,684$$

$$\Delta c_0 = z \cdot c_0 = -0,02 \cdot 9 = -0,18 \rightarrow c_1 = c_0 + \Delta c_0 = 8,82$$

Comprobación:

Verificamos por la doble vía de ΔR_1 y cálculo de R_1 final (que llamaremos R_2), según la ecuación general (1):

$$\frac{R}{ako} = y \cdot LF - c$$

a) Vía ΔR_1 :

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = y_1 L F_0 (u + v + uv) - c_0 z = 8 \cdot 0,6 (-0,16 + 0,14 - 0,16 \cdot 0,14) - (-0,18) = -0,20352 + 0,18 = -0,02352 \frac{cts}{ako} < 0$$

b) Vía R_2 :

$$\frac{R_2}{ako} = y_2 \cdot L F_1 - c_1 = 6,72 \cdot 0,684 - 8,82 = 4,59648 - 8,82 = -4,22352 \frac{cts}{ako}$$

$$\frac{\Delta R_1}{ako} = \frac{R_2}{ako} - \frac{R_1}{ako} = -4,22352 - (-4,2) = -0,02352 \frac{cts}{ako} < 0$$

Como cabía esperar y se quería comprobar, por ambas vías el resultado coincide.

3.9 Ecuaciones de negocio referidas a Horas Bloque (BH)

Consideramos ahora otro enfoque de modelo matemático que explica el negocio de una compañía aérea relacionando ingresos, costes y producción en Horas Boque (BH, por sus siglas en inglés). Este enfoque se utiliza principalmente en el mercado chárter.

Los resultados de una compañía aérea se pueden definir como:

$$R = \text{Ingresos} - \text{Costes} = I - (CF + DOC's) \quad (13)$$

Donde:

Costes = CF + DOCs

I: ingresos

CF: costes fijos

DOCs: costes directos operativos (*Direct Operating Costs*, por sus siglas en inglés)

Considerando la producción en horas bloque (BH), la ecuación (13) también se puede expresar en términos unitarios por hora bloque de la siguiente forma:

$$R = \frac{I}{BH} \cdot BH - \left(\frac{CF}{BH} \cdot BH + \frac{DOC}{BH} \cdot BH \right) = i \cdot BH - (cf \cdot BH + doc \cdot BH) \quad (14)$$

Donde:

i = ingresos (I) por BH

cf: costes fijos (CF) por BH

doc: costes directos operativos (DOC) por BH

La representación gráfica y esquemática de las ecuaciones (13) y (14) sería (Figura 3.7):

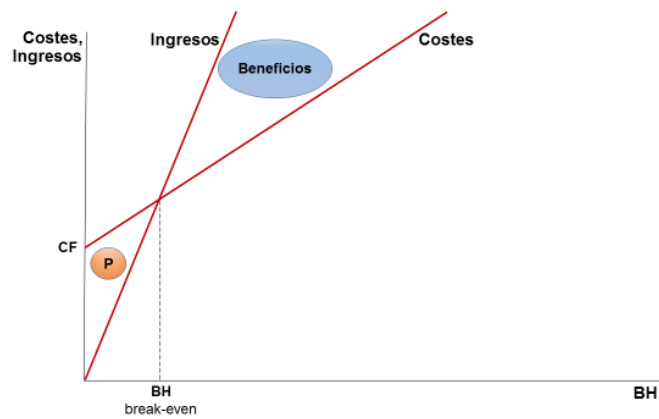


Figura 3.7 Representación gráfica de Ingresos y Costes en función de BH

La pendiente de la línea de costes corresponde a los DOCs por hora bloque (doc), cuya ordenada en el origen son los costes fijos CF. La pendiente de la línea de ingresos corresponde a los ingresos por hora bloque (i). En la realidad estas pendientes no son constantes, sino que su valor varía en función de la longitud de etapa, la naturaleza del mercado (gama tarifaria, factor de ocupación), tipo de aeropuerto, precio del combustible, etc. Así, tendríamos una nube de puntos que reflejarían las oscilaciones de los ingresos y DOCs por hora bloque. Para facilitar la comprensión y aportar claridad, se pueden considerar ambas rectas como una regresión lineal de la nube de puntos sin restar representatividad.

Los costes fijos CF tampoco son totalmente fijos, ya que pueden oscilar con la paridad moneda local/\$, coste de la energía, etc.

El punto de cruce entre las dos rectas corresponde a la producción de horas bloque de equilibrio o *break-even* (BH_{be}), con sus correspondientes ingresos y costes de equilibrio. Para valores de producción superiores a las BH_{be} , es zona de beneficios (azul). Y para valores de producción inferiores a BH_{be} es zona de pérdidas (naranja). Debido a que en realidad ambas rectas y los costes fijos CF sufren pequeñas oscilaciones continuamente, conviene que la producción real de BH esté lo más alejada posible de BH_{be} para evitar entrar en pérdidas debido a oscilaciones adversas no previstas.

Las ecuaciones planteadas y su representación gráfica se pueden aplicar a un conjunto de rutas (distintos mercados, corto y medio radio, largo radio, etc.) y, por agregación, al conjunto de toda la red.

La aparición de nuevos entrantes LCC, con menores costes fijos, menores DOCs y tarifas inferiores tiene su representación gráfica en la Figura 3.8 (trazo azul).

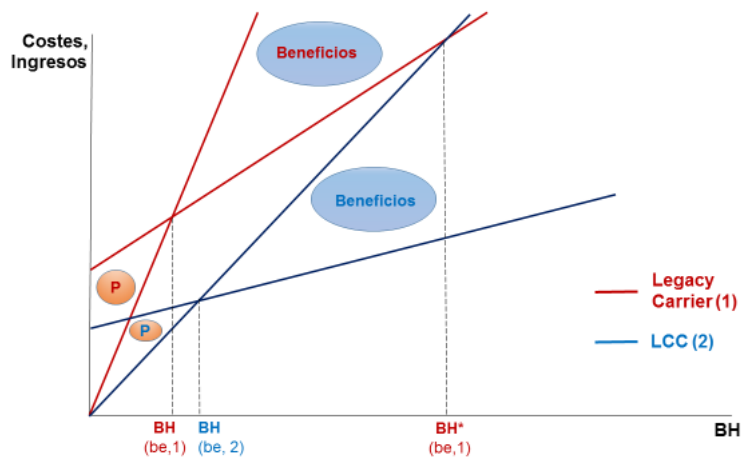


Figura 3.8 Ingresos y costes de *Legacy Carrier* (1) y LCC (2)

Comparándola con la correspondiente a las compañías aéreas tradicionales (*Legacy Carriers*, en trazo rojo), se puede observar de inmediato el *gap* competitivo y la vulnerabilidad de las compañías establecidas en relación con los LCCs. Para las compañías establecidas, igualar tarifas con los LCCs sin reducir costes previamente conduce a una producción de equilibrio (BH^*_{be}) probablemente inalcanzable físicamente en términos de horas bloque y factor de ocupación, lo cual conduce a pérdidas. En cuyo caso se produce una falta de rentabilidad continuada, si no hay cambios, que puede conducir a la desaparición.

Por consiguiente, la solución consiste en un proceso de cambio: reducir costes fijos y operativos hasta igualarlos (o próximos) a los de los LCCs para poder ser competitivos.

A mayor abundamiento y como complemento de lo anterior, también se puede obtener la representación gráfica en términos unitarios por hora bloque de acuerdo con la ecuación (14).

A diferencia de la Figuras 3.7 y 3.8, en este caso los DOCs por hora bloque (*doc*) se convierten en un valor cuasi constante (con sus pequeñas oscilaciones, como ya se ha comentado), lo mismo que los ingresos por hora bloque (*i*) (también con sus oscilaciones en función de la longitud de etapa, nivel tarifario, etc.) (Figura 3.9). Los ingresos por hora bloque, evidentemente, deben ser mayores que los DOCs por hora bloque (de lo contrario, volar sería más caro que no volar). Por su parte, los costes fijos *CF* por hora bloque se convierten en un valor variable decreciente en función de las horas bloque voladas: es una curva cuya ecuación corresponde a una hipérbola equilátera de la forma $x \cdot y = Constante$. En este caso sería: $c_f \cdot BH = CF$.

Por otra parte, análogamente a la ecuación (13) y su representación gráfica, también conviene examinar la ecuación (14) y su representación gráfica, como instrumentos de gestión.

La ecuación (14) es:

$$R = \frac{I}{BH} \cdot BH - \left(\frac{CF}{BH} \cdot BH + \frac{DOC}{BH} \cdot BH \right) = i \cdot BH - (c_f \cdot BH + doc \cdot BH) \quad (14)$$

Su representación gráfica viene dada por la Figura 3-9:

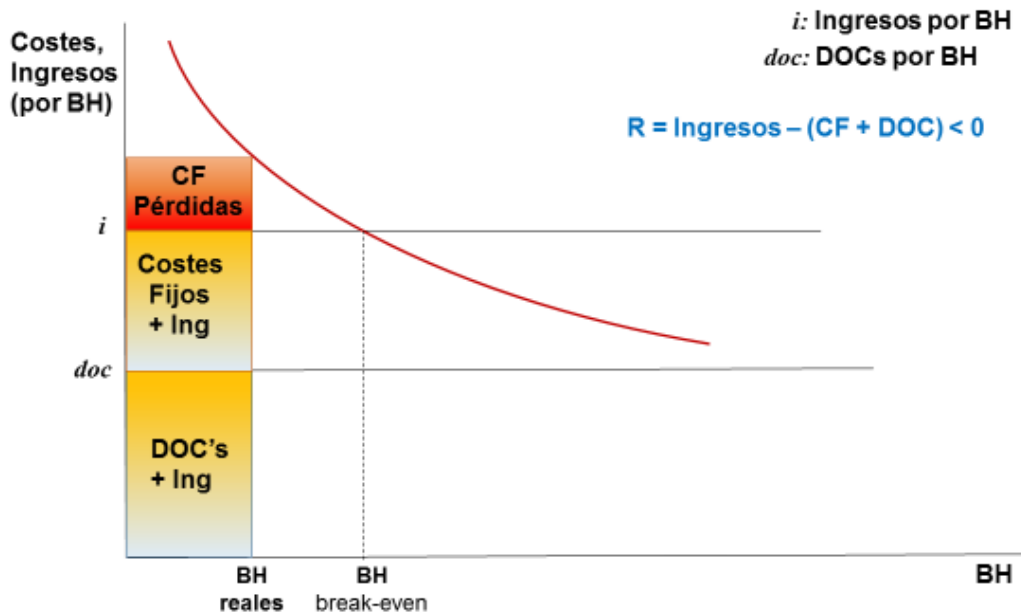


Figura 3.9 Representación gráfica de una compañía aérea en pérdidas

La Figura 3.9 corresponde a una compañía aérea en pérdidas, cuya producción real en horas bloque todavía no ha llegado a la producción de equilibrio (BH_{be}). Las distintas áreas coloreadas corresponden a los ingresos y costes totales. Se puede observar que los ingresos por hora bloque (i) son mayores que los DOCs por hora bloque (doc), cuyo ingreso total menos los DOCs es su contribución para compensar parcialmente los costes fijos. El área en color rojo corresponde a pérdidas netas.

La Figura 3.10 corresponde a una compañía aérea en equilibrio económico ($R = 0$), con una producción igual a las horas bloque de *break-even* (BH_{be}). Las áreas correspondientes a ingresos y costes totales son iguales.

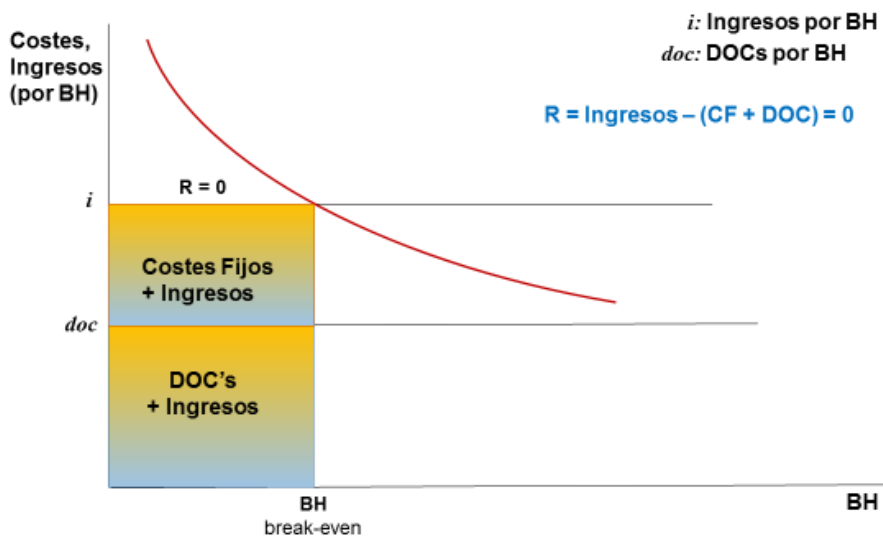


Figura 3.10 Compañía aérea en equilibrio económico ($R=0$)

La Figura 3.11 corresponde a una compañía aérea con beneficios.

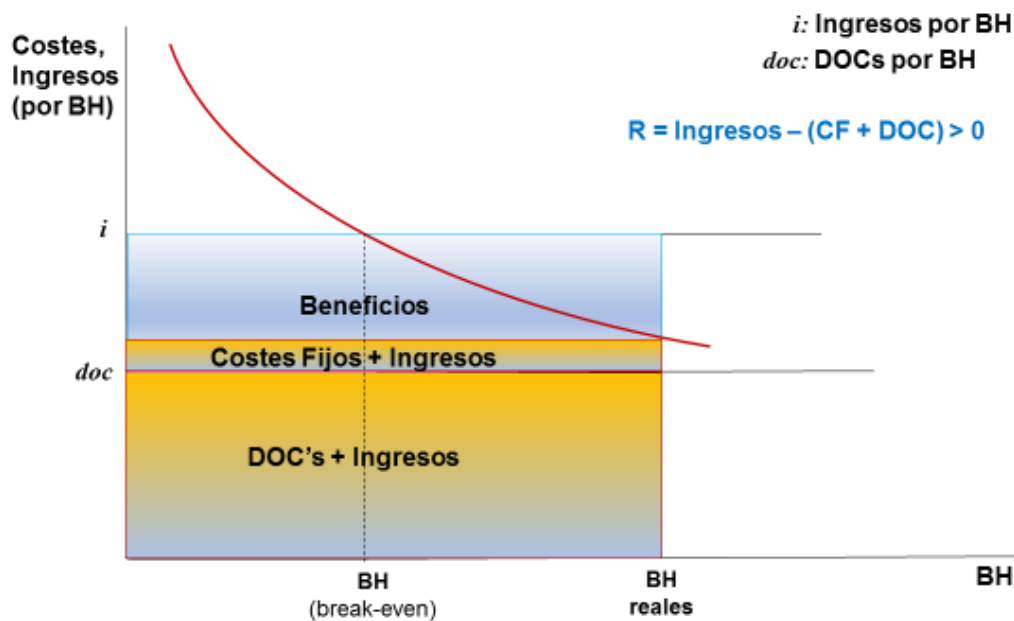


Figura 3.11 Compañía aérea con beneficios

Como se puede observar, la producción de horas bloque totales (BH reales en la Figura 3.11) sobrepasa las horas bloque de equilibrio BH_{be} y el área de ingresos es mayor al área correspondiente a los costes totales (área de beneficios en color azul; por debajo corresponde a áreas de ingresos y costes).

Una vez que los ingresos totales sobrepasan la curva de costes (CF + DOCs), por encima de la curva, se puede ofrecer una reducción parcial de tarifas (tarifas promocionales, etc.) para estimular la demanda. De esta forma se puede conseguir un incremento del factor de ocupación que compensa la reducción de tarifa (en muchos casos se generan ingresos marginales) y, en consecuencia, aumentan los ingresos totales y el beneficio. En algunos casos se puede reducir la tarifa para aumentar la producción de horas bloque (si es posible operativamente), por ejemplo para realizar vuelos nocturnos y aumentar los ingresos. En este caso suele hacerse para atender la demanda turística de baja tarifa. En otros casos, a veces también se reduce el ingreso por hora bloque, una vez superada la producción de equilibrio, en los contratos de *wet lease* entre compañías aéreas.

También se pueden comparar compañías aéreas tradicionales y LCCs en términos unitarios por hora bloque (Figura 3.12).

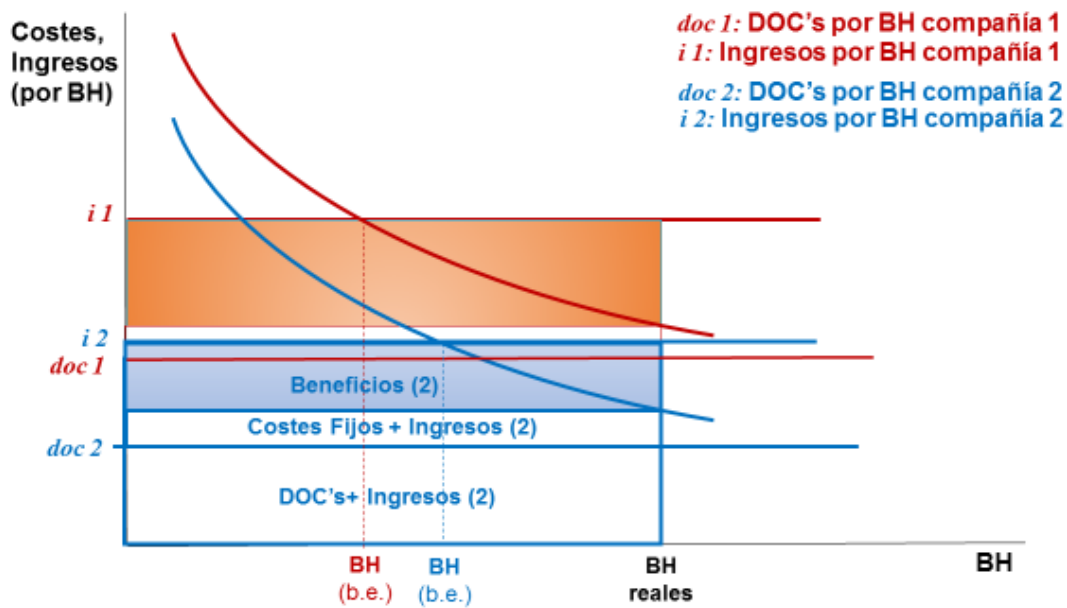


Figura 3.12 Ingresos y costes unitarios por BH de compañía tradicional (1) y LCC (2)

La Figura 3.12 muestra el impacto drástico de la reducción de ingresos y costes por parte de los LCCs. Los antiguos beneficios (zona color naranja) de las compañías tradicionales (compañía 1) antes de la liberalización del transporte aéreo se convierten en pérdidas operando con ingresos por BH de i_2 , a menos que se produzca un cambio para reducir costes hacia la proximidad de los LCCs (compañía 2) que permita reducir tarifas. La representación gráfica indica dónde deberían situarse las compañías tradicionales en relación con los LCCs.

3.10 Impacto del precio del combustible SAF en los Costes Operativos

En los próximos años se esperan nuevas regulaciones medioambientales para el transporte aéreo, introduciendo la obligatoriedad de utilizar SAF. Es probable que el precio del combustible aumente por esta razón. En este caso, la curva de *break-even* también es una herramienta útil para evaluar el impacto del precio del SAF en el coste unitario (CASK), es decir, en el resultado operativo de las compañías aéreas.

La curva de *break-even* indica el margen de incremento de CASK hasta llegar a resultados nulos ($R = 0$) sin aumentar tarifas (*yields*) (Figura 3.13).

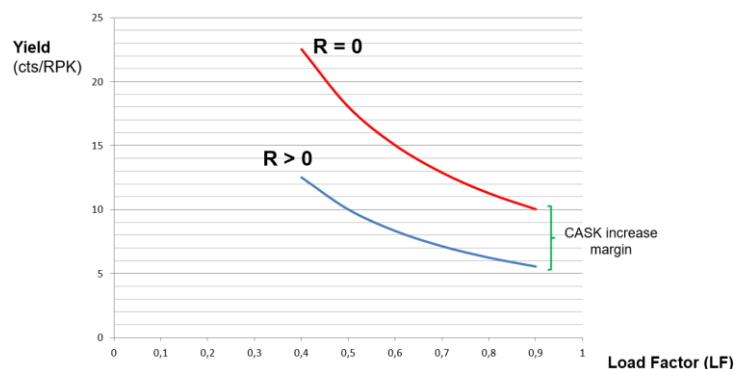


Figura 3.13 Margen de incremento del CASK entre dos curvas de *break-even* genéricas para mantener resultados positivos

Las compañías aéreas operan con *yield* y LF por encima de su curva azul para obtener resultados positivos. Su margen de incremento de CASK es hasta su curva en color rojo ($R = 0$), que indica el límite a no sobrepasar para mantener su rentabilidad, esto es, su continuidad. La curva de *break-even* en azul es la línea de flotación que permite resultados positivos y que las compañías aéreas han conseguido tener bajo control en un entorno altamente competitivo.

Tabla 3.1. Indicadores de negocio y relacionados con el coste de combustible (2019)

AIRLINE	Yield (cts/rpk)	LF (%)	Fuel Cost € Million	Fuel Cost/ Expenses (%)	Actual CASK (cts €)	CASK for R = 0	Δ CASK (%)
IAG	8.93	84.6	6,021	26.3	6.58	7.55	14.74
Air France-KLM	10.32	87.9	5,511	21.16	8.69	9.08	4.49
Lufthansa Group	13.15	82.5	6,715	18.09	10.38	10.85	4.5
Ryanair	4.06	95	2,762	37.49	3.37	3.86	14.5
easyJet	6.82	92.8	1,628	24.0	5.85	6.33	8.29
Delta	9.54	86.3	7,610	21.09	7.08	8.23	16.2
Southwest	8.24	83.5	3,883	22.33	5.97	6.88	15.24

La Tabla 3.1, entre otros datos, muestra el coste de combustible en relación con el Coste Operativo (*Operating Expenses*, OEs), el CASK para resultados nulos ($R = 0$) y el margen de incremento de CASK hasta $R = 0$, es decir:

$$y \cdot LF = CASK \quad (2)$$

Para el caso de IAG, por ejemplo, el CASK para $R = 0$ es (ver Tabla 3.1):

$$8.93 \cdot 0.846 = 7.55 = CASK \text{ para } R = 0$$

El margen de incremento de CASK hasta $R = 0$, desde el actual 6,58 para resultados positivos hasta 7,55 ($R = 0$), es del 14,74% (ver Tabla 3.1).

El coste de combustible respecto a OEs oscila entre el 18% (Lufthansa Group) y el 26,3% (IAG) para las compañías de red y entre 22% (Southwest) y 37,49% (Ryanair) para LCCs. El nivel inferior de servicio de los LCCs, es decir (menor OEs), hace que su coste de combustible respecto a OEs sea mayor que el de las compañías de red. Por esta razón, para un determinado incremento del coste de combustible, las compañías de red pueden obtener alguna ‘ventaja competitiva’ sobre los LCCs.

3.10.1 Efecto del incremento de coste de combustible en el incremento de CASK

Considerando los Costes Operativos de una compañía aérea (OEs), sea A los OEs totales excepto el coste de combustible (F). Es decir:

$$A + F = OEs$$

Dividiendo esta expresión por los ASKs, resulta:

$$\frac{A}{ASK} + \frac{F}{ASK} = \frac{OEs}{ASK} = CASK$$

Considerando los costes operativos unitarios, se puede definir

$$a = \frac{A}{ASK} \quad f = \frac{F}{ASK}$$

Esto es:

$$a + f = CASK$$

Sean ahora:

x : porcentaje del incremento del coste unitario de combustible (f) debido al SAF

y : porcentaje del coste unitario de combustible (f) relativo al $CASK$: $f = y \cdot CASK$

z : porcentaje de incremento de $CASK$ debido al incremento del coste unitario de combustible (x)

Después del incremento de coste del combustible, los nuevos costes (f_1 , $CASK_1$) serán:

Combustible: $f_1 = f(1 + x)$

$CASK$: $CASK_1 = CASK(1 + z)$

a : constante (invariante)

En consecuencia:

$$a + f_1 = CASK_1$$

$$a + f(1 + x) = CASK(1 + z)$$

$$a + f + f \cdot x = CASK + z \cdot CASK$$

Como $a + f = CASK$, se puede escribir:

$$f \cdot x = z \cdot CASK$$

Sabiendo que $f = y \cdot CASK$ y sustituyendo, resulta:

$$y \cdot CASK \cdot x = z \cdot CASK$$

Esto es,

$$x \cdot y = z$$

Esta ecuación evidencia que para un incremento dado del coste de combustible (x), cuanto mayor es su coste con relación al OE s (y), mayor es el incremento de $CASK$ (z). Se utilizará la ecuación anterior para determinar el impacto del incremento del coste de combustible debido al SAF.

4. Resultados

Como se ha visto, las ecuaciones planteadas $R/ako = y \cdot LF - c$ y $y \cdot LF = c$ son un modelo matemático simple que permite identificar las variables de negocio de una compañía aérea y su relación entre ellas.

4.1 La ecuación de *break-even* y su curva asociada

La ecuación de *break-even* y su curva asociada reflejan el comportamiento de negocio de una compañía aérea. Sus aplicaciones a los distintos casos descritos pueden referirse a una sola ruta o a un conjunto de rutas: corto radio, largo radio, diversos mercados (por ejemplo: doméstico e internacional), mercados según zonas geográficas, etc. Por agregación, se puede obtener la curva de *break-even* de la red de rutas total de una compañía aérea.

La curva de *break-even* de un conjunto parcial de rutas no es extrapolable a toda la red o a otro conjunto de rutas porque podría no reflejar la realidad, podría no ser representativa sino una imagen engañosa. A su vez, la curva de *break-even* de la red total puede no indicar exactamente, con la debida precisión, el comportamiento parcial de un conjunto de rutas. Cuanto más dispersa es la longitud de etapa de la red, menos extrapolables son los comportamientos parciales y totales y viceversa. El coste unitario, que define la posición de la curva de *break-even*, varía con la longitud de etapa. En una misma compañía aérea, el coste unitario del corto y medio radio es mayor que el correspondiente al largo radio, a menos que los costes salariales (y otros) imputados al corto y medio radio sean muy inferiores a los imputados al largo radio.

Cualquier comparación entre compañías aéreas para tomar decisiones debe hacerse de forma homogénea para que sea efectiva, no solo en términos de red similar sino también en términos de producto. Por ejemplo, la estructura de costes de los LCCs es muy diferente a la de las compañías de red [Porter, 1985]. El coste del combustible en relación con los costes operativos totales de Ryanair es del 46% (Ryanair, 2023) mientras que el de IAG es del 29% (IAG, 2023/2). El peso del coste del combustible en ambas compañías es muy diferente. Las decisiones a tomar deben considerar estas diferencias. En términos de costes, los patrones de comparación entre compañías aéreas son la productividad de los activos (utilización diaria de aviones, tiempos de escala, tecnología, etc.) y la productividad de las personas. Otra referencia de comparación puede ser la diferencia entre el LF real y el LF_{be} .

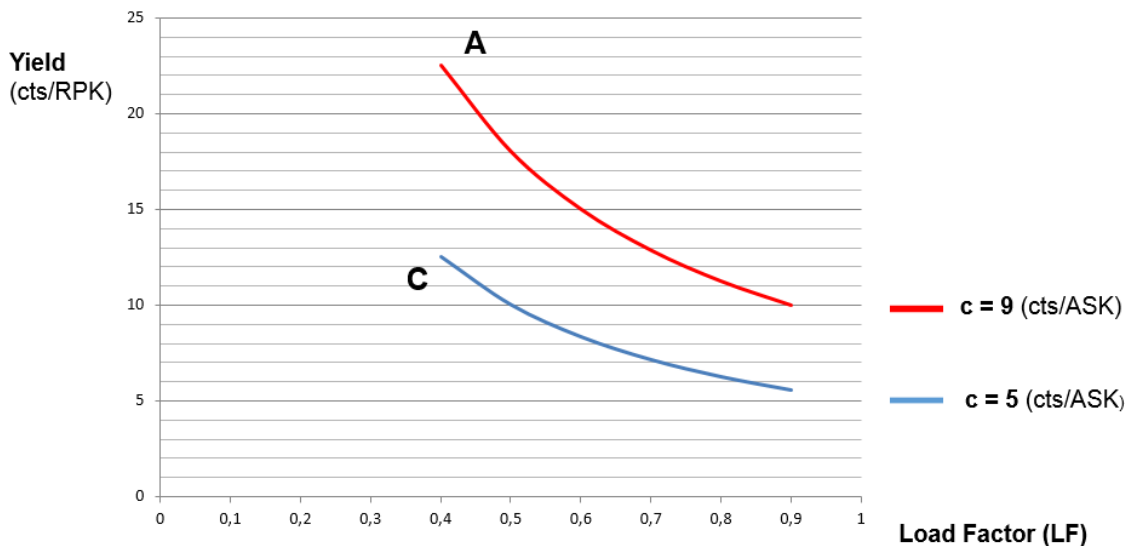


Figura 4.1 Curvas de *break-even* con un coste unitario de 9 *cts/ako* (media de compañías tradicionales, rojo) y 5 *cts/ako* (media de LCCs, azul)

Quizá algunos de los comentarios hechos en la discusión de las ecuaciones de *break-even* (Sección 3, Material y métodos) son intuitivos. Pero su formulación algebraica le da soporte conceptual, permite conocer su fundamento, disponer de una métrica para medir el negocio y acotar, conocer los límites y sus efectos. Permite cuantificar y controlar la gestión, esta es la gran diferencia. El soporte conceptual afianza la intuición, da solidez a la argumentación, y a su vez, la intuición refuerza todavía más el concepto. La coherencia entre intuición y concepto es virtuosa.

Estas ecuaciones no cambian, relacionan las tres variables fundamentales de negocio, y deben ser de manera tal que todo funcione con resultados positivos. Son un invariante que define el comportamiento de negocio de una compañía aérea, lo que podríamos llamar su *Business Performance Indicator* (BPI). Son ecuaciones válidas en condiciones normales y excepcionales, para toda condición de contorno, para todo modelo de gestión, y para toda compañía aérea.

Consideremos una compañía aérea A con un coste unitario de 9 *cts/ako* tomado de Aviaco (compañía aérea subsidiaria de Iberia) operando el corto y medio radio en 1992 (Aviaco, 1992), antes de la liberalización completa del transporte aéreo en la UE. Este coste unitario es similar al de Iberia para vuelos de corto y medio en la misma época (Iberia, 1992). Y consideremos también una compañía aérea C, un nuevo entrante LCC para vuelos de corto y medio radio, con un coste unitario muy inferior al de A: 5 *cts/ako*. Esta cifra corresponde a una media para vuelos de corto y medio radio entre easyJet (easyJet, 2019), Ryanair (Ryanair, 2019) y Southwest (Southwest, 2019) (Figura 4.1).

La figura 4.1 muestra que si el competidor C entra en la misma red de rutas con una curva de equilibrio más baja (menor coste unitario), se observa inmediatamente que la compañía aérea A tiene toda una zona de riesgo entre las dos curvas de *break-even*.

El riesgo es que el mercado de A se transfiera a C debido al atractivo de sus tarifas más bajas. La lealtad del mercado hacia A puede trasladarse a C, a menos que otros atributos del producto de A (calidad del servicio, imagen de marca-*branding*, confianza, etc.)

mantengan suficiente lealtad a A para permanecer en la zona de beneficios. Un rápido vistazo a la curva de *break-even* será suficiente para ver toda esta información. Esta información es más que suficiente para resaltar cuestiones estratégicas y tomar decisiones. Si es necesario, se pueden hacer mayores esfuerzos de precisión (Porter, 1985). Por ejemplo, un *yield* de 10 cts/RPK significa un $LF_{be} = 0,5$ para la compañía aérea C y un $LF_{be} = 0,9$ para la compañía aérea A, mucho mayor que el de la compañía aérea C. Esto requiere que la compañía aérea A disminuya su LF_{be} para competir en tarifas con la compañía aérea C, es decir, para bajar su curva de equilibrio.

La Figura 4.2 representa las curvas de equilibrio para compañías aéreas de red (azul) y punto a punto (verde) que operan en corto, medio y largo radio. La azul corresponde a una mezcla de British Airways e Iberia, con un coste unitario $CASK = 7$ cts/ASK (British Airways, 2019 e Iberia, 2019). La verde corresponde a Norwegian, cuyo coste unitario es $CASK = 4$ cts/ASK (Norwegian, 2019). Para considerar una compañía aérea solo con operaciones de largo radio, Virgin Atlantic sería un ejemplo: su coste unitario es $CASK = 5,5$ cts/ASK (Virgin Atlantic, 2019). Una estimación para un vuelo de Norwegian solo de largo radio podría ser alrededor de 3 cts/ASK, ya que el coste unitario de largo radio suele ser más bajo que el de los de corto y medio radio.

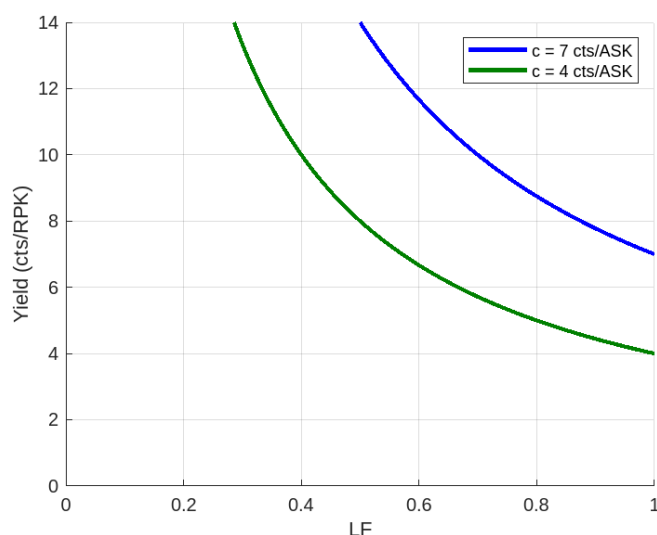


Figura 4.2 Curvas de equilibrio para compañías aéreas de red (azul) y punto a punto (verde) que operan una combinación de vuelos de corto, medio y largo radio.

4.2 La curva explica la ecuación

Las curvas de *break-even*, de forma gráfica e ilustrativa, aportan claridad y rapidez de análisis. Son el *business core*, la síntesis del negocio. En particular, permiten:

1. Visualizar dónde está la compañía aérea (y donde debería estar, si fuera el caso) en sus distintas rutas y mercados y, por agregación, en el total de la red.
2. Visualizar dónde están sus competidores y contrastar el comportamiento de la compañía aérea propia respecto a los competidores de forma homogénea según rutas, mercados, etc. Lo cual permite ver zonas de riesgo o, por el contrario, zonas de fortaleza de negocio. Las posibles decisiones a tomar no tienen por qué afectar a toda la red sino al conjunto de rutas en competencia con otras compañías aéreas. El cambio puede ser selectivo si es posible desagregar la gestión de rutas.

3. Visualizar la zona de *yields* y *LF* donde está el mercado, hacia dónde debe encaminarse la gestión del negocio.
4. Visualizar no sólo dónde debería estar la compañía aérea, sino también dónde le gustaría estar, la visión objetivo.

La ecuación de *break-even* y su curva asociada define el concepto matemático de negocio. Es su métrica básica, su determinante estructural: de hecho, realmente es el concepto de negocio. Es el *framework* que relaciona las tres variables principales y expresa cómo está funcionando la compañía aérea. Una de sus virtudes (y ventaja) es la representación visual de la realidad del negocio. La curva de *break-even* abre la imaginación e inspira las decisiones a tomar y su porqué.

La curva explica la ecuación, cuenta su historia. Expresa lo máximo con lo mínimo a simple vista, sin necesidad de innumerables cálculos y listados. Aporta luz para saber dónde está la compañía aérea, dónde debería estar, qué está pasando, qué le está pasando, qué debe hacer de inmediato. Permite ver las razones del éxito o de los errores. La curva de *break-even* es un instrumento clave de gestión que ilustra, facilita y justifica las decisiones a tomar y su porqué. Su conocimiento y uso es estratégico. Una compañía aérea se puede gestionar de muchas formas, pero al final debe estar por encima de su curva de *break-even*.

El concepto de negocio obedece a un concepto matemático que lo conecta con las cosas, con la vida de una compañía aérea, lo cual le da la potencia de la verdad matemática. El concepto de negocio definido por la curva de *break-even* no cambia y, a su vez, ilustra lo que debe cambiar, los cambios necesarios en el modelo de gestión para obtener resultados positivos, considerando todas las implicaciones necesarias.

Todo lo cual inspira el camino a seguir, cómo actuar, tomar decisiones correctas y fundamentadas. La curva evita la confusión, ayuda a ver y prever el negocio porque está indicando cómo se mueve todo.

Por ejemplo, si en un mismo ámbito de red de rutas entra un competidor C (Figura 4.3) con una curva de *break-even* inferior (menor coste unitario) y una zona comercial CZ de menor tarifa, se observa inmediatamente el riesgo de que el mercado de A se trasvase a C por el atractivo de sus menores tarifas. La fidelidad del mercado hacia A puede perderse en favor de C, a menos que otros atributos del producto de A (calidad de servicio, *branding*, confianza, etc.) retengan la fidelidad suficiente hacia A para mantenerse en zona de beneficios. La curva de *break-even* permite ver toda esta información en una visual, rápidamente.

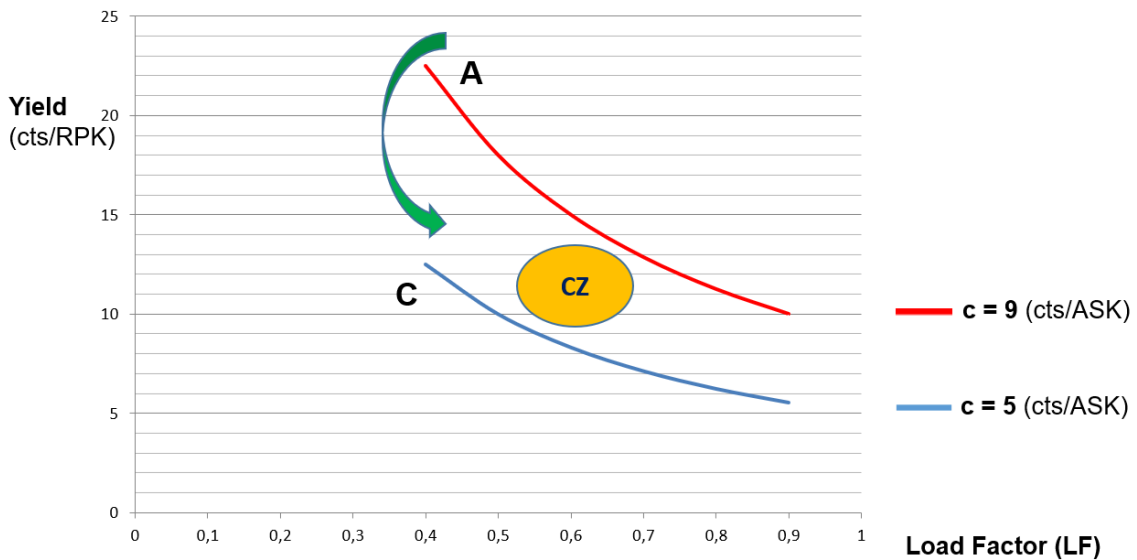


Figura 4.3 Compañía aérea A: desplaza su curva de equilibrio hacia abajo hasta la de la compañía aérea C, y cambia su zona comercial CZ

Podría ocurrir que la solidez de la fidelidad del mercado a la compañía A fuera tal, que tan sólo con reducir tarifas (menor *yield*) se estimulase la demanda y se produjera un incremento de *LF* suficiente para mantenerse en zona de resultados positivos (Figura 4.4). Esto es: mantener la curva de *break-even* actual. Es una primera aproximación de cambio en la gestión, una prueba inicial.

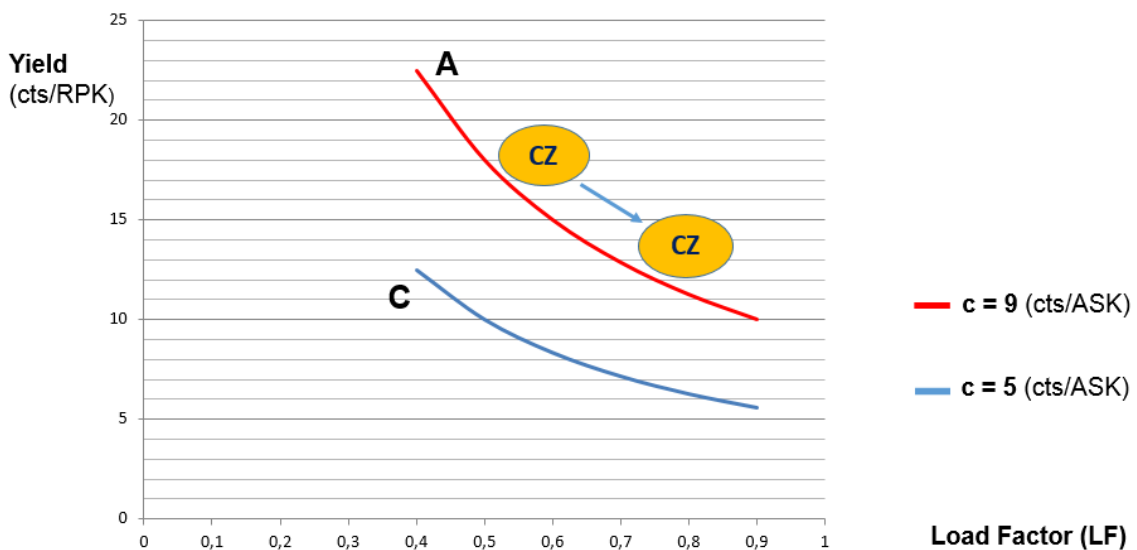


Figure 4.4 Cambio de zona comercial de la compañía aérea A, reducción de *yield* e incremento de *LF* (indicado por flecha azul)

Si esta primera aproximación no funciona hay que cambiar de curva, reducir el coste unitario *c* (CASK). En este caso la compañía aérea A debe mover su curva de *break-even* a la posición de C (Figura 4.3), trasladando a su vez su zona comercial (flecha verde).

Consideremos las compañías aéreas que antes de la liberalización gestionaban bien, con resultados positivos, y después han desaparecido o han sido absorbidas. Si estas compañías hubieran conocido y sabido leer las curvas de *break-even*, hubieran visto y comprendido enseguida el efecto de los nuevos entrantes (Figura 4.3). Esta es la clave. Desconocer o

no gestionar la curva de *break-even* y sus virtudes puede ser un problema en entornos de alta presión competitiva como los actuales.

4.3 El reto de bajar la curva de *break-even*

Puede ser un reto difícil pero no imposible, algunas compañías aéreas lo han conseguido. El reto del cambio puede implicar tres patrones de acción:

1. Reducción de costes
2. Tarifas reducidas variables y desglosadas como hacen los LCCs
3. Implantación rápida

4.3.1 Reducción de costes

La reducción de costes puede tener dos vías de actuación: a) reducción de costes de las distintas partidas de costes y b) aumento de la productividad de activos y de las personas.

- a) Los costes de las compañías aéreas se pueden dividir en dos bloques: costes operativos directos (*Direct Operating Costs*, DOCs) y costes operativos fijos (*Fixed Operating Costs*, FOCs). Los DOCs incluyen principalmente: combustible, operaciones de vuelo (OPS), salarios, mantenimiento, reparación y revisión de aviones (*Maintenace, Repair and Overhaul*, MRO), handling, catering, tasas de aterrizaje, tasas de navegación. Los FOCs incluyen principalmente: mano de obra, depreciación de activos, infraestructura, finanzas, marketing y ventas, publicidad, investigación y desarrollo más innovación, tecnología, gastos generales.

Muchos costes de una compañía aérea son una mezcla de DOCs y FOCs. Por ejemplo, MRO incluye mano de obra fija y equipos, más DOCs tales como las reservas de mantenimiento para la revisión de aviones y motores relacionados con la utilización del avión en horas bloque (BH) y ciclos (número de vuelos). El análisis aislado de cada coste puede ser confuso debido a la mezcla de los DOCs y FOCs involucrados. Como se verá más adelante, la cadena de valor proporciona la herramienta básica para el análisis de costes (Porter, 1985). Los costes por naturaleza (mano de obra, combustible, etc.) o por funciones (OPS, MRO, Marketing, etc.) también son de interés para contrastarlos con los costes de la cadena de valor.

Los DOCs también están relacionados con la *performance* operativa del avión (*máximum range, long range*, mínimo consumo, etc.). En algunos casos, pueden tener efectos opuestos. Por ejemplo: el consumo de combustible aumenta a medida que aumenta la velocidad; por el contrario, los costes de mantenimiento disminuyen con el aumento de velocidad, ya que están directamente relacionados con la utilización del avión en Horas Bloque. A partir de ese comportamiento opuesto relacionado con la velocidad, se puede obtener la velocidad óptima para combinar mínimos costes de combustible y MRO.

- b) Aumentar la productividad (eficiencia) de activos y personas es crucial. Es imprescindible trabajar en el nivel más alto de eficiencia y eficacia. La utilización de la flota, las actividades multifuncionales y la flexibilidad en los acuerdos laborales son ingredientes esenciales de los costes de la cadena de valor.

4.3.2 Tarifas reducidas variables y desglosadas como hacen los LCCs

Establecer un sistema tarifario variable en función del comportamiento de la demanda en el tiempo, basado en la gestión de ingresos (*yield management*). El objetivo es aumentar lo más posible el factor de ocupación (LF) en cada vuelo, con un mejor acoplamiento de la oferta y la demanda. Además, gestionar los ingresos complementarios, como hacen los LCCs, con productos extras desglosados no incluidos en la tarifa (comida a bordo, equipaje, selección de asiento, venta a bordo, etc.).

4.3.3 Rápida implantación del cambio

Para afrontar adecuadamente el reto de la competencia, es necesario implantar el cambio lo más rápido posible para evitar o reducir su impacto financiero negativo. La velocidad de la competencia no debe ser superior a la velocidad de cambio de la compañía aérea propia.

4.4 Efecto de las nuevas regulaciones medioambientales en los costes operativos

Teniendo en cuenta la estimación de la UE, el precio del SAF puede ser aproximadamente tres veces el precio actual del queroseno estándar (EASA, 2022). Sea P el precio del SAF y sea p el precio del queroseno estándar. Consideremos cuatro escenarios para los nuevos precios del combustible debido al SAF. Es decir,

$$P_1 = 3 \cdot p \quad P_2 = 2 \cdot p \quad P_3 = 1.5 \cdot p \quad P_4 = 1.2 \cdot p$$

Basados en la curva de *break-even*, en conjunción con los indicadores de negocio de las compañías aéreas (ver Tablas 2.1 y 3.1) y el impacto del coste del SAF en los Costes Operativos de las compañías aéreas indicado (3.10), se pueden considerar los tres casos siguientes:

4.4.1. Caso de 100% SAF (solo SAF en avión)

La introducción del SAF en la industria del transporte aéreo puede hacerse de varias formas, según su calendario y cantidades (Grimme, 2023). Un caso extremo sería sustituir la totalidad del queroseno por SAF. Técnicamente sería factible porque, aunque los motores actuales están certificados para funcionar con un máximo de 50% de SAF, se espera que esta cifra aumente hasta el 100% en los próximos años.

Consideremos que el precio del SAF es tres veces el precio inicial del combustible del queroseno estándar. Esto representa un incremento del 200% sobre el precio del queroseno estándar. Es decir,

$$P_1 = 3 \cdot p = (1 + 2)p \quad \text{esto es: } x = 2 \text{ (incremento 200\%)}$$

Consideremos los intervalos porcentuales del coste del combustible respecto a los OEs (y) para las compañías de red y los LCCs, como se detalla en la Tabla 3.1.

- a) Intervalo Compañías de red: $y = [18\% - 26.3\%] = [0.18 - 0.263]$
 - a.1) $y = 0.18 \quad z = x \cdot y = 2 \cdot 0.18 = 0.36 = 36\% \rightarrow \Delta CASK = 36\%$
 - a.2) $y = 0.263 \quad z = x \cdot y = 2 \cdot 0.263 = 0.53 = 52.6\% \rightarrow \Delta CASK = 52.6\%$
- b) Intervalo LCCs: $y = [22\% - 37.49\%] = [0.22 - 0.3749]$
 - b.1) $y = 0.22 \quad z = x \cdot y = 2 \cdot 0.22 = 0.44 = 44\% \rightarrow \Delta CASK = 44\%$
 - b.2) $y = 0.3749 \quad z = x \cdot y = 2 \cdot 0.3749 = 0.75 = 75\% \rightarrow \Delta CASK = 75\%$

De igual forma para los demás escenarios de precio del SAF, según se ha indicado:

$$P_2 = 2 \cdot p = (1 + 1)p \quad \text{esto es: } x = 1 \text{ (+100\%)}$$

$$P_3 = 1.5 \cdot p = (1 + 0.5)p \quad \text{esto es: } x = 0.5 \quad (+50\%)$$

$$P_4 = 1.2 \cdot p = (1 + 0.2)p \quad \text{esto es: } x = 0.2 \quad (+20\%)$$

Se obtiene la Tabla 4.1:

Tabla 4.1 Incremento de CASK debido al 100% de SAF según diferentes precios

SAF Price	Network airlines		Low-Cost carriers	
	Fuel Cost/OEs y = 18% ΔCASK (%)	Fuel Cost/OEs y = 26.3% ΔCASK (%)	Fuel Cost/OEs y = 22% ΔCASK (%)	Fuel Cost/OEs y = 37.49% ΔCASK (%)
3p	36	53	44	75
2p	18	26.3	22	37.5
1.5p	9	13.15	11	19
1.2p	3.6	5.26	4.4	7.5

La Tabla 4.1 es un primer vistazo del impacto del precio del SAF en los incrementos del CASK (%) para diferentes precios del SAF, considerando Compañías de red y LCCs, según los intervalos del coste del combustible (%) respecto a sus OEs. Las cifras verdes muestran los incrementos del CASK que en la mayoría de los casos está dentro de los márgenes asumibles de incremento del CASK, excepto Air France-KLM y el Grupo Lufthansa en algunos casos (ver Tabla 3.1). Las cifras rojas muestran los incrementos del CASK debido al incremento del precio del combustible que hace que la compañía aérea entre en pérdidas.

Como se observa, los precios del SAF de 3p y 2p son inasumibles en cualquier caso. Los precios del SAF de 1,5p y 1,2p reducen las ganancias pero los resultados todavía son positivos, excepto para los LCCs en el porcentaje extremo del coste del combustible relacionado con los OE (37,49%). Los LCCs solo aceptan precios del SAF de 1,2p. Esto se debe al mayor coste del combustible de los LCCs respecto a sus OEs.

Más concretamente, considerando los ejemplos de IAG (Compañías de red) y Ryanair (LCC), se pueden tomar sus respectivas curvas de *break-even* (2019) para mostrar el efecto del precio del SAF y el margen de incremento del CASK. En el caso de IAG, los incrementos del CASK por encima de 7,55 ($\Delta\text{CASK} > 14,74\%$, $R = 0$, Tabla 3.1) generan pérdidas (Figura 4.5).

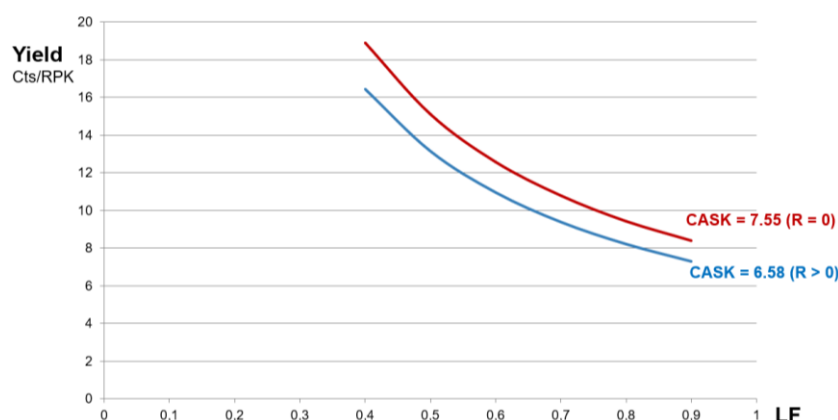


Figure 4.5 Curvas de *break-even* de IAG indicando su margen de incremento de CASK (2019)

En el caso de Ryanair (Figura 4.6), cualquier incremento del CASK por encima de 3,86 ($\Delta\text{CASK} > 14,5\%$, $R = 0$, Tabla 3.1) genera pérdidas. En ambos casos, cualquier

incremento del CASK por encima de sus respectivos márgenes (líneas rojas) es inasumible para mantener la rentabilidad. Todo esto se puede observar y demostrar a partir de las curvas de *break-even*. Cada compañía aérea puede hacer su demostración ante las Autoridades Regulatoras Medioambientales.

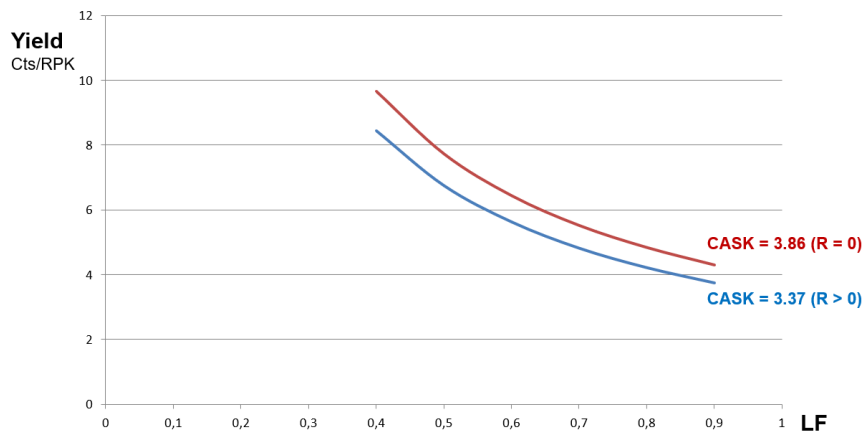


Figure 4.6 Curvas de *break-even* de Ryanair indicando su margen de incremento de CASK (2019)

Cualquier aumento en el precio del combustible debe estar dentro de dicho margen antes de alcanzar $R = 0$. La curva de *break-even* es la ‘línea de flotación’ de las compañías aéreas para ser rentables y mantener la continuidad.

Si consideramos el conjunto de compañías aéreas de la Tabla 3.1 y solo consideramos los escenarios de precios del combustible de:

$$P_3 = 1.5 \cdot p = (1 + 0.5)p \quad \text{esto es: } x = 0.5 \quad (+50\%)$$

$$P_4 = 1.2 \cdot p = (1 + 0.2)p \quad \text{esto es: } x = 0.2 \quad (+20\%)$$

Podemos obtener el incremento del CASK de las diferentes compañías aéreas y compararlo con su margen de incremento del CASK para mantener resultados positivos. Tomando como ejemplo de Lufthansa Group,

Lufthansa Group: $y = 18.09\%$ (Tabla 3.1) $\rightarrow y = 0.1809$

$$P_3 = 1.5 \cdot p \quad x = 0.5 \quad z = x \cdot y = 0.5 \cdot 0.1809 = 0.0905 \rightarrow 9.05\% > 4.5\% \text{ (Tabla 3.1)} \rightarrow R < 0$$

$$P_4 = 1.2 \cdot p \quad x = 0.2 \quad z = x \cdot y = 0.2 \cdot 0.1809 = 0.0362 \rightarrow 3.62\% < 4.5\% \text{ (Tabla 3.1)} \rightarrow R > 0$$

Procediendo de igual forma para el resto de compañías aéreas, se obtiene la Tabla 4.2, donde se muestra el efecto sobre el incremento del CASK (%) del 100% SAF en el avión, considerando precios de SAF de $1,5p$ y $1,2p$. En el caso de $1,2p$, los resultados de todas las compañías aéreas consideradas se reducen pero aún son positivos (cifras en azul). Para un precio de SAF de $1,5p$, Air France – KLM, Lufthansa Group (ambas compañías de red), Ryanair y easyJet (LCCs) entrarían en pérdidas (cifras en rojo).

Tabla 4.2. Incremento del CASK con precios de 100% SAF para diferentes compañías aéreas

Airline	1.5p Δ CASK (%)	1.2p Δ CASK (%)
IAG	13.15 (R > 0)	5.26 (R > 0)
Air France – KLM	10.58 (R < 0)	4.23 (R > 0)
Lufthansa Group	9.05 (R < 0)	3.62 (R > 0)
Ryanair	18.75 (R < 0)	7.5 (R > 0)
easyJet	12.0 (R < 0)	4.8 (R > 0)
Delta	10.55 (R > 0)	4.27 (R > 0)
Southwest	11.17 (R > 0)	4.47 (R > 0)

Para mayor detalle, consideramos diagramas de barras para observar el impacto del incremento de costes debido al SAF utilizando los ejemplos de IAG y Ryanair.

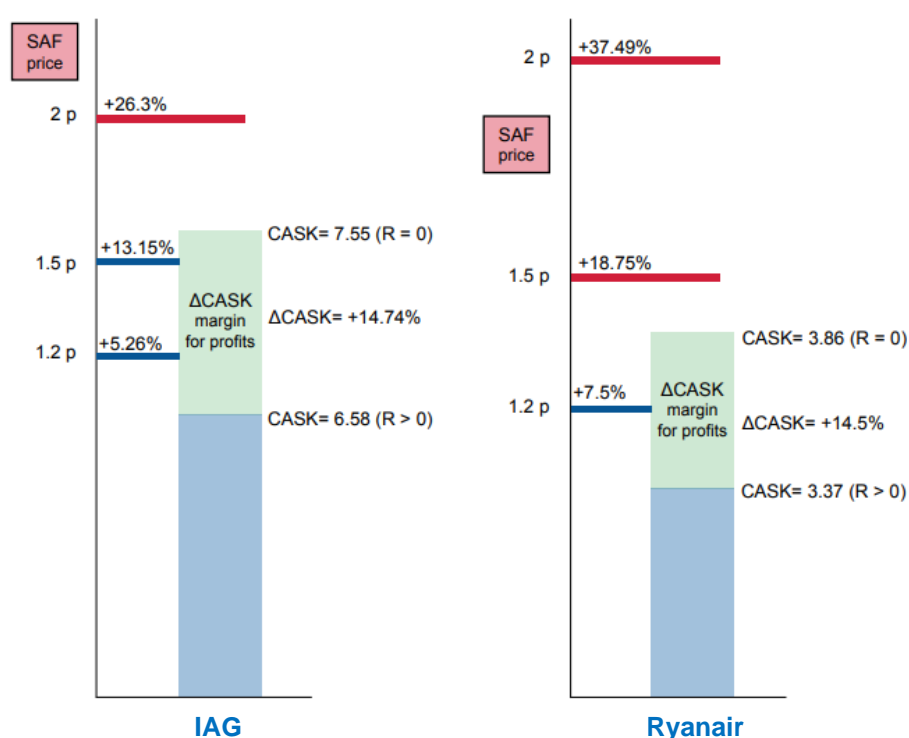


Figura 4.7 Diagramas de barras de IAG y Ryanair para mostrar los incrementos de CASK según los precios de 100% SAF en el avión

La figura 4.7 muestra diagramas de barras para IAG y Ryanair. El margen del CASK para mantener beneficios corresponde al área verde, que va desde el CASK real (2019) hasta el CASK para R = 0.

IAG admite precios de SAF de 1,5p todavía con algunos beneficios, desde la línea azul (+13,15%) hasta un aumento del 14,74% del CASK (7,55) para R = 0. El SAF de 2p es inasumible, fuera de beneficios (línea roja CASK = 8,31, +26,3%).

En el caso de Ryanair, el margen de beneficio dentro del área verde, desde el CASK real (2019) hasta el CASK para R = 0 (3,86, +14,5% CASK), no admite precio del SAF de 1,5p, es inasumible. En el caso del precio del SAF de 1,2p, los beneficios de Ryanair son menores pero aún positivos.

4.4.2 Impacto en los costes del SAF según el mandato de la UE (mezcla de SAF y e-queroseno), de acuerdo con el calendario de implantación

Considerando el impacto global de las políticas climáticas de la UE en el transporte aéreo (Oesingmann, 2023), el mandato SAF de la UE parece ser el más relevante, puesto que ya está aprobado y comenzará a generar resultados en 2025.

Sea P el precio del SAF (incluido el e-queroseno) y sea p el precio del queroseno estándar. En el caso de una mezcla del 2% de SAF (a partir de 2025), considerando que el precio del SAF es tres veces el precio del queroseno estándar ($P_1 = 3 \cdot p$, como en el caso anterior), el precio final de la mezcla sería:

$$\text{Precio de la mezcla} = 0.98 \cdot p + 0.02 \cdot P_1$$

Esto es:

$$\text{Precio de la mezcla} = 0.98 \cdot p + 0.02 \cdot 3 \cdot p = 0.98 \cdot p + 0.06 \cdot p = (1 + 0.04)p \rightarrow x = +4\%$$

Es decir, el incremento final del coste del combustible (x) sería de +4% para la mezcla del 2% de SAF.

Procediendo de la igual forma para los diferentes escenarios de precio del SAF y el calendario de mandatos de mezcla de SAF de la UE, se obtiene la Tabla 4.3:

Tabla 4.3. Efecto sobre el incremento del coste del combustible para diferentes precios de SAF y mandato de mezcla de SAF de la UE

	EU blending SAF mandate (%)					
	Fuel cost increment, 'x' (%)					
SAF Price	2	6	20	34	42	70
3p	4	12	40	68	84	140
2p	2	6	20	34	42	70
1.5p	1	3	10	17	21	35
1.2p	0.4	1.2	4	6.8	8.4	14

La Tabla 4.3 muestra los incrementos del coste del combustible (%) debido al mandato SAF de la UE, de acuerdo con el calendario de proporciones de mezcla para diferentes precios de SAF. Las cifras verdes muestran el incremento de precios del combustible que la mayoría de las compañías aéreas (2019) podrían asumir sin entrar en pérdidas, pero que están cerca de ser alcanzadas en algunos casos. Las cifras rojas muestran incrementos de precios del combustible inasumibles para que las compañías aéreas mantengan resultados positivos (2019).

Considerando el conjunto de compañías aéreas de la Tabla 3.1, y considerando solo los escenarios de precios del combustible de:

$$P_3 = 1.5 \cdot p = (1 + 0.5)p \quad \text{esto es: } x = 0.5 \quad (+50\%)$$

$$P_4 = 1.2 \cdot p = (1 + 0.2)p \quad \text{esto es: } x = 0.2 \quad (+20\%)$$

Tomando el tope del 70% de SAF combinado con e-queroseno, se puede obtener el incremento de CASK para las diferentes compañías aéreas. Tomando como ejemplo Air France–KLM:

$$\text{Air France – KLM : } y = 21.16\% \text{ (Tabla 2.1)} \rightarrow y = 0.2116$$

$$\text{Mezcla 70\% a 1.5p: } 0.3 \cdot p + 0.7 \cdot 1.5 \cdot p = (0.3 + 1.05)p = (1 + 0.35)p \rightarrow x = 0.35 = 35\%$$

$$\text{Mezcla 70\% a 1.2p: } 0.3 \cdot p + 0.7 \cdot 1.2 \cdot p = (0.3 + 0.84)p = (1 + 0.14)p \rightarrow x = 0.14 = 14\%$$

El impacto en los costes para Air France – KLM sería:

$$P_3 = 1.5 \cdot p \quad x = 0.35 \quad z = x \cdot y = 0.35 \cdot 0.2116 = 0.0741 \rightarrow 7.41\% > 4.49\% \text{ (Tabla 3.1)} \rightarrow R < 0$$

$$P_4 = 1.2 \cdot p \quad x = 0.14 \quad z = x \cdot y = 0.14 \cdot 0.2116 = 0.0296 \rightarrow 2.96\% < 4.49\% \text{ (Tabla 3.1)} \rightarrow R > 0$$

Procediendo de igual forma para el resto de las compañías aéreas, se obtiene la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Incremento del CASK para distintas compañías aéreas con mezcla 70% SAF

Airline	1.5p ΔCASK (%)	1.2p ΔCASK (%)
IAG	9.21 (R > 0)	3.68 (R > 0)
Air France – KLM	7.41 (R < 0)	2.96 (R > 0)
Lufthansa Group	6.33 (R < 0)	2.53 (R > 0)
Ryanair	13.12 (R > 0)	5.25 (R > 0)
easyJet	8.4 (R < 0)	3.36 (R > 0)
Delta	7.38 (R > 0)	2.95 (R > 0)
Southwest	7.82 (R > 0)	3.13 (R > 0)

Las cifras en rojo indican los incrementos de CASK que hacen que las compañías aéreas generen resultados negativos. Para mayor detalle, se consideran diagramas de barras para observar el impacto del incremento de costes utilizando los ejemplos de IAG y Ryanair.

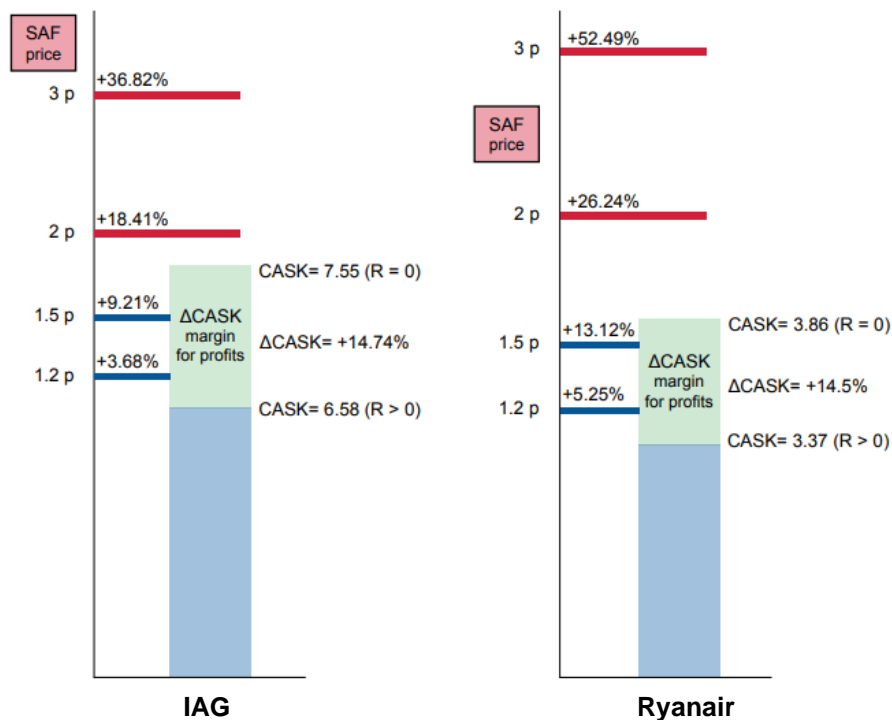


Figura 4.8. Diagramas de barras de IAG y Ryanair para mostrar los incrementos de CASK según la mezcla del 70 % de SAF y diferentes precios

La Figura 4.8 muestra diagramas de barras para IAG y Ryanair, considerando el mandato de la UE de mezclar SAF al 70%. En este caso, IAG no admite el precio de SAF de 2p, ni tampoco Ryanair. En ambos casos, se admite el precio de SAF de 1,5p, pero el margen de incremento del CASK de IAG (de +9,21% a +14,74%) para mantener beneficios es mayor que el de Ryanair (de 13,12% a +14,5%). Las líneas rojas muestran los precios inasumibles de SAF (2p y 3p). En todos los casos, el efecto de los incrementos del precio del SAF sobre el CASK de las compañías de red es menor que el correspondiente a los LCCs, como se puede ver en los diagramas de barras de las figuras 4.7 y 4.8.

4.4.3 Información preliminar de 2023

La Tabla 4.5 muestra las cifras de negocio de 2023 (parciales y preliminares) vs. 2019 para IAG (IAG, 2019 y 2023/2) y Ryanair (Ryanair, 2020, 2023 y Ryanair, Q3 2023), incluyendo el coste de combustible respecto a los OEs.

Tabla 4.5 Algunas cifras de negocio de 2023 (parciales y preliminares) vs. 2019

AIRLINE	Yield 2019 (cts €/rpk)	Yield 2023 (cts €/rpk)	Fuel Cost/ Expenses 2019 (%)	Fuel Cost/ Expenses 2023 (%)	CASK 2019 (cts €)	CASK 2023 (cts €)
IAG	8.93	10.68 (+19.6%)	26.3	29.13 (+10.76%)	6.58	8.03 (+22.04%)
Ryanair	4.06	4.51 (+11.08%)	37.49	45.53 (+21.45%)	3.37	3.65 (+8.31%)

En el caso de IAG, los pasajeros transportados en 2023 alcanzaron el 98% del nivel correspondiente a 2019, con una fuerte demanda de viajes de ocio. El *yield* aumentó un 19,6%, inferior al aumento del CASK (22,04%), debido principalmente al aumento del coste del combustible. Por este motivo, el coste del combustible relacionado con los OEs aumentó un 10,76%, hasta el 29,13%.

En el caso de Ryanair, los pasajeros transportados aumentaron un 13% en 2023 respecto a 2019. El *yield* aumentó un 11,08%, es decir, 2,8 pp por encima del aumento del CASK (8,31%), lo que indica una mejora de la eficiencia. El coste del combustible respecto a los OEs aumentó hasta el 45,53% (+21,45%).

En la Tabla 4.6 se muestran algunos indicadores de negocio para evaluar cómo las cifras preliminares de 2023, en conjunción con las reflejadas en la Tabla 4.5, pueden cambiar los cálculos anteriores de incrementos de CASK realizados con anterioridad en relación a diferentes precios de SAF, considerando el combustible 100% SAF en avión. Para ello, se consideran los precios de SAF P_3 y P_4 . Es decir,

$$P_3 = 1.5 \cdot p = (1 + 0.5)p \quad \text{esto es: } x = 0.5 \quad (+50\%)$$

$$P_4 = 1.2 \cdot p = (1 + 0.2)p \quad \text{esto es: } x = 0.2 \quad (+20\%)$$

Tabla 4.6. Indicadores de negocio de IAG y Ryanair en 2023

AIRLINE	Profits before tax (M€)	Yield (cts €/rpk)	LF (%)	Actual CASK	CASK for R = 0	Δ CASK (%)
IAG	3,056	10.68	85.34	8.03	9.11	13.5
Ryanair (9 months)	2,461	4.51	94	3.65	4.24	16.15

Caso de IAG ($z = x \cdot y$):

$$P_3 = 1.5 \cdot p \quad x = 0.5 \quad z = x \cdot y = 0.5 \cdot 0.2913 = 0.15 \rightarrow +14.57 \% > 13.5 \% \text{ (Tabla 4.6)} \rightarrow R < 0$$

$$P_4 = 1.2 \cdot p \quad x = 0.2 \quad z = x \cdot y = 0.2 \cdot 0.2913 = 0.06 \rightarrow +5.83 \% < 13.5 \% \text{ (Tabla 4.6)} \rightarrow R > 0$$

Caso de Ryanair ($z = x \cdot y$):

$$P_3 = 1.5 \cdot p \quad x = 0.5 \quad z = x \cdot y = 0.5 \cdot 0.4553 = 0.23 \rightarrow +22.77 \% > 16.15 \% \text{ (Tabla 4.6)} \rightarrow R < 0$$

$$P_4 = 1.2 \cdot p \quad x = 0.2 \quad z = x \cdot y = 0.2 \cdot 0.4553 = 0.09 \rightarrow +9.11 \% < 16.15 \% \text{ (Tabla 4.6)} \rightarrow R > 0$$

En el caso de IAG, el margen para incrementar el CASK es ligeramente inferior al de 2019 (+13,5% frente al 14,7%). Esto significa que con cifras de 2023, un precio del SAF de 1,5 veces el precio actual del queroseno generaría pérdidas para IAG, a diferencia del caso de 2019 (véase la Figura 4.7). Esto se debe principalmente al incremento del coste del combustible relacionado con los OEs de 2023 frente a 2019. El precio del SAF de 1,2 veces admite beneficios.

En el caso de Ryanair, el margen para incrementar el CASK es ligeramente superior al margen de 2019 (+16,15% frente al 14,5%). Sin embargo, como se ha mostrado anteriormente en las cifras de 2019, un precio del SAF de 1,5 veces el precio actual del combustible es inasumible; solo se admite un precio de 1,2 (véase la Figura 4.7).

En resumen, las cifras preliminares de 2023, incluso con los resultados mejorados respecto a 2019, muestran un escenario similar o peor que los de 2019 en lo que respecta a los precios del SAF considerados.

5. Discusión

5.1 Problemas en las compañías aéreas establecidas

Algunas compañías aéreas tradicionales no contrarrestaron el impacto del nuevo entorno competitivo, y en particular el de los LCCs. Su efecto provocó pérdida de cuota de mercado, reducción o pérdida de rentabilidad e impacto en la cuenta de resultados, poniendo en cuestión su propia supervivencia.

Algunas compañías aéreas han desaparecido o han sido absorbidas no tanto por la fortaleza de sus nuevos competidores sino por sus propias debilidades, sobre todo conceptuales. Al no utilizar la curva de *break-even*, no fueron identificaron con la prontitud necesaria sus debilidades, su vulnerabilidad y mucho menos identificaron las acciones para remediarlas. Algunas compañías aéreas tradicionales no visualizaron su curva de *break-even* en relación con la de sus competidores para reubicarse y recuperar la zona de resultados positivos. Ante cambios imprevistos y adversos, no saber puede ser devastador.

Quizá por prestar más atención a los procedimientos y a los hechos, algunas compañías aéreas tradicionales descuidaron el concepto de negocio, en cuyo caso sería una de las razones de su crisis y desaparición. También habría ocurrido que la velocidad de la competencia era más rápida que su velocidad de cambio. Algunas compañías aéreas tradicionales no tenían el cambio en mente ni mentalidad de cambio.

Tal vez algunas compañías aéreas tradicionales no prestaron suficiente atención al entorno de cambio previsible en la regulación del transporte aéreo, que llegó por sorpresa debido a la complacencia. La complacencia es uno de los mayores obstáculos cuando se trata de defenderse de los competidores (Porter, 1985).

5.2 Las soluciones

Las soluciones pasan por conocer a fondo y en profundidad el concepto de negocio de las compañías aéreas basado en la curva de *break-even*. En la discusión de las ecuaciones de negocio existen suficientes elementos de gestión (recordamos: la propia curva de *break-even*, el *Business Performance Indicator*, la descripción del comportamiento de negocio de una compañía aérea y su relación con los competidores y el mercado, la relación de incrementos entre las variables de negocio para conocer sus límites de actuación y obtener resultados positivos) cuya aplicación ilustra lo que se debe hacer, facilitando las decisiones a tomar y su porqué, con la solidez del fundamento conceptual. El desconocimiento del concepto de negocio impide ver la necesidad de cambiar la curva de *break-even* y el modelo de gestión.

Cambiar la curva de *break-even* a posiciones inferiores implica reducir el coste unitario. Esto supone todo un replanteamiento estructural de costes a nivel global y conseguir una mayor eficiencia de forma significativa. Exige toda una reingeniería de procesos. Lo más probable es que no sea un cambio dentro del sistema sino un cambio de sistema, romper moldes quizá. No es una reforma, sino una transformación, es cambiar la estructura con la que se opera. Se requiere capacidad de liderazgo para persuadir y convencer de la necesidad y virtud del cambio en una compañía aérea. Es en tiempos difíciles cuando el

liderazgo es más necesario, más importante y visible (Goleman, 2000 and Kotter, 1988). También se requieren conocimientos de gestión del cambio (Bridges, 2007).

Los mejores resultados confirman que es necesario poner el foco en la reducción de costes como valor esencial de una compañía aérea. La experiencia confirma que puede ser todo un cambio cultural. La idea cultural de valor puede ser mucho más potente e inspiradora que un objetivo en sí mismo. Se trata de conseguir una cadena de valor mejor y más eficiente que la de los competidores (Porter, 1985).

La cadena de valor está formada por las diferentes actividades de valor de la compañía aérea, que a su vez están formadas por diferentes *drivers* de costes (Porter, 1985). Las actividades de valor son interdependientes y están relacionadas entre sí dentro de la cadena de valor. Sus relaciones afectan a cada una de las demás actividades de valor. El coste y el comportamiento de una actividad de valor pueden influir en la efectividad de otras actividades de valor dentro de la cadena de valor (Porter, 1985). Es un enfoque sistémico (von Bertalanffy, 1968).

Para considerar la variación del coste de una actividad de valor, utilizamos una analogía matemática en términos conceptuales.

5.2.1 Analogía matemática en derivadas parciales

Sea C_{av} la función de coste de una actividad de valor genérico, en función de varias variables de coste (x, y, z, \dots). Es decir:

$$C_{av} = f(x, y, z, \dots)$$

La variación diferencial total del coste de la actividad de valor sería:

$$dC_{av} = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial z} dz + \dots$$

La misma analogía matemática se puede aplicar a la cadena de valor de varias actividades a_1, a_2, a_3, \dots . Esto es:

$$C_{cv} = F(a_1, a_2, a_3, \dots)$$

En ese caso, el coste diferencial de la cadena de valor sería:

$$dC_{cv} = \frac{\partial F}{\partial a_1} da_1 + \frac{\partial F}{\partial a_2} da_2 + \frac{\partial F}{\partial a_3} da_3 + \dots$$

Los costes de interrelación entre las actividades de valor se obtienen mediante las segundas derivadas parciales cruzadas en relación con las actividades de valor. Es decir:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial a_1 \partial a_2}, \quad \frac{\partial^2 F}{\partial a_1 \partial a_3}, \quad \frac{\partial^2 F}{\partial a_2 \partial a_3}, \dots$$

En general, para el coste de las interacciones entre actividades es suficiente hasta la segunda derivada (se puede seguir si es posible). En este caso, la ley de Schwartz sobre las segundas derivadas parciales cruzadas puede no cumplirse. Es decir:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial a_1 \partial a_2} \neq \frac{\partial^2 F}{\partial a_2 \partial a_1}$$

En términos diferenciales, suele ser:

$$\lim_{(dx,dy) \rightarrow (0,0)} dx dy = 0$$

Sin embargo, en el caso real de una compañía aérea (y de cualquier empresa), los términos diferenciales deben considerarse como incrementos discretos, donde $\Delta x \cdot \Delta y \neq 0$.

Para afrontar con éxito los retos futuros de la industria, además de la importancia del concepto de negocio definido, el factor humano seguirá siendo crucial para proporcionar una buena experiencia al cliente. El producto de la industria del transporte aéreo es un producto de proximidad.

Un ejemplo de cambio se encuentra en Iberia (compañía de red). En 2009, Iberia atravesaba un momento muy complicado y conflictivo, con pérdidas superiores a los 400 millones de euros (Iberia, 2009), y su continuidad estaba en riesgo. Sin embargo, Iberia supo reinventarse y cambiar. Iberia rompió moldes y dio un salto cualitativo solucionando el conflicto y generando impulso. Dio la vuelta a sus resultados y recuperó la calidad y el entusiasmo. Durante el proceso de cambio, los empleados, de forma espontánea y voluntaria, lucieron una pegatina con un corazón en la solapa. En 2019 (antes de la pandemia), Iberia había conseguido reducir su coste unitario casi un 22% en términos reales, alcanzando unos resultados positivos cercanos a los 500 millones de euros (Iberia, 2019). Iberia consiguió hacer bailar al elefante. Y volvió a crecer. Iberia incorporó el valor del cambio a sus valores fundamentales de empresa.

5.3 Unir el mundo de los conceptos con el mundo de las cosas

La sabiduría pasa por saber unir el mundo de los conceptos con el mundo de las cosas. Por eso los aviones no se caen, los puentes no se caen, la medicina cura enfermedades: aviones, puentes y medicina funcionan porque están concebidos sobre la base de unir el mundo de los conceptos con el mundo de las cosas.

Dejarse llevar sólo por la apariencia de los hechos puede dar lugar a una percepción superficial de la realidad, una ‘realidad ingenua’ sin fundamento conceptual (Russell, 1940). En cuyo caso puede inducir a tomar decisiones con más voluntad que entendimiento. La fortaleza del concepto proporciona el fundamento, da solidez a la mirada con la amplitud requerida.

Por ejemplo, el coste unitario total de una compañía aérea de red que opera corto, medio y largo radio puede ser inadecuado si se utiliza para compararlo con el corto y medio radio de un LCC. Comparar costes unitarios entre compañías aéreas con diferente longitud de etapa y sacar conclusiones puede ser una realidad ingenua porque, como ya se ha visto, el coste unitario del largo radio es diferente al del corto y medio radio. Así, cuando algún estudio (KPMG, 2013) afirma que las compañías aéreas de red están cerrando la brecha de costes respecto a los LCCs, quizá sea cierto en números pero es una comparación no homogénea al mezclar longitudes de etapa de largo radio con las de corto y medio radio, lo cual puede conducir a conclusiones incompletas.

Los problemas de algunas compañías aéreas surgieron por no unir el mundo de los conceptos con el mundo de las cosas. Y en algún caso mostraron falta de capacidad de liderazgo para mover todo el conjunto de la compañía aérea hacia las soluciones, y falta de conocimiento sobre cómo gestionar el cambio para implantarlo (Kotter, 2012).

El mundo de los conceptos proporciona consistencia y explica el funcionamiento de las cosas. Además, ilustra soluciones cuando las cosas no funcionan como es debido, esto es, el conocimiento conceptual como fuente de soluciones.

Unir el mundo de los conceptos con el mundo de las cosas representa un esfuerzo de dimensiones humanas, es virtuoso y potente. A través de los conceptos se puede llegar a la realidad de las cosas, como confirma la experiencia. En unos comentarios de Albert Einstein sobre la teoría del conocimiento de Bertrand Russell, Einstein habla del conocimiento de las cosas a través de los conceptos (Einstein, 2011).

5.4 Concepto de negocio vs. naturaleza del negocio

El concepto de negocio se refiere al funcionamiento del negocio y su comportamiento, sus métricas, es su BPI. Expresa propiedades que reflejan su estructura, sus cambios, pero no explica la naturaleza del negocio, que es algo relacionado pero diferente.

La naturaleza del negocio tiene que ver con el concepto de transporte, modo aéreo, esto es: conectar el mundo, unir personas de forma segura, rentable y sostenible, a alta velocidad (diferencia principal con otros modos de transporte). La naturaleza del negocio tiene que ver con la cultura y el concepto de la compañía aérea como empresa, con su modelo de negocio (compañías de red, LCCs, hibridación, chárter, etc.). Tiene que ver con la actitud de las personas en sus relaciones profesionales externas e internas, con la calidad de servicio, con el producto y su valor, con la capacidad de respuesta técnica y emocional cuando surgen problemas; tiene que ver con la eficiencia, la fiabilidad de despacho, la seguridad de vuelo, la puntualidad, el confort en cabina, la reputación del producto/servicio, la imagen de marca (*branding*), la conectividad y sus tiempos de escala; tiene que ver con las estrategias comerciales, con los canales de distribución *on-line*, los códigos compartidos con otras compañías aéreas, las alianzas estratégicas, la conveniencia de horarios y frecuencia de vuelos, los sistemas de fidelización de clientes (*Customer Relationship Management*, CRM); tiene que ver con las ecuaciones operativas (*performance*, ecuaciones de Breguet) según diferentes criterios (*máximo range*, *long range*, mínimo consumo, atenuación de ruidos, etc.); tiene que ver con la comodidad del vuelo, el trabajo en equipo, la orientación a resultados, etc., incluyendo también *soft skills* como empatía, comunicación, entusiasmo, saber escuchar, proximidad, actitud positiva, evocar emociones positivas en los clientes y acrecentar su sentido de lealtad, crear y transmitir confianza.

Y por supuesto, también están todos los demás elementos básicos: disponer de una flota adecuada, de moderna tecnología y respetuosa con el medio ambiente, sostenible (cero emisiones netas de carbono en 2050), *state of the art*. Y también una estructura financiera sólida, con capacidad para entornos adversos u oscilantes junto con deuda mínima, ligera y asumible sin riesgos.

Todo lo cual conforma la maquinaria necesaria para satisfacer los requisitos del concepto de negocio, estar situados en la zona de resultados positivos y duraderos. La misión es hacer un buen transporte aéreo para el mundo, ser una buena compañía aérea para el mundo, contribuir a que el planeta tenga dimensiones humanas. Volar para crear

valor. El concepto de negocio puede orientar y dar forma al modelo de negocio de la compañía aérea.

5.5 Efecto de las nuevas regulaciones medioambientales

La curva de *break-even*, además de evaluar la posición competitiva entre compañías aéreas bajo cualquier condición, también proporciona un método novedoso y racional para determinar con precisión el impacto del SAF en los resultados de negocio de las compañías aéreas, considerando varios escenarios. Al incluir el SAF en el avión, los resultados muestran que, en el caso de 100% SAF (cifras de 2019), un precio ligeramente superior a 1,5p está cerca de alcanzar el punto de *break-even* para IAG (compañía de red) y muy por encima del punto de *break-even* para Ryanair (LCC), lo cual hace que 1,5p sea inasumible para los LCCs. Esta metodología ilustra que el impacto de los aumentos de precio del combustible debido al SAF es mayor para los LCCs que para las compañías aéreas de red, lo cual puede perjudicar al turismo. Todo esto podría tener dos efectos:

1. Proporcionar una ventaja competitiva a las compañías aéreas de red en su segmento de corto y medio radio respecto a los LCCs, debido a que el intervalo de tarifas de las compañías de red es más amplio que el de los LCCs.
2. Se podría producir algún impacto en la industria turística, muy sensible a las tarifas, si los LCCs intentaran transferir a los pasajeros el incremento de precio del combustible. La demanda podría disminuir debido a su elasticidad.

En el caso de la mezcla de SAF según el mandato de la UE, el impacto general en el coste es obviamente menor que el del 100 % SAF en avión, pero las diferencias relativas entre compañías aéreas de red y los LCCs se mantienen. En ambos casos, el precio de 2p del SAF es inasumible sin una importante alteración de tarifas y demanda.

6. Conclusiones

6.1 El reto del cambio

El modelo matemático de gestión del negocio es un sólido modelo basado en la potencia de las matemáticas. Revela que la ecuación de *break-even* y su curva asociada son una herramienta poderosa para describir el comportamiento de negocio de cualquier compañía aérea, aplicable para todas las condiciones de contorno y para todos los modelos de gestión. La curva de *break-even* define el concepto de negocio de una compañía aérea y proporciona una visión clara de su rendimiento comercial. Permite ver con prontitud dónde se encuentra la compañía aérea en relación con sus competidores y el mercado, y dónde debería estar, lo cual facilita las decisiones a tomar (si fuera el caso). La curva de *break-even* también es una herramienta útil para determinar las razones por las que algunas compañías aéreas han tenido éxito o han fracasado. Este estudio revela que la curva de *break-even* se convierte en un elemento clave para gestionar una compañía aérea de manera adecuada y eficiente.

Un reto del cambio es mover la curva de *break-even* hacia niveles inferiores, de menor coste unitario, dónde debería ubicarse la compañía aérea. Por ejemplo, se considera una compañía aérea A (Figura 6.1) operando en su zona de confort comercial (círculo verde). Supongamos que un competidor C aparece con una curva de *break-even* por debajo de la de A (menor coste unitario) y con una zona comercial (círculo azul) con tarifas inferiores (menor *yield*) y mayor LF, que es la realidad de lo que ocurrió tras la liberalización del transporte aéreo. Esto indica que la compañía aérea A, si quiere sobrevivir, debe resituarse su curva de *break-even* hacia la de C (flecha verde), salir de su zona de confort comercial donde ya no está el mercado y moverla a la zona comercial de C (flecha azul), donde ahora se encuentra el mercado. Esta zona de mercado normalmente es una zona de producto *commodity*, donde la demanda es más sensible al precio que a la fidelidad de la compañía aérea.

Una vez que la curva de equilibrio de la compañía aérea A se ha trasladado a la posición de C, la compañía A puede añadir al producto *commodity* un nuevo producto tipo *business*, diferenciado y superior (*premium*), con mayor *yield* y menor LF, siempre que esté por encima de su nueva curva de equilibrio.

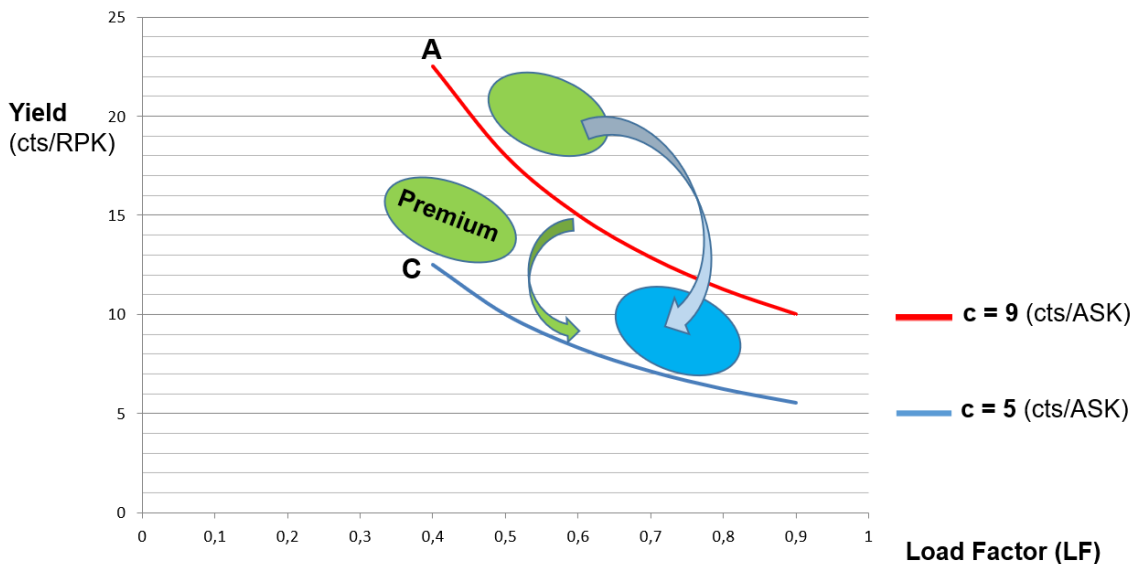


Figura 6.1 Cambios estratégicos de una compañía aérea A, frente a un competidor C de menor coste: desplazar la curva de equilibrio hacia la de C (flecha verde), y desplazar la zona comercial (flecha azul). Además, se puede añadir un producto *premium*.

En resumen, conociendo el concepto de negocio y teniendo la capacidad de liderazgo para el cambio, el reto del cambio se resume en la Figura 6.1.

6.2 Síntesis final

En tiempos de incertidumbre y turbulencia como los actuales, con cambios rápidos y continuos, es necesario distinguir lo que no cambia (lo básico, el concepto de negocio) de lo que debe cambiar.

En síntesis, los problemas por los que algunas compañías aéreas han desaparecido o han sido absorbidas se pueden resumir en dos:

1. No fueron conscientes de la curva de *break-even*, que es el indicador de los cambios necesarios. Les faltó conocimiento conceptual del negocio y capacidad de reacción, sin saber qué hacer y cómo hacerlo. No lo supieron hacer o no lo pudieron hacer.
2. Si supieron ver lo que hacer, faltó capacidad de liderazgo y gestión para saber cómo hacerlo. No tuvieron capacidad de liderazgo para diseñar, persuadir y convencer sobre la necesidad del cambio y su implantación.

Es decir, falta de conocimiento para visualizar dónde debería estar la compañía aérea (reubicarla, reposicionarla) y falta de liderazgo para llevarlo a cabo.

En consecuencia, la solución consiste en tener un profundo conocimiento del concepto de negocio de una compañía aérea. Es necesario saber lo que no cambia e ilustra lo que debe cambiar. Reubicar la curva de *break-even*, con todas sus implicaciones en el modelo de gestión (reestructuración de costes, cambio cultural, etc.), y saber unir el mundo de los conceptos con el mundo de las cosas en su doble vertiente: saber lo que hay que hacer (conocimiento del negocio) y saberlo implantar (liderazgo).

6.3 Aplicación al caso de implantación del SAF

El impacto del precio del SAF en los costes de diferentes compañías aéreas muestra que un precio superior a 1,5p (incremento del 50%) es inasumible para muchas compañías aéreas, a menos que sea posible transferir el incremento de precio a las tarifas, en particular para los LCCs. En el caso del mandato de la UE, un precio de combustible de 1,5p es posible para algunas compañías aéreas, incluidos algunos LCCs. Si es necesario, se puede hacer un mayor esfuerzo de precisión para cada caso particular aplicando la metodología descrita.

La solución obvia de reducir el CASK y aumentar las tarifas es más fácil de decir que de hacer. La industria del transporte aéreo actual está a la vanguardia de la competitividad, con un nivel de eficiencia muy elevado. Su margen de mejora es pequeño y menor que el incremento del SAF alrededor de 1,5p. Aumentar tarifas para transferir el incremento del precio de combustible a los pasajeros puede resultar muy difícil, ya que las tarifas se fijan según las condiciones del mercado, lo cual está fuera del control de las compañías aéreas en la mayoría de los casos. Además, puede ser necesario realizar una investigación sobre la elasticidad de la demanda para evaluar el impacto del incremento de tarifas en su comportamiento.

La curva de *break-even* es un indicador de los límites que no se deben cruzar, mostrando los márgenes de beneficio entre la curva de *break-even* rentable actual (2019) y la de $R = 0$, donde cualquier aumento en el precio del SAF debería situarse antes de llegar a $R = 0$. La curva de *break-even* correspondiente a beneficios es la línea de flotación que las compañías aéreas calculan para realizar un seguimiento de su rentabilidad y continuidad. Su objetivo es mantener el CASK bajo control y casi constante en términos corrientes a lo largo de los años en un entorno altamente competitivo.

Esto proporciona una base sólida y convincente ante las Autoridades de Regulación Medioambiental, demostrando que el impacto del incremento en el coste del combustible tiene sus limitaciones para mantener una compañía aérea operativa. Cada compañía aérea puede hacer su propia demostración ante las Autoridades de Regulación Medioambiental mostrando hechos y cifras. La continuidad es una necesidad tanto para la industria del transporte aéreo como para la sociedad, y la curva de equilibrio es un límite, con una línea roja que no se debe traspasar. La investigación científica y los esfuerzos tecnológicos deben abordar el desafío de reducir el coste del combustible para aviones tanto como sea posible. El objetivo de cero emisiones netas de carbono es un desafío apasionante para la industria del transporte aéreo con el objetivo de preservar el planeta, conectar el mundo con energía limpia.

Esta tesis ofrece información útil para compañías aéreas, para académicos y profesionales relacionados con la gestión de compañías aéreas, así como para instituciones relacionadas con el transporte aéreo (OACI, IATA). Para los académicos, proporciona una base sólida para aprender y desarrollar el concepto de negocio de compañías aéreas y aplicarlo en el mundo real de la industria aérea. Proporciona la solidez de los conceptos en los que basar la actividad empresarial. Para los profesionales de la gestión de compañías aéreas, esta investigación muestra cuáles son los problemas, dónde están y cómo resolverlos aplicando el concepto de *break-even*, dónde ir y cómo llegar. Proporciona conceptos

sólidos como base para unir el mundo de los conceptos con el mundo de las cosas, las razones para hacer las cosas y tomar decisiones. Esto permite una gestión adecuada de la industria del transporte aéreo, exitosa y rentable para los clientes y para las compañías aéreas. Unir el mundo de los conceptos con el mundo de las cosas es clave para obtener resultados buenos y duraderos.

6.4 Campos de investigación adicional

- Evaluar la curva *break-even* para corto y medio radio en comparación con la de largo radio.
- En el caso de las compañías aéreas de red, evaluar la contribución recíproca de las operaciones de corto y medio radio y de largo radio a los resultados globales de la compañía aérea. Determinar cómo estos resultados pueden variar según las diferentes contribuciones de ambas redes. Evaluar su respectivo impacto debido al precio del SAF.
- Impacto de una posible limitación de las operaciones de corto y medio radio con el fin de reducir las emisiones de carbono (ya implantada en Francia) para alimentar la red de largo radio, y su efecto en los resultados globales.
- Considerando el coste de las actividades y la cadena de valor, determinar las magnitudes de cada una de ellas para conocer posibles solapes y redundancias entre las actividades de valor, y cuáles pueden ser prescindibles.
- Actualización del impacto debido al precio del SAF para los resultados de negocio consolidados de 2023, ya que se trata de un sistema dinámico.
- Posibles limitaciones resultantes de diferentes políticas de implantación del SAF en los diferentes Estados, considerando una competencia justa entre las compañías aéreas afectadas.
- Desarrollo de la tecnología SAF y su relación con la disponibilidad de SAF y la política regulatoria.
- Estudio de diferentes escenarios del impacto en las tarifas por aumento del coste del SAF, considerando la elasticidad de la demanda que pudiera aplicarse.

6.5 Aplicación a otras industrias

El concepto de negocio y la unión del mundo de los conceptos con el mundo de las cosas se ha descrito para la industria del transporte aéreo pero también es aplicable y puede ser de utilidad a otras industrias y organizaciones, públicas y privadas.

Como casos particulares, la ecuación de resultados (1) se puede aplicar directamente a otros modos de transporte; y también es aplicable al sector hotelero, en cuyo caso el ASK debe sustituirse por habitación día disponible y el RPK por el ingreso por habitación día ocupada.

Definir el concepto de negocio de una empresa puede no ser trivial pero es inspirador y factible, representa un esfuerzo intelectual de dimensiones humanas. Y es aplicable a todo tipo de industrias y organizaciones. Para definir el concepto de negocio es muy útil contar con la participación del equipo directivo y también con personas de otros niveles, multidisciplinares. Definir el concepto de negocio incluye identificar lo que no cambia y lo que debe cambiar y, si es posible, identificar el valor de lo que no cambia que, además,

ilustra lo que debe cambiar. Si nos preguntamos cuál es el concepto de negocio, surgirán muchas respuestas, veremos nuevas cosas, quizá cambios de punto de vista, es enriquecedor. La unión del mundo de los conceptos con el mundo de las cosas permite ver muchas más cosas en las mismas cosas.

Una vez definido el concepto de negocio, comunicarlo con claridad a toda la empresa para que sea la referencia básica, el entendimiento común. Formular el concepto de negocio es luminoso y su aplicación es potente, proporciona seguridad y confianza, la virtud del saber hacer.

REFERENCIAS

- Anderson, P.W. (1972), *More is different*. Science, 1972, Vol. 177, No. 4047, August, 393-396.
- ATAG (2023), *Air Transport Action Group*, April 2023. [Consulta: 19-03-2024]. Disponible en: [atag-beginners-guide-to-saf-edition-2023.pdf](#).
- Aviaco (1992), Aviaco Informe anual 1992.
- Benito, A. and Alonso, G. (2018), *Energy efficiency in Air Transportation*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2018. ISBN-13: 978-0128125816.
- Bertalanffy, L. von (1968). *General System Theory*. New York: George Braziller, 1968. ISBN-13: 978-0807600153.
- Bridges, W. (2013), *Leading Transition: A New Model for Change*. 2013. [Consulta: 12-05-2023]. Disponible en: <http://www.crowe-associates.co.uk/wp-content/uploads/2013/08/WilliamBridgesTransitionandChangeModel.pdf>.
- British Airways (2019), IAG Annual Report, 2019. [Consulta: 02-05-2023]. Disponible en: <https://www.iairgroup.com/en/newsroom/press-releases/newsroom-listing/2020/financial-results-2019>.
- Debyser, A. (2023), *Air transport: market rules*, 2023. [Consulta: 19-03-2024]. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/131/air-transport-market-rules>.
- EASA (2022), European Union Aviation Safety Agency, *Current landscape and future of SAF industry*, 2022. [Consulta: 19-03-2024]. Disponible en : <https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/sustainable-aviation-fuels/current-landscape-future-saf-industry>.
- EasyJet (2019), easyJet 2019 Annual Report. [Consulta: 02-05-2023]. Disponible en: https://corporate.easyjet.com/~/_media/Files/E/Easyjet/pdf/investors/results-centre/2019/eas040-annual-report-2019-web.pdf.
- Einstein, A. (2011), *Mis ideas y opiniones*. Barcelona: Antoni Bosch, editor, 2011. ISBN: 978-84-95348-59-3.
- FAA (2024), US Federal Aviation Administration, *Next Generation Air Transportation System (NextGen)*, Annual Report, Fiscal Year 2021. [Consulta: 17-06-2024]. Disponible en: <https://www.faa.gov/nextgen>.
- Grimme, W. (2023), *The introduction of SAF – A discussion of challenges, options and alternatives*. Aerospace, 2023, Vol 10, issue 3, 218.
- Gillen, D., et al. (2008), *Airlines within airlines: Assessing the vulnerabilities of mixing business models*. Research in Transportation Economics, 2008, 24, 25-35.
- Goleman, D. (2000), *Leadership That Gets Results*. Harvard Business Review, 2000 March/ April 17-28.
- IAG (2019), IAG 2019 Annual Report. [Consulta: 02-05-2023]. Disponible en : <https://www.iairgroup.com/en/newsroom/press-releases/newsroom-listing/2020/financial-results-2019>.
- IAG (2023/1), IAG investment on SAF [consulta 26-03-2024]. Disponible en: <https://www.novapangaea.com/2023/07/24/international-airlines-group-announces-investment-into-nova-pangaea-technologies-to-drive-uk-sourced-sustainable-aviation-fuel/> (accessed 26 March 2024).
- IAG (2023/2), IAG 2023 Annual Report [consulta 26-03-2024]. Disponible en: <https://www.iairgroup.com/media/ssuhidf1/iag-annual-report-and-accounts-2023.pdf>.
- IATA (2022), *Economics' chart*, December 2022. [Consulta: 26-03-2024]. Disponible en: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/2023-to-bring-further-pax-recovery-but-softer-cargo/>.
- IATA (2023), *Operations Net Zero Roadmap*, IATA Roadmaps. [Consulta: 17-06-2024]. Disponible en: <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/operations-net-zero-roadmap.pdf>.
- IATA et al. (2024), *Aviation Net-Zero CO₂ transition pathways comparative review* (in collaboration with Air Transport Systems Lab, ATAG, ICCT and Mission Possible Partnership). [Consulta: 17-06-2024]. Disponible en: <https://www.iata.org/en/pressroom/2024-releases/2024-04-17-01/>.

- Iberia (1992), *Iberia Informe anual 1992*.
- Iberia (2009), Informe anual 2010. [Consulta: 12-05-2023]. Disponible en : http://media.corporate-ir.net/media_files/IROL/24/240949/Informe_Anual_2010.pdf.
- Iberia (2019), IAG 2019 Annual Report. [Consulta: 02-05-2023]. Disponible en: <https://www.iairgroup.com/en/newsroom/press-releases/newsroom-listing/2020/financial-results-2019>.
- James, G.W. (1982), *Airline Economics*. Lexington, Massachusetts: Lexington Books, D.C. Heath and Company, 1982, pp. 57-85. ISBN: 0-669-04909-3.
- Jaume, J., Alonso, G. y Benito, A. (2024), EASN: European Aeronautics Science Network, 13th EASN International Conference, University of Salerno, Salerno, Italy, 5-8 September 2023. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology Journal*, Special issue: *Evaluating the impact of the new environmental regulations on airlines' business results*.
- McKenney (1987), Professor of *Management Systems*. Harvard Business School, Boston 1987.
- McKinsey (2023), *Decarbonizing aviation: Executing on net-zero goals*, June 2023. [Consulta: 17-07-2024]. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/decarbonizing-aviation-executing-on-net-zero-goals>.
- Kotter, J.P. (1988), *The Leadership Factor*. New York: The Free Press, 1988. ISBN: 0-02-918331-6.
- Kotter, J.P. (2012), *Leading Change*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press, 2012, pp.3-34. ISBN: 978-84-96627-24-6.
- KPMG (2013), *Airline Disclosures Handbook*. KPMG International, 2013, Switzerland. [Consulta: 12-05-2023]. Disponible en: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/cl/pdf/2013-02-kpmg-chile-audit-ifs-revelacion-ilustrativa-aerolinea.pdf>.
- Meyer, J.R., et al. (1981), *Airline Deregulation. The Early Experience*. Boston, Massachusetts: Auburn House Publishing Company, 1981, pp. 71-72, 89-90, 115-118. ISBN: 0-86569-078-2.
- Meyer, J.R., et al. (1984), *Deregulation and the New Airline Entrepreneurs*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1984, pp. 3-9. ISBN: 0-262-13198-6.
- Meyer, J.R., et al. (1987) *Deregulation and the Future of Intercity Passenger Travel*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1987, pp. 39-41, 55-58, 80-82, 124. ISBN 0-262-13225-7.
- Moir, L. et al. (2018), *A quantitative means of comparing competitive advantage among airlines with heterogeneous business models: Analysis of U.S. airlines*, *Journal of Air Transport Management*. 2018, 69, pp. 72-82.
- Nash, J.F. (1968/1995), *Arc structure of singularities*. Princeton University (1968). A celebration of John F. Nash, Jr. *Duke Mathematical Journal*, 1995, 81-1, 31-38.
- Norwegian (2019), Norwegian 2019 Annual report. [Consulta: 12-05-2023]. Disponible en: <https://www.norwegian.com/globalassets/ip/documents/about-us/company/investor-relations/reports-and-presentations/annual-reports/annual-report-norwegian-2019.pdf>.
- OACI (2014), *Operational Opportunities to Reduce Fuel Burn and Emissions* (Doc 10013). [Consulta: 17-06-2024]. Disponible en: <https://store.icao.int/en/operational-opportunities-to-reduce-fuel-burn-and-emissions-doc-10013>.
- OACI (2016), *Air transport liberalization and the economic development of the countries*, 2016. [Consulta: 25-03-2024]. Disponible en: [Air transport liberalization and the economic development \(icao.int\)](https://www.icao.int/publications/free-on-demand/PublicationLibrary/Air-transport-liberalization-and-the-economic-development-of-the-countries).
- OACI (2019), *2019 Annual Report of the Council*. [Consulta: 19-03-2024]. Disponible en: <https://www.icao.int/annual-report-2019/Pages/the-world-of-air-transport-in-2019.aspx>.
- OACI (2022/1), ICAO 41 Assembly Resolution A41-21. *Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Climate Change*. October 2022.
- OACI (2022/2), *Report on the feasibility of a Long-term Aspirational Goal (LTAG) for International Civil Aviation CO₂ Emissions Reductions*. Environmental Report 2022. [Consulta: 17-06-2024]. Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/REPORT%20ON%20THE%20FEASIBILITY%20OF%20A%20LONG-TERM%20ASPIRATIONAL%20GOAL> en.pdf.
- OACI (2024), *Passenger air traffic surpasses pre-pandemic levels*. [Consulta: 19-03-2024]. Disponible en : <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/Passenger-air-traffic-surpasses-pre-pandemic-levels.aspx>.

- Oesingmann, K. (2023), *The economic impacts of EU climate policies on intra-European Aviation*, EBES (European Business and Economics Perspectives) July 2023, pp. 443-452.
- Pagoni, I. and Psaraki-Kalouptsidi, V. (2016), *The impact of carbon emission fees on passenger demand and air fares: A game theoretic approach*. Journal of Air Transport Management, 2016, 55, pp.41-51.
- Pe Pereira, M. (2013), *Nash problem for quotient surface singularities*. Journal of the London Mathematical Society, 2013, 87-1, 177-203.
- Pearson, J., et al. (2015), *The strategic capability of Asian network airlines to compete with low-cost carriers*. Journal of Air Transport Management, 2015, 47, 1–10.
- Pereira, B. A. et al. (2022) *Technology trajectory in aviation: Innovations leading to value creation 2000-2019*. International Journal of Innovation Studies, Vol. 6, Issue 3, September 2022, pp. 128-141.
- Petit, M.V. (2013), *El acceso al mercado de transporte aéreo en el ámbito europeo*. VLex 2013. España.
- Porter, M.E. (1985), *Competitive Advantage*. New York: The Free Press, 1985, pp. 14, 33-70, 512. ISBN: 0-02-925090-0.
- Porter, M.E. (1996), *What is strategy?* Harvard Business Review, November/December 1996, 61-78.
- Quevedo, F. (1648), *A Roma sepultada en sus ruinas*. (Obras completas en verso). Madrid: Aguilar, 1943. ISBN: 8403009828.
- Quintana, I. (1988), *La aplicación de las reglas de la competencia del Tratado de Roma a la fijación de tarifas en los transportes aéreos*. Revista de Instituciones Europeas. N.º 15, enero/abril 1988.
- Russell, B. (1940). *An Inquiry into Meaning and Truth*. London: Routledge, 1940. ISBN-13: 978-0415136006.
- Ryanair (2019), Ryanair 2019 Annual Report, March. [Consulta: 12-05-2023]. Disponible en: <https://investor.ryanair.com/wp-content/uploads/2019/07/Ryanair-2019-Annual-Report.pdf>.
- Ryanair (2020), Ryanair 2020 Annual Report. [Consulta: 20-03-2024]. Disponible en: <https://investor.ryanair.com/wp-content/uploads/2020/07/Ryanair-20-F-2020.pdf>.
- Ryanair (2023), Ryanair 2023 Annual Report. [Consulta: 20-03-2024]. Disponible en: <https://investor.ryanair.com/wp-content/uploads/2023/07/Ryanair-2023-Annual-Report.pdf>.
- Ryanair (Q3 2023), April – December 2023 Financial Statements. [Consulta: 20-03-2024]. Disponible en: <https://investor.ryanair.com/wp-content/uploads/2024/01/Ryanair-Q3-FY24-Results.pdf>.
- Shakespeare, W. (1623), *The Tempest*. Oxford: Oxford University Press (1988/91).
- SESAR (2024), SESAR Joint Undertaking. [Consulta: 16-06-2024]. Disponible en: <https://www.sesarju.eu/>.
- Southwest Airlines (2019), Southwest 2019 Annual Report.
- Statista (2023/1), Statista 2023. [Consulta: 12-05-2023]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1118397/air-passenger-transport-european-union/>.
- Statista (2023/2), Statista 2023. [Consulta: 12-05-2023]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1117218/low-cost-carrier-market-share-europe/>.
- UE (2023/1), EU fit for 55, *Commission welcomes completion of key 'Fit for 55' legislation, putting EU on track to exceed 2030 targets*. [Consulta: 19-03-2024]. Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_4754
- UE (2023/2), PE-CONS 29/23 *Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport (ReFuelEU Aviation)*. 20 September 2023.
- UE (2023/3), *European Union Mobility and Transport – Air*. [Consulta: 20-03-2024]. Disponible en: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air_en.
- Virgin Atlantic (2019), Virgin Atlantic 2019 Annual Report. [Consulta: 12-05-2012]. Disponible en: https://flywith.virginatlantic.com/content/dam/corporate/Virgin%20Atlantic%20Annual%20Report%202019_Final.pdf.
- Watson, M. J. et al. (2024), *Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies and markets: a critical review*, Journal of Cleaner Production, Vol. 449, April 2024, 141472.