



Libro de Actas

7-9 de octubre de 2015

Universitat Politècnica de Catalunya
BarcelonaTech (ETSEIAT)

RIDITA 2015

V Congreso Internacional de la
Red Iberoamericana de Investigación en
Transporte Aéreo



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

OmniaScience

V Congreso Internacional
de la Red Iberoamericana
de Investigación
en Transporte Aéreo

RIDITA2015

Terrassa, Barcelona, Octubre, 7-9, 2015

1ra edició © 2015 OmniaScience (Omnia Publisher SL)

www.omniascience.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/ridita15>

ISBN: 978-84-944229-7-3

© Diseño cubierta: OmniaScience

© Imagen de cubierta: © DouDou - Fotolia.com y OmniaScience



 OmniaScience

Introducción

V Congreso Internacional de la Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo

La Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo (RIDITA) y la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Terrassa (Universitat Politècnica de Catalunya) ha celebrado los días 7, 8 y 9 de octubre de 2015 en Terrassa (Barcelona) el V Congreso Internacional de la Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo.

La RIDITA es un grupo abierto, incluyente y sin fines de lucro, de discusión permanente, conformado por investigadores, formadores y profesionales relacionados con el Transporte Aéreo que se desempeñen en instituciones académicas iberoamericanas, fundado en 2007.

Previamente a este V Congreso, la RIDITA ha celebrado sus anteriores congresos en Buenos Aires (2007), Sao Paulo (2009), Madrid (2011) y La Plata (2013).

El lema de la presente edición del congreso de RIDITA es: **Transporte aéreo, motor de desarrollo**. Con este lema queremos enfatizar el papel del transporte aéreo en el desarrollo económico y social. Las ponencias recogidas en este libro de actas son una contribución al estudio de transporte aéreo desde los puntos de vista social, económico, productivo y ambiental, articulando los intereses de los diferentes agentes del sistema de transporte aéreo.

Temas del Congreso

En los congresos de RIDITA tienen cabida todas las cuestiones relacionadas con la investigación científica en transporte aéreo. Entre otros temas, cabe destacar:

- Infraestructura del transporte aéreo
- Tecnología del transporte aéreo
- Navegación en el espacio aéreo
- Sostenibilidad y transporte aéreo
- Ordenamiento territorial y transporte aéreo
- Economía del transporte aéreo
- Gestión empresarial y gubernamental de los servicios de transporte aéreo

Organizadores



Patrocinadores



Colaboradores



Junta directiva de la RIDITA

Presidente:

Daniel Montero Ferreiro (Investigador Independiente - Argentina)

Vicepresidente:

Alejandro Di Bernardi (Universidad Nacional de La Plata – Argentina)

Secretario General:

Óscar Armando Rico Galeana (Instituto Mexicano del Transporte - México)

Vocales:

José Ángel Hernández Luis (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria - España)

Cláudio Jorge Pinto Alves (Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Brasil)

Francisco Javier Antón Burgos (Universidad Complutense de Madrid - España)

Marcelo Sana (Profesional de Despachantes de Aeronaves – Argentina)

Comité del Congreso

Comité organizador:

Oriol Lordan, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Jordi Sala Matavera, Bòreas Aeronàutics, España.

Vicenc Fernandez, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Pep Simo, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Jose M Sallan, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Adrian S Morales, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Daniel Montero, Investigador Independiente, Argentina.

Alejandro Di Bernardi, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Óscar Rico Galeana, Instituto Mexicano del Transporte, México.

José Ángel Hernández Luís, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España

Comité científico:

Oriol Lordan, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Vicenc Fernandez, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Pep Simo, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Jose M Sallan, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

David Gonzalez-Prieto, Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Daniel Montero, Investigador Independiente, Argentina.

Alejandro Di Bernardi, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Óscar Rico Galeana, Instituto Mexicano del Transporte, México.

Gustavo Andrés Lipovich, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Luis Chías Becerril, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Francisco Javier Antón Burgos, Universidad Complutense de Madrid, España.

Claudio Jorge Pinto Alves, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil.

Arturo Benito Ruiz de Villa, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Tomás Serebrisky, Banco Interamericano de Desarrollo, Argentina.

Víctor Hugo Valdés Cervantes, Universidad Anáhuac Norte, México.

ÍNDICE

TRANSFORMACIONES RECIENTES EN EL SECTOR AÉREO ESPAÑOL: DINÁMICA AEROPORTUARIA Y EMPRESARIAL	11
FRANCISCO JAVIER ANTÓN BURGOS	
EMPLEO DE INSTRUMENTOS ECONÓMICOS DE MERCADO (IEM) PARA EL CONTROL DE LAS EMISIONES LOCALES EN LOS AEROPUERTOS	25
ARTURO BENITO, GUSTAVO ALONSO	
LOS INDICADORES DE GESTIÓN EN LAS COMPAÑÍAS AÉREAS ESPAÑOLAS	37
FERNANDO CAMPA-PLANAS, NICOLE KALEMBA, LUCÍA CLARA BANCHIERI, JUAN MAGAZ PÉREZ	
ANÁLISIS OPERACIONAL Y EL IMPACTO GASEOSO DEL CICLO LTO EN DISTINTOS AEROPUERTOS EUROPEOS	61
MATÍAS JULIÁN COPPA, JUAN IGNACIO D'IORIO, ALEJANDRO DI BERNARDI	
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS EMISIONES EN VUELO POR LAS OPERACIONES AEROCOMERCIALES DE LA REGIÓN SAM	71
JUAN IGNACIO D'IORIO, MATÍAS JULIÁN COPPA, NAHUEL TOMASSINI, ALEJANDRO DI BERNARDI	
MÉTODO DINÁMICO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE SECTOR DE LOS CENTROS DE CONTROL DE AREA DE MÉXICO	83
LUIS GERARDO ESCOBAR MAGAÑA, ALFONSO HERRERA GARCÍA	
ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL COSTE SALARIAL Y DEL TAMAÑO SOBRE LA RENTABILIDAD ECONÓMICA: EL EFECTO MODERADOR DE LAS TIPOLOGÍAS DE AEROLÍNEAS	95
MATÍAS GINIEIS IRIBARREN, ANA BEATRIZ HERNÁNDEZ-LARA, MARIA VICTÒRIA SÁNCHEZ-REBULL	
COMPETENCIA A LA COURNOT VS. A LA BERTRAND: UNA APLICACIÓN AL MERCADO DEL TRANSPORTE AÉREO DE NEGOCIOS EN ESPAÑA	117
JAVIER GUNDELFINGER CASAR	
EL PAPEL DE LAS OBLIGACIONES DE SERVICIO PÚBLICO EN EL CONTEXTO DEL TRANSPORTE AÉREO INTERINSULAR DE LAS ISLAS CANARIAS	129
JOSÉ ÁNGEL HERNÁNDEZ LUIS	
LOS AEROPUERTOS DEL ESTADO DE OAXACA Y SUS RELACIONES CON LA ORGANIZACIÓN TERRITORIAL	141
ALFONSO HERRERA GARCÍA, JONATAN OMAR GONZÁLEZ MORENO, MIGUEL ÁNGEL BACKHOFF POHLS	
ANÁLISIS PRELIMINAR DEL COMPORTAMIENTO DE LAS TARIFAS AÉREAS EN MÉXICO	153
ALFONSO HERRERA GARCÍA, LUIS ENRIQUE TREJO MATÍAS	
CÁLCULO E CAPACIDADE DE PISTA NOS AEROPORTOS BRASILEIROS: MÉTODOS E PARÂMETROS UTILIZADOS	165
PÂMELA MARTINS DOS SANTOS, CLÁUDIO JORGE PINTO ALVES, CARLOS MÜLLER	

LA DISTRIBUCIÓN COMO FACTOR DE CONCENTRACIÓN	179
DANIEL MONTERO FERREIRO	
MODEL-BASED EVALUATION OF B-787 DISRUPTION IN THE PERFORMANCE OF A LOW-COST AIRPORT	191
MIGUEL MUJICA MOTA, PAOLO SCALA, NICO DE BOCK	
MODELO DE ELECCIÓN DE TERMINAL AÉREA EN REGIONES MULTI-AEROPUERTOS: MODELO LOGIT MULTINOMIAL APLICADO A LA ELECCIÓN DE AEROPUERTO	203
CLAUDIA HELENA MUÑOZ HOYOS, JORGE ELIECER CÓRDOBA MAQUILÓN, IVÁN REINALDO SARMIENTO ORDOSGOITIA	
ESTUDIO SOBRE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES EN LA OPERACIÓN DE ASCENSO CONTINUO	215
JAVIER A. PÉREZ-CASTÁN, ROSAR ARNALDO VALDÉS, V.FERNANDO GÓMEZ COMENDADOR, DAVID CARRERA MATE	
AS RECENTES CONCESSÕES AEROPORTUÁRIAS NO BRASIL: INFRAESTRUTURA E GESTÃO	227
DIOGO QUINTILHANO	
LA TARIFA DE VIAJE COMO VARIABLE DE IMPEDANCIA EN LA MODELACIÓN GRAVITACIONAL DEL TRANSPORTE AÉREO	235
ÓSCAR ARMANDO RICO GALEANA, REGINA DE CASO AGUIRRE	
WHY DOES CONGONHAS AIRPORT STILL NEED A NOISE MONITORING SYSTEM?: THE BACKGROUND NOISE ISSUE	251
FABIO SCATOLINI, CLAUDIO JORGE PINTO ALVES	
A SPATIAL ANALYSIS OF NON ACOUSTICAL FACTORS RELATED TO AIRCRAFT NOISE	263
GUSTAVO SOBREIRO SANTOS, LUCIANA LINS DE MELLO, ROGÉRIA ARANTES GOMES	
ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE RUTAS ATS Y RNAV PARA VUELOS ENTRE PRINCIPALES AEROPUERTOS DE CABOTAJE DE ARGENTINA	275
NAHUEL TOMASSINI, EDWIN ALEJANDRO PUEBLA NEIRA, MARIANO EDUARDO BONOPERA	

Artículos presentados en el
V Congreso Internacional de la
Red Iberoamericana de
Investigación en Transporte
Aéreo

Transformaciones recientes en el sector aéreo español: Dinámica aeroportuaria y empresarial

Francisco Javier Antón Burgos

Universidad Complutense de Madrid, España.

franjavi@ghis.ucm.es

Abstract

En el presente trabajo se pretende aportar un análisis crítico de los diferentes cambios ocurridos y otros tantos en marcha dentro del sector aéreo español, con una óptica sincrónica, que afectan a variadas facetas de la actividad aeroportuaria o de la estructura comercial y empresarial del propio sector, tales como la privatización de la gestión de los servicios aeroportuarios y de navegación aérea, la concesión de los derechos de *handling* y *catering* aeroportuarios, o las estrategias comerciales de las compañías aéreas, así como de los diferentes conflictos de orden laboral que se están desarrollando, como consecuencia de unas políticas empresariales basadas en el aligeramiento drástico de sus plantillas y en el retroceso de la calidad de sus condiciones laborales.

En los últimos años el sector aéreo español atraviesa un período caracterizado por notables transformaciones estructurales y también en el ámbito operativo. La evolución de AENA asociada a su privatización, el resultado de sus balances económicos y expansión internacional están marcando una esperanzadora línea expansiva que puede llegar a condicionar su futuro en positivo.

Por otra parte, especialmente el auge del modelo *low cost* y del mismo modo las sacudidas del sector como consecuencia de las políticas operativas de Iberia auspiciadas por IAG, suponen otro de los factores conformantes del actual modelo comercial aéreo español.

El posicionamiento en los rankings de tráfico liderados por compañías *low cost*, sobre todo en lo que concierne al tráfico de corto-medio radio, contrasta con el dominio en el largo radio de las compañías tradicionales en red, acompañadas como es tradición por otras compañías charter de azarosa vida vinculadas a tour operadores nacionales o externos.

Las políticas tarifarias aplicadas por la administración aeronáutica española como las de los operadores aéreos, están siendo seguidas con un intenso debate tanto por los propios operadores como por los usuarios, en especial en aquellas partes del país afectadas por tráfico bajo en sus aeropuertos o en

espacios periféricos o de desenclave geográfico, en los que los cuadros tarifarios y planteamientos comerciales asociados alcanzan el rango de elemento estratégico para su supervivencia y potencial desarrollo.

Las relaciones laborales dentro del sector configuran otro de los planos de atención a destacar en el último trienio, período en el que se han llevado a la práctica llamativas reconversiones de personal y notables cambios en las relaciones contractuales y laborales de los empleados en la industria aérea, causando un cierto grado de conflictividad que ha generado diferentes desacuerdos y luchas en distintas compañías aéreas y en la misma administración aeronáutica.

Las conclusiones establecidas a partir del análisis aportado, permiten atisbar la posible evolución del sector a corto plazo en cuanto a las estrategias aeroportuarias de la administración aeronáutica y en las políticas operativas de tráfico de los operadores aéreos, así como los diferentes grados de conflictividad laboral que puedan llegar a generarse en un futuro inmediato.

Palabras clave: Transformaciones recientes. Sector aéreo español. Dinámicas aeroportuarias. Dinámicas empresariales. Evolución futura.

1. Procesos transformadores

La secuencia bianual de las ediciones congresuales de la RIDITA, permite de algún modo hacer un seguimiento del cuadro evolutivo del transporte aéreo en España con una óptica sistémica y tintes de regularidad permitiendo a su vez la puesta en relieve de los cambios estructurales que afectan al sector, aprovechando así dicho factor de oportunidad a la hora de evaluar los sucesos más sobresalientes que afectan a sus mutaciones en el tiempo.

En el último quinquenio el sector aéreo español está experimentando una serie de notables transformaciones, cuyo principal exponente se cifra en su activa dinámica aeroportuaria, sus intensas transformaciones empresariales y cuadro de continuada conflictividad laboral.

Facetas de la actividad aeroportuaria o de la estructura comercial y empresarial del propio sector, tales como la privatización de la gestión de los servicios aeroportuarios y de navegación aérea, la concesión de los derechos de *handling* y catering aeroportuarios o las estrategias comerciales de las compañías aéreas, así como de los diferentes conflictos de orden laboral que se están desarrollando, como consecuencia de unas políticas empresariales basadas en la drástica disminución de sus plantillas y en el retroceso de la calidad de sus condiciones laborales, son a grandes rasgos algunos de los atributos más significativos de la industria aérea comercial española en el momento presente.

El sector aéreo español atraviesa un período caracterizado por notables transformaciones estructurales y también en el ámbito operativo. La evolución de AENA asociada a su privatización, el resultado de sus balances económicos y su expansión internacional están marcando una esperanzadora línea expansiva que puede llegar a condicionar su futuro en un orden positivo.

Por otra parte, especialmente el auge del modelo empresarial *low cost* y del mismo modo las sacudidas del sector como consecuencia de las políticas operativas de Iberia auspiciadas por IAG, suponen otro de los factores conformantes de dicho modelo operativo.

El posicionamiento en los rankings de tráfico liderados por compañías *low cost*, sobre todo en lo que concierne al tráfico de corto-medio radio, contrasta con el dominio en el largo radio de las compañías tradicionales en red, acompañadas como es tradición por otras compañías charter de azarosa vida vinculadas a tour operadores nacionales o externos.

Las políticas tarifarias aplicadas por la administración aeronáutica española como las de los operadores aéreos, están siendo seguidas con un intenso debate tanto por los propios operadores como por los usuarios, en especial en aquellas partes del país afectadas por tráfico bajo en sus aeropuertos o en espacios periféricos o de desenclave geográfico, en los que los cuadros tarifarios y planteamientos comerciales asociados alcanzan el rango de elemento estratégico para su supervivencia y potencial desarrollo.

El mundo de las relaciones laborales configura otro de los planos de atención a destacar en el último trienio, período en el que se han llevado a la práctica llamativas reconversiones de personal y notables cambios en las relaciones contractuales y laborales de los empleados en la industria aérea, causando un cierto grado de conflictividad que ha generado diferentes desacuerdos y luchas en distintas compañías aéreas y en la misma administración aeronáutica.

2. AENA: Privatización, actividad internacional y red aeroportuaria española

AENA Aeropuertos como filial de ENAIRE, entidad pública empresarial a modo de organismo público adscrito a la administración general del Estado, cuenta con personalidad jurídica pública diferenciada, patrimonio y tesorería propios, además de contar con un alto grado de autonomía para su gestión.

En 2010 se anuncia su privatización parcial y la privatización del 70% de las torres de control de los aeropuertos españoles que gestiona. Inicialmente salen a concurso las de 13 aeropuertos y a partir del año 2012 las restantes. Septiembre de 2011 es la fecha en la que se materializa también la privatización de dichos servicios en los primeros 13 aeropuertos, adjudicados a empresas como SAERCO y FERRONATS, estando presentes en la puja destacados holdings empresariales como FCC, Acciona, Ferrovial, Aeropuertos de París, Abertis, etc.

La captación de efectivo para hacer frente a los pliegos de condiciones de AENA se complicó sobremedida, retrasándose la licitación de tales servicios, con casos significativos como el concerniente al 90.05% del capital relativo a la gestión de los aeropuertos rectores del país: Madrid-barajas y Barcelona-El Prat, hecho que vino a suponer una especie de privatización inicial fallida. Luego, en junio de 2014 se abre el 49% del capital de AENA Aeropuertos al capital privado, valorada en un monto de 2.500 millones de euros, siguiendo en manos del Estado el 51% restante, en tanto que la Navegación Aérea quedaría fuera de la operación.

Con un balance financiero saneado en 2013, año en el que se obtuvo un beneficio neto de 597 millones de euros, se plantea privatizar parcialmente AENA en dos etapas (SEPI, 2015): primero, la venta del 21% de sus acciones a inversores institucionales españoles (núcleo duro y estable en su capital), y segundo, la puesta en bolsa del 28% de sus acciones a partir de una OPV (Oferta Pública de venta), anunciada para noviembre de 2014. Con ello el ente público AENA cambia su denominación a ENAIRE, y la filial AENA Aeropuertos (participada al 100%), pasa a llamarse AENA S.A.

La tradicional estructura de AENA se ha transformado poderosamente, hasta el punto de presentarse como un conglomerado basado en la diversificación de sus áreas de negocio, especialmente el internacional, junto a la gestión de la red de aeropuertos españoles de interés público, determinadas bases aéreas del

Ejército abiertas al tráfico civil y los helipuertos meridionales de Ceuta y Algeciras.

La estrategia de internacionalización de AENA le ha permitido expandir su negocio y know how a otros contextos espaciales y empresariales (Antón, 2015), con distintas participaciones en la explotación de aeropuertos americanos en México, Estados Unidos, Cuba, Colombia o Bolivia, europeos en Reino Unido (Especialmente Luton en Londres) o Suecia, y africanos en Angola, con una presencia futura prevista en algunos aeropuertos asiáticos.

Otro ámbito destacado de su diversificación se refiere a diferentes participaciones en empresas del sector aéreo vinculadas a ingeniería, restauración o *consulting*, como INECO (61% del capital), en CLASA (100% del capital), RAESA (49% del capital) o la Agencia Metropolitana de Desarrollo Urbanístico y de Infraestructuras de Barcelona Regional (11,76% del capital).

La red aeroportuaria española formada por una malla que integra un conjunto de segmentos diferenciados en cuanto al volumen de tráfico, se caracteriza por su funcionamiento bajo la fórmula de explotación “en red”. Se trata pues de un conjunto de nodos que contribuyen a la generación y dispersión de tráfico, así como a la accesibilidad intermodal, generando destacadas sinergias operativas y económicas, permitiendo por otro lado unas mejores oportunidades de negocio con unos óptimos indicadores de calidad y homogeneidad de servicio.

Cabe destacar que cada nodo aeroportuario dispone de un cierto grado de autonomía, en función de sus demandas particulares dentro de un contexto conjunto de coordinación y cooperación, lo que permite de algún modo que los rendimientos económicos de los nodos más dinámicos (Santaló, 2015), puedan contribuir solidariamente al sostenimiento de los aeropuertos de menor entidad minorando así las “ineficiencias de caja común”. En las Tablas 1 y 2, puede observarse la distribución positiva y negativa de los ingresos aeroportuarios en ambos grupos.

Entre otras, una de las ventajas más destacadas de dicha fórmula recae en un significativo ahorro en las compras, hecho que ya se ha demostrado en distintos escenarios de Estados Unidos o Reino Unido (Starkey, 2011), en los que se llega a un coste por pasajero menor que el de muchos aeropuertos nacionales españoles.

Con tales planteamientos se asegura la conectividad de núcleos de rango medio o inferior, a partir de conexiones con los nodos rectores o subrectores de la red, que permiten establecer slots horarios basados en el concepto aporte y dispersión (*hub and spoke*).

Aeropuerto	% EBITDA/ ingresos de explotación	Ingresos de explotación	EBITDA
Reus	2,40	9,58	0,23
Asturias	7,50	11,2	0,84
Zaragoza	8,89	8,55	0,76
La Coruña	14,72	10,26	1,51
Santander	17,63	8,96	1,58
Santiago	24,76	25,85	6,4
Menorca	25,41	26,6	6,76
Tenerife Norte	26,32	33,62	8,85
Murcia-San Javier	41,61	12,4	5,16
Sevilla	43,27	44,6	19,3
Gerona	43,77	27,62	12,09
Málaga	47,89	180,11	86,26
Bilbao	48,79	47,92	23,38
Valencia	50,01	60,79	30,4
Fuerteventura	52,65	48,55	25,56
Ibiza	55,08	59,01	32,5
Lanzarote	55,36	56,05	31,03
Gran Canaria	55,90	118,6	66,3
Madrid-Barajas	56,58	890,79	503,99
Alicante-Elche	62,24	134,19	83,52
Palma de Mallorca	63,12	266,66	168,31
Tenerife Sur	63,79	116,53	74,34
Barcelona	63,84	663,98	423,89

Tabla 1. Cuenta de resultados de aeropuertos con superávit de AENA (Memoria Anual de AENA, 2014)

Los datos de la memoria de explotación de la red doméstica de AENA correspondiente año 2014 (AENA, 2015), muestran un balance de tráfico que marca una clara recuperación después de varios años consecutivos de retroceso.

Como rasgo significativo cabe señalar que se alcanzó la cifra de 195,9 millones de pasajeros gestionados (incremento de un 4,5%), 1,8 millones de vuelos (incremento de un 2,3%) y 685.200 toneladas de carga transportadas (incremento del 7,2%); dos aeropuertos españoles se consolidaron en lo alto del ranking de tráfico en Europa: Madrid (5º puesto, con 41,8 millones de pasajeros) y Barcelona (9º puesto, con 37,5 millones de pasajeros) y se registró un período de 14 meses de crecimiento consecutivo, desde noviembre de 2013.

De 2013 a 2014 sus ingresos crecieron sustancialmente con un fuerte aumento, hasta alcanzar los 3.165 millones de euros (aumento del 8%, de los cuales el 25,7% corresponde a ingresos comerciales). En paralelo los gastos operativos se vieron reducidos un 3,5%, como consecuencia de una decidida política de medidas de ahorro, ya implantadas en años anteriores, con una reducción de

70,3 millones de euros en sus costes corrientes (antes de incluir las cuentas de Luton).

Aeropuerto	% EBITDA/ ingresos de explotación	Ingresos de explotación	EBITDA
Logroño	-1945,83	0,24	-4,67
Albacete	-1633,33	0,12	-1,96
Salamanca	-831,71	0,41	-3,41
Huesca-Pirineos	-806,25	0,16	-1,29
Burgos	-740,00	0,2	-1,48
Madrid-Torrejón	-544,44	0,09	-0,49
Sabadell	-445,95	0,74	-3,3
Córdoba	-350,00	0,4	-1,4
Madrid-Cuatro Vientos	-289,81	1,08	-3-13
La Gomera	-264,41	0,59	-1,56
El Hierro	-242,17	0,83	-2,01
Melilla	-241,90	1,79	-4,33
Pamplona	-214,36	1,88	-4,03
Valladolid	-195,18	2,28	-4,45
Vitoria	-180,51	2,77	-5
León	-162,67	0,75	-1,22
San Sebastián	-82,94	2,52	-2,09
Badajoz	-53,70	1,08	-0,58
Granada	-29,37	6,98	-2,05
Son Bonet	-25,93	0,81	-0,21
La Palma	-17,05	9,15	-1,56
Jerez	-11,99%	10,09	-1,21
Almería	-3,12%	8,33	-0,26

Tabla 2. Cuenta de resultados de aeropuertos deficitarios de AENA (Memoria Anual de AENA, 2014)

Dichos costes corrientes comprenden distintos aprovisionamientos, gastos de personal (excluida la provisión de Plan Social de Desvinculación Voluntaria) y otros gastos de explotación. La salida de trabajadores veteranos acogidos a fórmulas de prejubilación anticipada, supone una cierta reducción de gastos a futuro, lo que está suponiendo una controvertida política de personal, ya que el de nueva captación estará sometido a condiciones laborales más precarias y con niveles más bajos de remuneración, en las misma línea que están siguiendo distintas compañías aéreas españolas.

La puesta en marcha de nuevas rutas ha supuesto un fuerte incentivo al crecimiento de las ratios aeronáuticas durante 2014. AENA ha superado las 3.210 rutas operadas desde o hasta sus aeropuertos, de las cuales 325 son de nueva creación. Las claves de dicho crecimiento se fundamentan en una mejor coordinación con más de trescientas compañías aéreas, casi cuarenta

aeropuertos y más de treinta compañías o instituciones significativas del sector. Otras setenta y cuatro compañías se beneficiaron del mismo modo de acciones diversas de marketing support, en casi una treintena de aeropuertos.

Su política tarifaria fuertemente contestada por ciertos operadores aéreos, se ha saldado mediante la aplicación normativa de lo establecido en los Presupuestos Generales del Estado para 2014 (Ley 22/2013), con la aplicación del 0,9% prescrito legalmente como criterio de carácter general y uniformador (Ministerio de Fomento, 2014).

3. La estructura empresarial

Si se toma como referencia para el análisis de la estructura empresarial del sector aéreo español en el período comprendido entre 2012 y 2013, como umbral antecedente, destaca el hecho de aparecer tres grandes bloques troncales: el de las compañías en red, el del grupo transversal perteneciente al holding IAG y el de las compañías de bajo coste. Completan el panorama las compañías especializadas en el tráfico insular en Canarias, las charter, las dedicadas al aerotaxi y al broker aéreo.

Esta es a grandes rasgos la estructura sintética de base a comienzos del período indicado, en el que el grupo de compañías en red se ha reducido a tan sólo Iberia operadora y Air Europa, mientras que el grupo de las *low cost* se ha incrementado hasta configurarse con cinco operadores (Vueling, Iberia Express y Air Nostrum vinculadas a IAG directa o indirectamente) junto con Volotea y Helitt como operadores menores, destacando el papel de Air Nostrum como aportador-distribuidor de tráfico exclusivo para Iberia operadora (Figura 1).

Quizás uno de los rasgos más destacados desde mediados del primer decenio del siglo XXI, es el continuado incremento de las cifras de pasajeros transportados por compañías *low cost*. Las estadísticas muestran como ya desde 2011 éstas compañías llegan a copar la mitad o incluso algo más del tráfico total de conjunto, mientras que el de los operadores en red y regionales muestran un tráfico recesivo, en buena parte motivado por la reestructuración de Iberia a instancias de IAG (Controlada por British Airways) y la transferencia de muchas de sus líneas y flota de aeronaves a otros operadores del Grupo IAG, que actúan en régimen de *low cost* como Vueling o Iberia Express (Antón, 2012).

Pero el fenómeno no es exclusivo de España. Si se tienen en cuenta las que pueden ser consideradas como rutas aéreas de bajo coste en Europa, es decir, más de 5.000, cerca del 18% de ellas se originan o tienen destino en aeropuertos españoles, siendo superada esta tendencia tan sólo por el Reino Unido que alcanza casi el 19% de dicho ranking.

Otro elemento destacado con influencia en la presente configuración empresarial del sector, es el de la activa presencia de la compañía *low cost* irlandesa Ryanair, que con una agresiva práctica comercial y tarifaria, junto a

unos cuestionables procedimientos de chek-in, *handling* o aeronavegación, está alcanzando una posición dominante con casi un tercio del tráfico español de pasajeros por vía aérea.

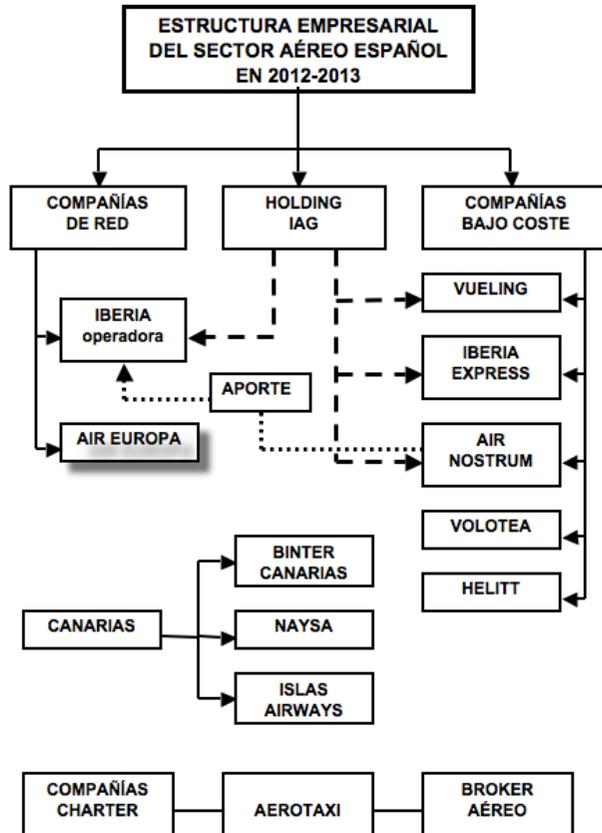


Figura 1. Estructura empresarial del sector aéreo español en 2012-2013

Diferentes compañías *low cost* han obtenido numerosas ayudas públicas de forma directa o encubierta, que les ha permitido mejores ratios de rentabilidad y balance de ingresos, aunque sus competidoras han denunciado tales prácticas como contrarias a la libre competencia (Comisión Nacional de la Competencia, 2012). Muchas de esas ayudas obtenidas mediante convenios con entidades institucionales españolas de nivel regional y municipal, están siendo investigadas por la Unión Europea y su supresión ha supuesto cambios de estrategias comerciales y cancelación de servicios en distintos aeropuertos, por parte de determinadas compañías *low cost*.

AÑO	COMPAÑÍAS TRADICIONALES EN RED Y REGIONALES	COMPAÑÍAS DE BAJO COSTE
2007	60	40
2008	52	48
2009	51	49
2010	53	47
2011	43	57
2012	42	58
2013	46	54
2014 (agosto)	50,6	49,4
2015 (julio)	49,3	50,7

Tabla 3. Participación del tráfico aéreo español en el período 2007-2010 (%) (Anuarios Estadísticos del Transporte Aéreo, AENA e Instituto de Turismo de España, 2014)

Especial relevancia merece la política de elección de hubs operativos por parte de algunas compañías de bajo coste, como la mencionada Ryanair, tal como realizó por poner un ejemplo en el aeropuerto de Santander-Parayas al amparo de ciertas ayudas que pudo colectar. Ese planteamiento se ha visto repetido en otros aeropuertos, esencialmente turísticos, como el de Alicante, en el que ya copa el 26% del tráfico total del mismo.

El fenómeno de alguna forma es redundante e iterativo en dicho aeropuerto, ya que el 82% de sus vuelos corresponden a la categoría *low cost* con nueve compañías que en su conjunto transportan más de 8 millones de pasajeros, de las que también destaca Norwegian con 900.000 pasajeros transportados a/desde Alicante, después de Ryanair, Easijet y Vueling. Ryanair se presenta como la compañía líder en Alicante con más de 240 vuelos semanales y 46 ciudades enlazadas, aunque en la temporada baja desciende ese número a 36.

Mientras otros aeropuertos cuentan con numerosos destinos enlazados en rutas *low cost* como Barcelona con 160, al que siguen Alicante con 77, Málaga con 76, Tenerife con 64, Madrid con 59 y Bilbao con 31.

La conflictividad laboral en el sector aéreo español se produce como consecuencia de ciertas políticas del gestor aeronáutico público y de muchas otras compañías aéreas y operadores de *handling*, que tratan de recortar sus plantillas, prescindir del personal más veterano y cualificado pero a la vez más costoso, incrementar las ratios de productividad, introducir multifuncionalidad laboral, deslocalización de funciones y procesos productivos o convenios colectivos a la baja. Todo ello viene generando desde hace varios años una continuada conflictividad que afecta la vida habitual del sector. Como ejemplo indicativo se muestra un calendario de la conflictividad laboral de enero a octubre de 2015, como señal fehaciente del ambiente en los medios profesionales, resultado de unas políticas recesivas en la gestión de los recursos humanos en todo el sector.

CONFLICTIVIDAD	ÁMBITO	FECHA	MOTIVO
Huelga de cafeterías	Madrid-Barajas	Enero	Rescisión de contratos
Huelga AENA	España	Febrero, 27 días	Rechazo a privatización
Huelga Navegación Aérea	España	Marzo, varios días	Acuerdos laborales
Huelga Ryanair	<i>Handling</i> Madrid Barajas	Mayo	Reducción personal de atención a flota
Huelga Air Europa	TCP	Primavera	Contratos eventuales a fijos
Huelga de limpieza	Tenerife Norte	Primavera	Asuntos laborales
Huelga pilotos	Vueling	Junio	Readmisión pilotos
Huelga <i>handling</i> Groundforce (Globalia)	Madrid y Barcelona	Mayo	Convenio colectivo
Huelga <i>Handling</i> Groundforce (Globalia)	Madrid, Barcelona, Las Palmas, Sevilla, Bilbao, Tenerife Norte y Tenerife Sur.	Julio	Convenio colectivo (incremento 1%)
Huelga de controladores aéreos	ENAIRE	Julio	Readmisión despedido y 61 sancionados por cierre aéreo de Barcelona en 2010
Huelga de personal de tierra	Ryanair	Julio	Contratos eventuales y contratación ilegal de eventuales durante huelga
Huelga en <i>Handling</i> Iberia	Málaga	Agosto	Condiciones laborales
Huelga en personal de facturación	Mezies Avintia Iberica Madrid, Barcelona, Alicante, Málaga y Palma	Septiembre	Negociación convenio colectivo
Huelga de controladores aéreos	España	Junio	Condiciones laborales y servicios mínimos
Huelga de controladores aéreos	España	Septiembre-octubre	Condiciones laborales y servicios mínimos

Tabla 4. Ejemplos de conflictividad laboral en el sector aéreo español en 2015

Las conclusiones establecidas para el conjunto del sector aéreo español a partir del análisis aportado, permiten atisbar una activa evolución del mismo a corto plazo, tanto en cuanto a las estrategias aeroportuarias de la administración aeronáutica como a las políticas operativas de tráfico de los operadores aéreos, así como la materialización de diferentes grados de conflictividad laboral que puedan llegar a generarse en un futuro inmediato, como resultado del empeoramiento de las condiciones laborales y de remuneración del personal aéreo.

4. Referencias

- AENA (2015). *Memoria Anual de AENA, 2014*.
- AERONÁUTICOS (2012). Las concentraciones empresariales en el sector aeronáutico: renovarse para sobrevivir a los nuevos cambios. *Aeronáuticos*, 240(octubre), 10-15.
- AIR TRANSPORT ACTION GROUP (2008). *Economic and social benefits of air transport*. ATAG, Ginebra, 2008.
- Antón Burgos, F.J. (2012). *La creación de Iberia Express por parte de International Airlines Group (AIG)*. AADIB, Madrid, 2012.
- Antón Burgos, F.J. (2013). La experiencia de International Airlines Group y sus repercusiones para Iberia. *IV Congreso de la Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo RIDITA*, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Antón Burgos, F.J. (2011) (Ed.). *El transporte ante el reto del Cielo Único*. RIDITA-CERSA, Madrid, 551 pp.
- Antón Burgos, F.J. (2011b). Dinámicas recientes en el tercer nivel aéreo español. En F.J. Antón Burgos (Ed.). *El transporte ante el reto del Cielo Único*, RIDITA-CERSA, 23-36.
- Antón Burgos, F.J. (2015). AENA aeropuertos: Estructura, consolidación y privatización. En, A. Espinosa y F.J. Antón (Eds.). *El papel de los servicios en la construcción del territorio: redes y actores*. Grupo Geografía de los Servicios-Asociación de Geógrafos Españoles, Alicante, 435-446.
- Betancor, O., Gallego, A., González, M.J. (2013). *Las tarifas en el mercado español de transporte aéreo*. Observatorio de Transporte Aéreo FEDEA, Fundación de Estudios de Economía Aplicada, Cátedra FEDEA-ABERTIS, Madrid.
- Betancor, O., Viéens, M.F. (2011). *Una taxonomía de los aeropuertos españoles*. Observatorio de Transporte Aéreo FEDEA, Fundación de Estudios de Economía Aplicada, Cátedra FEDEA-ABERTIS, Madrid.

- Betancor, O., Viicens, M.F. (2012). *La competencia en el mercado español de transporte aéreo*. Observatorio de Transporte Aéreo FEDEA, Fundación de Estudios de Economía Aplicada, Cátedra FEDEA-ABERTIS, Madrid.
- Clemente Lara, P., Mauri Castello J.J. (2012). *Análisis del impacto de las líneas aéreas de bajo coste en la comercialización y la calidad del producto aéreo*. Universidad Politécnica de Valencia, Gandía, 130 pp.
- COMISIÓN NACIONAL DE LA COMPETENCIA (2010). *III Informe anual sobre ayudas públicas en España*. CNC, Madrid.
- ECONOMY BLOGS (2011). *¿Por qué se paró la privatización de AENA?* <http://economy.blogs.ie.edu/archives/tag/privatizacion-de-aena>
- Fernández Campos, J. (2011). *Estudio de la demanda agregada del transporte aéreo en función de la situación de los aeropuertos españoles*. E.U. de Ingeniería Técnica Aeronáutica UPM, Madrid, 172 pp.
- FLYNEWS (2010). *AENA privatizada: el Real Decreto*. <http://fly-news.es/aeropuertos/aena-privatizada-el-real-decreto>
- GOBIERNO DE CANARIAS (2008). *Análisis comparativo del coste del transporte aéreo de productos relacionados con oferta turística de Canarias*. Consejería de Turismo, Las Palmas de Gran Canaria.
- Guerrero, N. (2013). *La fusión de aerolíneas para simplificar el Mercado*. BBC Mundo, Londres, febrero de 2013, www.bbc.co.uk
- HOSTELTUR (2015). *AENA tiene como principales accionistas privados a dos bancos y dos fondos*. 23.2.2015. http://www.hosteltur.com/198820_aena-tendra-como-principales-accionistas-privados-dos-bancos-dos-fondos.html
http://blogs.elconfidencial.com/economia/valor-anadido/2013-10-30/algo-huele-a-podrido-en-la-privatizacion-de-aena_47982/
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2012). *Anuario estadístico del transporte aéreo*. INE, Madrid.
- López, J. E. (2012). *Iberia tiene future*. Saveiberia, Madrid, 2012.
- Mateos de Porras, J. (2013). *Análisis del sector aéreo comercial en España en 2012*. *Noticias de Transportes*, octubre de 2013. www.hosteltur.com
- McCoy, S. (2013). *Algo huele a podrido en la privatización de Aena*.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2014). Documento de Regulación Aeroportuaria (DORA). <http://www.mpr.gob.es/documents/cdc1-42a5-ealdecretoley4dejulio2014.pdf>
- O'Connell J.F., Williams, G. (2005). Passengers perceptions of low cost airlines and full service carriers: a case study involving Ryanair, Aer Lingus, Air Asia and Malaysian Airlines. *Journal of Air Transport Management*, 11, 272-292.

- Ramos Pérez, D. (2011). *Transporte aéreo y aeropuertos en España. Jornadas Infraestructuras de transporte. Mitos y realidades*. Madrid, Ecologistas en Acción.
- Sánchez Pavón, B. (2013). Las tarifas aeroportuarias y su influencia sobre el transporte aéreo en España. *Revista de Contabilidad y Tributación CEF*, 364(Julio).
- Santaló, J., Socorro, P. (2015). *La privatización parcial de AENA*. <http://nadaesgratis.es/santalo/la-privatizacion-parcial-de-aena>.
- Savia (2011). Subvenciones aéreas, la polémica está servida. *Savia*, marzo 2011:16-18
- SOCIEDAD ESTATAL DE PARTICIPACIONES INDUSTRIALES (SEPI) (2015). *Privatizaciones de 1984 a 1996*. Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas. <http://www.sepi.es/default.aspx?cmd=0001&IdContainer=49>
- Starkey, D. (2011). Airport privatisation, regulation and competition: the UK experience. *Seminario Internacional sobre Gestión Privada de Aeropuertos*, Fundación de Estudios de Economía Aplicada, Cátedra FEDEA-ABERTIS Madrid.

Empleo de instrumentos económicos de Mercado (IEM) para el control de las emisiones locales en los aeropuertos

Arturo Benito, Gustavo Alonso

Universidad Politécnica de Madrid, España.

Arturo.benito@upm.es, gustavo.alonso@upm.es

Abstract

Objeto: En este trabajo se pasa revista a la experiencia existente en el control de la calidad de aire local en los aeropuertos mundiales, con especial énfasis en la aplicación de medidas económicas relacionadas con los contaminantes **emitidos**.

Diseño/metodología/enfoque: El problema de la preservación de la calidad de aire local en los aeropuertos ha quedado postergado por la primacía del impacto acústico. Sin embargo, algunos contaminantes, como los óxidos de nitrógeno, tienen una importancia innegable en estos lugares, llegando a suponer una limitación en algunos casos para la ampliación de las actividades del aeropuerto, tanto en volumen de tráfico como en desarrollo de nuevas instalaciones.

Las recomendaciones de OACI se centran en un conjunto de medidas, adaptadas a las condiciones de cada aeropuerto, que combinen reducción de emisiones en la fuente, mejora de procedimientos operativos, gestión del uso del suelo y medidas económicas (IEM).

Aportaciones y Originalidad: En general, se considera que los sistemas actualmente en vigor se basan en datos de fiabilidad muy limitada y tienen una eficacia modesta para la consecución de los objetivos de mantener la calidad de aire en la zona aeroportuaria. El presente trabajo sugiere algunas alternativas que mejoren estos resultados y resulten más equitativos para todos los actores del sistema.

Limitaciones: Estas últimas se suelen aplicar a las emisiones procedentes de las operaciones de las aeronaves en la pista, con base en los valores de certificación de los distintos motores, de acuerdo con los procedimientos del Anexo 16, Parte 2, al Convenio de Chicago. Sin embargo, las emisiones de los aeropuertos provienen no sólo del movimiento de aeronaves sino también de todas las demás fuentes, como vehículos terrestres, operaciones industriales, acondicionamiento de edificios, etc. Además, las emisiones producidas por los aviones en condiciones reales distan mucho de las medidas en el banco de

prueba de motores durante el proceso de certificación y pueden inducir errores importantes en el cálculo y atribución de emisiones a cada fuente

Valor añadido: Las conclusiones del presente trabajo pueden servir de instrumento a los reguladores para elegir la aproximación más eficaz, desde los puntos de vista social, ambiental y económico, para el control de las emisiones que afectan la calidad del aire en sus aeropuertos

Palabras clave: emisiones locales en aeropuertos, medidas económicas, control de la calidad del aire en aeropuertos.

1. Introducción

La preocupación por los efectos ambientales del transporte aéreo alrededor de los aeropuertos nace con la generalización del uso del avión reactor en la década de los años sesenta. La prioridad se centra durante los primeros años en los efectos del ruido y los esfuerzos iniciales se focalizan en la reducción del ruido en la fuente. En 1971 entran en vigor las primeras regulaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) que obligan al certificado acústico de los nuevos aviones (OACI, 2014) y que van aumentando su exigencia en ulteriores ediciones, a medida que progresa la tecnología acústica. En años posteriores se generalizan diversas técnicas para establecer contornos acústicos alrededor de los aeropuertos a fin de planificar adecuadamente los usos del suelo.

En el año 1980 se amplía la cobertura del Anexo 16 de OACI para incluir la obligación de certificar también las emisiones de los nuevos motores reactores con empuje mayor o igual que 26,7 kN, incluyendo valores máximos de cuatro elementos: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas sólidas visibles (humo) (OACI, 2008). Al igual que en el caso del ruido, los límites de emisión son revisables con el tiempo, dándose la circunstancia de que en los casos del humo, CO y HC el progreso de la tecnología de la combustión ha hecho disminuir de forma drástica las emisiones sin necesidad de endurecer posteriormente la normativa.

Respecto al NOx la situación es diferente, puesto que las cantidades producidas dependen de la temperatura alcanzada en la cámara de combustión. En los reactores modernos, un aumento de temperatura máxima de combustión suele corresponderse con una mejora de la eficiencia energética del motor y un aumento de la emisión de NOx, por lo que la reducción de este contaminante debe hacerse refinando el diseño, de forma que no perjudique la eficiencia del motor. Desde 1983 se han producido cinco cambios en los valores máximos de certificación y es esperable que en un futuro se prosiga aumentando la exigencia de la norma (Benito, 2012).

En cuanto a otras sustancias, OACI estudia el establecimiento de un estándar de certificación de dióxido de carbono (CO₂) y otro de partículas sólidas no volátiles, que incluiría partículas visibles (el actual humo) y no visibles. Ambos deberán ser aprobados en 2016 y 2019, respectivamente, con aplicación a los nuevos modelos de aviones y motores certificados a partir del año 2020. El primero de ellos no tiene efectos locales, pero el segundo debe ayudar al control de la calidad del aire en aeropuertos, permitiendo segregar las fuentes de emisiones con mayor precisión.

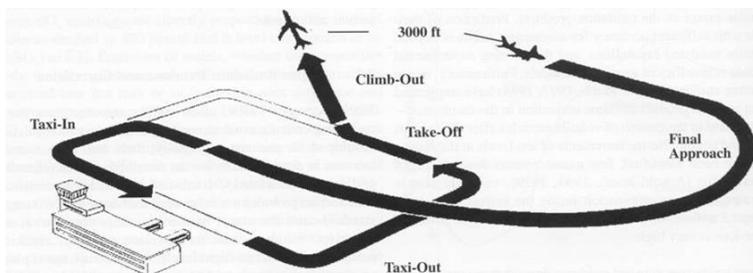
A la aplicación del control de emisiones provenientes de la aeronave, los aeropuertos deben añadir otras fuentes, entre las que se incluyen los equipos de *handling*, las instalaciones fijas del área aeroportuaria (terminales, centros de mantenimiento, almacenes) y los vehículos de transporte público y privado que

acceden al aeropuerto. Estos otros emisores, además de sumar nuevas cantidades a las producidas por las aeronaves, pueden producir otras sustancias contaminantes, como óxidos de azufre (SOx) o compuestos derivados de tratamientos metalúrgicos o pintura, que no se producen en cantidades apreciables por las operaciones aéreas.

2. Regulaciones internacionales

En estos momentos, la gran mayoría de los países carece de normativa específica sobre la calidad de aire en aeropuertos y se limita aplicar normativa de calidad de aire en general, por lo que la aportación contaminante de las operaciones aéreas se mezcla con la del resto de las fuentes emisoras.

Aún sin exigencia normativa, OACI ha publicado una serie de procedimientos recomendados para gestionar la calidad de aire en aeropuertos y algunos otros países, como Estados Unidos o la Unión Europea tienen también normas específicas.



Fase operativa	Empuje	Duración (minutos)
Despegue	100% F_{oo}	0,7
Subida	85% F_{oo}	2,2
Aproximación	30% F_{oo}	4,0
Taxi/ralenti	7% F_{oo}	26,0

Figura 1. Zona de cálculo de emisiones locales en un ciclo LTO (aterrizaje-despegue), donde F_{oo} es el empuje máximo certificado del motor, en kN

En general, el marco de la regulación se centra en un volumen limitado por la superficie del recinto aeroportuario, ampliado en algunos kilómetros para incluir las vías de acceso al aeropuerto. En altura, se ha establecido un nivel de 3.000 pies sobre el suelo, como el límite por encima del cual las emisiones de los aviones ya no tienen efectos apreciables sobre la zona aeroportuaria.

Este volumen es el elegido para medir las emisiones de los motores durante el proceso de certificación del Anexo 16, en el que se simulan los regímenes de motor correspondientes a cada maniobra de la aeronave durante el proceso de aproximación final, aterrizaje, rodaje de llegada, rodaje de salida, despegue y subida inicial, como puede verse en la Figura 1.

Los valores certificados para cada tipo de motor se encuentran accesibles al público en un fichero mantenido por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA, 2015). Existe otro fichero, mantenido por la Agencia para la Investigación de Defensa de Suecia (FOI, 2015) que contiene valores no certificados, pero generalmente aceptables para turbohélices. Se accede a él bajo autorización.

Para el resto de las emisiones de otras fuentes, cada aeropuerto tiene sus métodos particulares de estimación, que normalmente se incluyen en sus cálculos de calidad ambiental y sus planes de mejora (Heathrow, 2010).

La introducción en 1992 de los primeros requisitos de las Naciones Unidas para que los Estados elaboraran sus inventarios nacionales de emisiones condujo a la elaboración de metodologías para unificar ese cálculo, incluyendo la aviación civil. La más reciente empleada en Europa (EMEP/EEA, 2013) utiliza una versión simplificada de la base de datos de OACI, y tiende a sobrevalorar la dimensión de las emisiones.

3. Problemas de aplicación

El conocimiento de los mecanismos físico químicos que gobiernan la difusión en el entorno aeroportuario de los gases de escape de los motores de los aviones que operan en el área terminal del aeropuerto es relativamente modesto. Existen diferentes sistemas que permiten calcular de manera aproximada la difusión y concentración de los contaminantes en el recinto aeroportuario, en general modelizados para obtener resultados cuantitativos (AEDT, 2011), pero son más útiles para cálculos agregados que para análisis de aeropuerto individuales.

A la hora de enfocar un aeropuerto en concreto, el problema se centra en hacer compatibles los datos ajenos a las operaciones de vuelo, que se obtienen de los manuales de operación de los equipos emisores y que pueden comprobarse in situ, los valores teóricos provenientes del ciclo LTO de los aviones y los modelos de difusión de los contaminantes (más complejos en el caso de los aviones, moviéndose en trayectorias tridimensionales a velocidades considerables) con las concentraciones de contaminantes medidas por sensores estáticos.

En la práctica diaria, la mayoría de los aeropuertos utiliza los valores certificados en el ciclo LTO para representar las emisiones de las aeronaves. Esto conlleva varios factores de error:

- La certificación se hace con motores nuevos, no deteriorados
- Los tiempos de funcionamiento a cada nivel de empuje varían según la configuración del aeropuerto (por ejemplo, el tiempo de rodaje hasta el aparcamiento)
- La certificación se hace a máximo empuje certificado del motor, mientras que muchos vuelos se realizan con empuje reducido a fin de ahorrar combustible y mantenimiento de motor
- La certificación se realiza en banco de pruebas, sin perturbaciones de las condiciones atmosféricas, como el viento, temperatura, humedad, etc.

Algunas de estas diferencias pueden compensarse por análisis general, como la distancia de rodaje, que es típica de cada pista de aeropuerto, pero otras, como el nivel de empuje, son características de cada vuelo y hacen el cálculo global bastante engorroso.

Otro elemento difícil de aislar es la influencia de actividades externas al aeropuerto, como zonas industriales, residencias y, especialmente, el tráfico por carretera. La Figura 2 muestra un mapa de concentraciones anuales de NO_x en la ciudad suiza de Ginebra, donde puede compararse la situación en el centro de la ciudad y en el aeropuerto, cuyo impacto se ve alterado por la zona industrial adyacente.

Map of NO₂ imissions

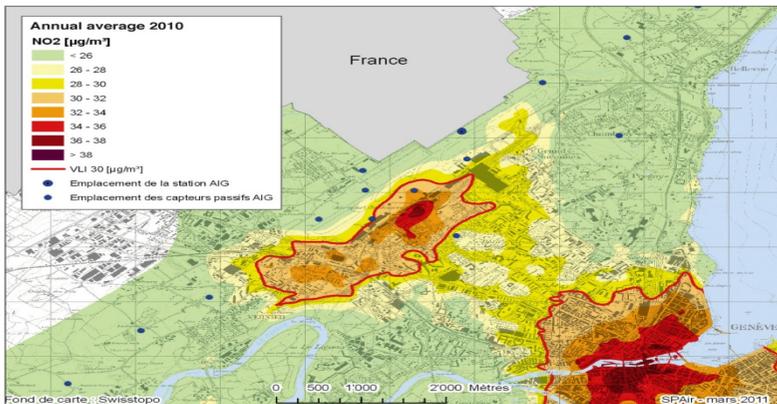


Figura 2. Concentración de dióxido de nitrógeno en el área de Ginebra

4. Instrumentos económicos de mercado en las recomendaciones de OACI

A diferencia de sus indicaciones generales sobre tasas aeroportuarias y servicios de navegación aérea (OACI, 2012), con claras indicaciones sobre cómo poner precio a tales actividades, inicialmente OACI no es partidaria de utilizar medidas de mercado directamente aplicables sobre los vuelos para el control de la calidad de aire local, ya que considera que no hay una clara evidencia de que estos sistemas obtengan un rendimiento de eficacia coste/beneficio razonable. Sin embargo, ante las iniciativas nacionales de una serie de países y locales de algunos aeropuertos, ha emitido algunas recomendaciones sobre aspectos concretos que deben respetar los IEM seleccionados (OACI, 2007). Las líneas generales de estas recomendaciones pueden resumirse de la forma siguiente:

- Los IEM se aplicarán solo si existe un problema a cuya solución puedan contribuir
- Se aplicarán en forma de tasas y no de impuestos
- Las tasas tendrán relación con el nivel certificado de contaminantes emitido por cada aeronave
- El dinero recaudado se empleará en medidas que contribuyan a reducir la concentración de sustancias contaminantes en la zona aeroportuaria
- El esquema será económicamente neutro, no pudiendo utilizarse para aumentar los beneficios del aeropuerto.

La Asociación Internacional de Líneas Aéreas (IATA) apoya las condiciones de OACI, pero pretende añadir dos elementos adicionales (IATA, 2013), solicitando que el dinero recaudado de los operadores se aplique a la parte de las emisiones producida por los propios operadores, y que la aviación no sea tratada de forma diferente que otros modos de transporte competitivos.

5. Experiencias

La mayor parte de la experiencia acumulada en el uso de IEM se centra en Europa, donde diferentes aeropuertos de cinco Estados (Alemania, Dinamarca, Reino Unido, Suecia y Suiza) aplican tasas relacionadas con las emisiones de NOx, añadiéndolas o modulando con ellas las tasas de aterrizaje, que generalmente se fijan en función del peso de la aeronave. En todos los casos se usa el mismo esquema, establecido por la Conferencia Europea de Aviación Civil (ECAC, 2011), basado en los valores de NOx certificados de los diferentes motores, por los datos almacenados por Suecia para turbohélices y por unas tablas genéricas para motores de pistón, helicópteros y reactores y turbohélices no incluidos en las tablas de EASA y FOI.

Aunque el parámetro usado es un valor dependiente de los kilogramos de NOx emitidos en un ciclo LTO, las cargas económicas aplicadas pueden ser diferentes, sin cambiar el orden establecido por el valor de certificación, según la fórmula de ECAC:

$$T = C * a * nm * \sum (60 * t * fc * NOx f / 1000)$$

donde:

T es la tasa a pagar.

C es valor económico aplicado por el aeropuerto.

a es 1 si HC es menor que 19,6 g/kN y hasta 4 si es mayor.

nm es el número de motores.

t es el tiempo que los motores emplean en cada nivel de empuje.

fc el flujo de combustible.

NOx f es el factor de emisión en cada nivel de empuje.

Para los motores certificados bajo normas OACI, el valor del sumatorio es el de certificación, pero la fórmula permitiría un análisis específico de cada operación con datos reales y no teóricos.

Una excepción se registra para motores que sobrepasen el límite de emisiones de HC, en cuyo caso esos aviones pasan a la categoría más cara de NOx, independientemente del valor de este parámetro.

Si comparamos las condiciones de OACI con las vigentes en los países que aplican este sistema (FOCA, 2009) (Scheelhaase, 2010), el grado de cumplimiento es aceptable, con algunas pequeñas discrepancias. Los dos puntos principales de discusión son la eficacia de las regulaciones y la aplicación del dinero obtenido.

Respecto al primer punto, algunos análisis detallados (CAA, 2013) reconocen que no es posible identificar efectos específicos, debido a la multiplicidad de fuentes emisoras. Típicamente los movimientos de aeronaves suponen entre el 30 y el 60% de las emisiones de NOx en la zona aeroportuaria, lo que unido a que las tasas de aterrizaje no superan el 5% del coste operativo de las aerolíneas, hace difícil influir en la selección de aviones de las compañías a través de IEM.

El aeropuerto de Zurich (Fleuti, 2005), pionero en la aplicación de IEM desde 1998, estima reducciones de emisiones apreciables, si bien parte de ellas se deben al empleo de las cantidades recaudadas por tasas de aterrizaje para mejorar las otras fuentes diferentes de los vuelos, como introducir equipos de pista eléctricos, cambiar la calefacción de las terminales y promover el uso del

transporte colectivo para acceder al aeropuerto. Respecto a la política de las compañías, el principal operador basado en ese aeropuerto, primero Swissair y después Swiss, eligieron la variante el motor CFM56 que menores emisiones de NOx tenía, para su flota A320. Parecido efecto tuvo en la política de flotas de SAS la introducción de parecidas medidas en los 15 principales aeropuertos de Suecia. Sin embargo, diversos problemas de consumo de combustible y coste de mantenimiento sufridos por esta variante de motor han conducido a ambas compañías a no añadir más unidades de esta variante posteriormente.

Un análisis de la evolución de las emisiones contaminantes en algunos aeropuertos representativos europeos y españoles (Gil, 2015) muestra un leve incremento de las emisiones, a pesar de la introducción de aeronaves con mejores características ambientales. La Figura 3 presenta las cifras correspondientes al aeropuerto de Barcelona, separando las emisiones de las fases de aterrizaje y rodaje a posición de aparcamiento, de las de rodaje de salida y despegue, por producirse en zonas diferentes del aeropuerto.

Si se compara ese incremento con la evolución del tráfico, expresada en Unidades de tráfico (UT, 1 pasajero = 1 UT, 1 tonelada de carga = 10 UT), como se indica en la Tabla 1, puede comprobarse que en los 10 años del período 2004-2013, las emisiones de NOx han aumentado un 19,1% (cerca del 2% anual), mientras que el tráfico lo ha hecho en un 43,8% (algo más del 4% al año). Así pues, la “eficiencia” en términos de UT por emisiones ha mejorado el 20,8% (2,1% al año). Desafortunadamente se carece de datos para comprobar la evolución de las emisiones totales de NOx en ese mismo período.

Análisis semejantes de aeropuertos con tasas por NOx muestran evoluciones parecidas, lo que parece confirmar que este tipo de IEM no altera el comportamiento de las compañías aéreas, aunque puede resultar útil para recaudar dinero a fin de disminuir las emisiones de otras fuentes, como equipos de *handling* o sistemas de acondicionamiento de edificios, donde el cambio de equipos no es tan costoso como el de los aviones.

Es igualmente deseable la limitación del uso del vehículo privado por regulación (limitar el acceso a los vehículos más contaminantes), incentivación del transporte público (uso gratis para los pasajeros aéreos, reducción de tarifas) o desincentivación del privado (alto precio de aparcamiento, acceso con peajes).

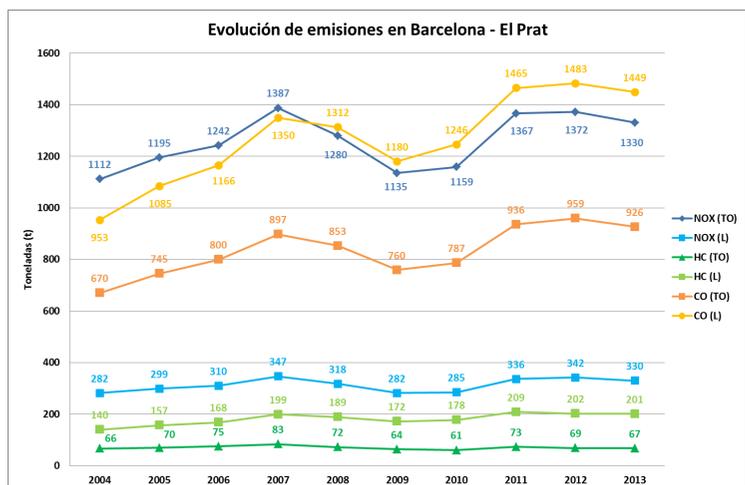


Figura 3. Evolución de las emisiones de movimientos de aeronaves en el aeropuerto de Barcelona (TO despegue, L aterrizaje)

Año	NOx (ton)	Pax (millones)	Carga (ton)	UT (millones)	UT/NOx
2004	1394	24,363	81.908	25,183	18,07
2005	1494	26,941	90.239	27,843	18,64
2006	1652	29,835	93.255	30,767	18,62
2007	1734	32,705	96.433	33,669	19,42
2008	1598	30,170	104.089	31,211	19,53
2009	1420	27,312	89.813	28,210	19,87
2010	1444	29,172	103.939	30,211	20,92
2011	1705	34,332	96.435	34,428	20,22
2012	1714	35,091	94.456	36,036	21,02
2013	1660	35,211	100.297	36,214	21,87

Tabla 1. Millones de Unidades de Tráfico por tonelada de NOx emitida

6. Sugerencias de mejora

Cualquier plan de mejora de la calidad de aire local debe basarse en un análisis detallado de los contaminantes presentes en la zona y una modelización que enlace ese análisis con las fuentes de contaminación. La representación de los movimientos aéreos por los valores certificados estándar conduce a una sobrevaloración de sus emisiones y como consecuencia a una minusvaloración del efecto de las otras fuentes, así como una aplicación discriminatoria sobre los distintos operadores, al valorar igual el mismo tipo de avión, con independencia de su peso y el empuje de motor utilizado en ese vuelo.

Los IEM sobre las operaciones de aeronaves no ofrecen otra utilidad que la recaudatoria, a menos que se impongan a unos niveles tan elevados que impidan la operación de determinados tipos de aviones, hipótesis poco verosímil.

No obstante, podría pensarse en la aplicación de medidas regulatorias y de mercado sobre un buen número de otras fuentes, que debido a sus menores costes de capital son mucho más sensibles a la imposición de tasas.

Un factor generalmente no contemplado en estos estudios es la valoración económica de los costes ocasionados por la contaminación del aire local con efectos perniciosos para la salud. En el caso de los reactores comerciales, las partículas sólidas no visibles, cuya regulación está aún pendiente, y los efectos del NOx como precursor de ozono son los más importantes. Algunos estudios recientes (Yim et al., 2015) sugieren que la valoración económica del número de muertes prematuras debidas a estas causas puede ser de la misma magnitud que los efectos de la aportación de la aviación al cambio climático y mayor que la pérdida de valor de los terrenos a causa del ruido aeroportuario.

7. Referencias

- AEDT (2011). *AEDT Database description document – Airport data base John A. Volpe National Transportation System Center*. Cambridge, Massachusetts, USA.
- Benito, A., Benito, E. (2012). *Descubrir el transporte aéreo y el medio ambiente*. AENA, Madrid.
- CAA (2013). *Environmental charging – Review of impact of noise and NOx landing charges*. CAP 1119 London.
- EASA (2015). <https://easa.europa.eu/document-library/icao-engine-emissions-data-bank>
- ECAC (2011). *Recommendation ECAC/27-4 NOx emission classification scheme*. 2nd Ed., Paris.
- EMEP/EEA (2013). *Air pollutant emission inventory guidebook*. European Environment Agency, Copenhagen.
- Fleuti, E., (2005). *Zurich airport* (Airport Air quality pp. 193-198) Airport Air Quality, University of California, Berkely, USA.
- FOCA (2009). *Aircraft engine emissions charges in Switzerland*. Zurich.
- FOI (2015). <http://www.foi.se>
- Gil, E., (2015). *Impacto ambiental del transporte aéreo*. trabajo fin de grado, ETSIAE, Madrid.

- Heathrow (2010). *Heathrow air quality strategy 2011-2020*. London.
- IATA (2013). *Local air quality emissions-related charges*. Geneva.
- OACI (2014). *Anexo 16 al Convenio de Chicago Part I*. 14ª ed., Montreal.
- OACI (2012). *Políticas de la OACI sobre derechos aeroportuarios y por servicios de navegación aérea*. 9ª ed., Montreal.
- OACI (2008). *Anexo 16 al Convenio de Chicago Parte II*, 3ª ed., Montreal.
- OACI (2007). *Orientación sobre derechos por emisiones de las aeronaves relacionados con la calidad del aire local*. 1ª ed., Montreal.
- Scheelhaase J.D. (2010). Local emission charges – A new economic instrument at German airports. *Journal of Air Transport Management*, 94-99, Elsevier.
- Yim H.L.S., Lee, G.I., Lee, I.H., Allroggen, F., Ashok, A., Caiazo, F., Eastham, S.D., Malina, R., Barrett, S.R.H. (2015). Global, regional and local health impacts of civil aviation emissions. *Environmental Research letters* 10, IOP Publishing.

Los indicadores de gestión en las compañías aéreas españolas

Fernando Campa-Planas¹, Nicole Kalembe¹, Lucía Clara Banchieri², Juan Magaz Pérez³

¹ Universitat Rovira i Virgili, España.

² Universidad Nacional del Sur, Argentina.

³ Consultor especialista de transporte aéreo.

fernando.campa@urv.cat, nicole.kalembe@urv.cat, juan.f.magaz@gmail.com

Abstract

Objeto: Conocer los principales indicadores de gestión utilizados por las compañías aéreas españolas

Diseño/metodología/enfoque: El estudio se ha realizado a través de una encuesta en las 6 compañías aéreas más importantes de España.

Aportaciones y Originalidad: No existen estudios similares, y el presente aporta información sobre los indicadores de gestión utilizados en las compañías aéreas de referencia en España

Valor añadido: Conocer las principales herramientas de contabilidad de gestión utilizadas en las compañías aéreas españolas

Palabras clave: Indicadores de gestión, compañías aéreas, toma de decisiones, *key performance indicators*, contabilidad de gestión.

1. Introducción: El sector de transporte aéreo

El transporte aéreo

La industria internacional del transporte aéreo es esencial para cualquier economía mundial ya que aporta un gran valor añadido y servicio al operar en un entorno completamente globalizado (Belobaba, 2009). Numerosos estudios han demostrado que el transporte aéreo tiene una contribución significativa a la economía de un país, siendo un motor importante para el desarrollo económico de las diversas naciones (Buttonet et al., 1998; Reynolds-Feighan, 2001; Daley, 2009; Ginieis et al., 2012), como también para el desarrollo social (ATAG, 2014; IATA, 2014).

Su crecimiento durante una gran parte del siglo XX fue posible gracias a importantes innovaciones tecnológicas, como por ejemplo la introducción de aviones para el uso comercial en los años 50, seguido por el desarrollo de los aviones de fuselaje ancho en los años 70 (Belobaba, 2009), entre otras actuaciones, siendo en muchos casos el banco de pruebas de numerosos avances tecnológicos. Para encuadrar la importancia del sector, por su volumen, resaltar que actualmente la industria de compañías aéreas la conforman 1.397 aerolíneas, actuando 25.332 aviones, facilitando servicio a 3.864 aeropuertos a nivel mundial (ATAG, 2014).

El transporte aéreo se diferencia de otros tipos de transporte debido a características propias como son la velocidad, la seguridad, su flexibilidad y el coste (ATAG, 2014). Uno de los indicadores más utilizados para medir la eficiencia del transporte aéreo es su coeficiente de ocupación de pasajeros (passenger load factor), siendo a nivel mundial en el año 2013 de un 79% (OACI, 2014).

Según Air Transport Action Group (ATAG), el rápido crecimiento del transporte aéreo en las últimas décadas ha venido impulsado sobre todo gracias a los siguientes factores:

- **Aumento del PIB, la renta disponible y nivel de vida**, que ha supuesto un incremento de la demanda para viajar, con el consiguiente impacto en el sector.
- **Tarifas aéreas reducidas**, como consecuencia de la mejora de la eficiencia en el sector e incremento de la competencia, que ha supuesto, a su vez, un incremento de la demanda al hacer más accesible la compra de billetes aéreos.
- **Globalización del sector**, a través del aumento de viajes de larga distancia, al disponer de mayores y mejores infraestructuras y aviones mejor acondicionados para el largo recorrido.

- **Desregulación del sector**, facilitando el acceso de nuevas compañías al sector, añadiéndose a las compañías tradicionales o de bandera.

La desregulación en el sector de transporte aéreo

La desregulación de las Aerolíneas en Estados Unidos de 1978 fue un acontecimiento sustancial en la historia económica, generando un importante impacto en la política económica general, y del sector en particular (Rose, 2012).

Anteriormente las aerolíneas estaban fuertemente reguladas a nivel mundial, creando un entorno en que los avances tecnológicos y las políticas gubernamentales de las compañías de bandera de los respectivos países tenían prioridad sobre la rentabilidad y la competencia (Belobaba, 2009; MIT, 2014).

Desde la desregulación económica mencionada, momento clave para el sector, conceptos como la eficiencia de costes, la rentabilidad operativa y el comportamiento competitivo se convirtieron en los temas dominantes a los cuales han debido enfrentarse la gestión de las aerolíneas (Belobaba, 2009).

La citada desregulación en los Estados Unidos fue el precursor de situaciones similares en la mayoría de otras economías desarrolladas en Europa (1992-1997), Canadá (a partir de 1984), Australia (1990) y Nueva Zelanda (1986) (Gillen, 2006).

Entre otros factores de cambio operativo y de negocio que se han producido como consecuencia de la desregulación, ha sido la incorporación de políticas de oferta siguiendo un modelo de “hub and spoke”, los cuales se han convertido en los modelos de negocio dominantes (Gillen, 2006; Campa y Campa, 2009), frente a estructuras de oferta previas (y actuales) de “punto a punto”. La estrategia desarrollada por las compañías de red “supone el uso de uno o varios aeropuertos estratégicamente situados (hub) desde donde los pasajeros llegan y se dirigen a otros aeropuertos y ciudades (spoke)” (AECA, 2011).

La relación entre el transporte aéreo y la actividad económica

Los servicios de transporte aéreo y el desarrollo económico global interactúan entre sí a través de una serie de relaciones (Ishutkina y Hansman, 2008). El transporte aéreo genera empleo en el sector de la aviación y crea beneficios socioeconómicos amplios gracias a su potencial de conjugar varios tipos de actividades en una economía local, siendo una parte vital de la economía mundial cada vez más globalizada, facilitando el crecimiento del comercio internacional, turismo, e inversión internacional (ATAG, 2014). Es decir, el impacto económico de la industria de transporte aéreo varía desde sus efectos directos que tiene sobre el empleo y la rentabilidad de las empresas que lo conforman, hasta los efectos menos directos, pero importantes, como son la fabricación de aeronaves, la construcción y gestión aeroportuaria e impacto

sobre la industria turística, sin olvidar su contribución al desarrollo e impacto económico de otras industrias o actividades (Belobaba, 2009; AECA, 2011).

Como resultado, y gracias a la disponibilidad de los servicios de transporte aéreo aumenta el alcance y el tiempo del ciclo de la actividad económica. A su vez, la actividad económica de una región genera la necesidad de transporte de pasajeros y mercancías e impulsa por lo tanto la demanda de servicios de transporte aéreo. Esta relación de retroalimentación da como resultado una correlación significativa entre la cantidad de viajes aéreos y el PIB a nivel mundial (Ishutkina y Hansman, 2008).

Por lo tanto, la industria de transporte aéreo es un conductor global de la economía y como consecuencia del mismo se genera más de 58 millones de empleos y una aportación del 3,4% del PIB global (ATAG, 2014).

Es imprescindible tener en cuenta que el sector de transporte aéreo engloba muchos más negocios, no solamente las compañías de transporte de pasaje y las compañías de carga, sino también considera las infraestructuras aeroportuarias, el mantenimiento y reparación de aeronaves y otros negocios como conexos como el *handling* de pasaje y carga, o el catering, entre otros (Campa y Campa, 2009; AECA, 2011).

Evolución del sector: Pasajeros y despegues

La demanda de pasajeros del tráfico aéreo es cada vez mayor y se espera que el sector de transporte aéreo mantendrá una tasa de crecimiento anual compuesta positiva en el entorno del 5,4% hasta el 2017 y posteriormente un ligero incremento hasta el 2030 (IATA, 2015; Statista, 2015).

La evolución de número de pasajeros a nivel mundial y de los correspondientes despegues de aeronaves (ver gráficos 1 y 2) ha sido positiva durante los últimos años (1990-2013), con solamente tres excepciones de recesión. Por un lado, hubo un descenso tanto en la evolución de despegues como pasajeros en el año 1991 y 1993, respectivamente, hecho relacionado con la Guerra de Golfo sucedida en 1991 seguido por la crisis petrolera y la recesión económica.

También se produjo una recesión durante el período 2001-2002 debido a las consecuencias y efectos de los sucesos del 9/11 en Estados Unidos, hecho que a su vez generó una mayor incertidumbre y un cambio de paradigma en temas de seguridad, con el consiguiente incremento en los costes de las compañías aéreas (y mayores incomodidades a los pasajeros). Finalmente, también se produjo una disminución en el número de pasajeros y de despegues en los años 2008 y 2009, como consecuencia del comienzo de la crisis económica financiera actual.

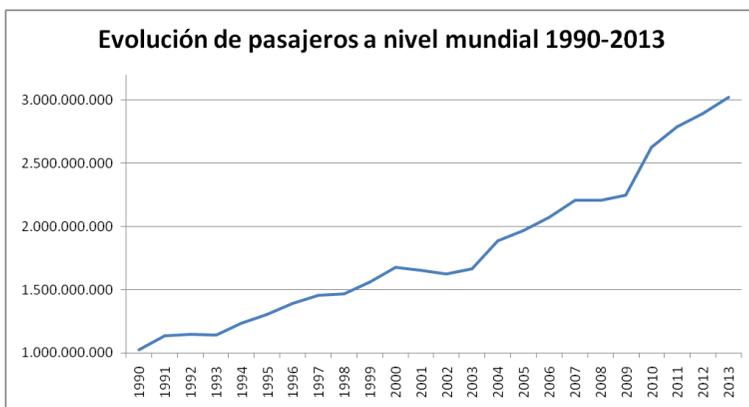


Gráfico 1. Evolución del número de pasajeros a nivel mundial (1990-2013) (data.worldbank.org)

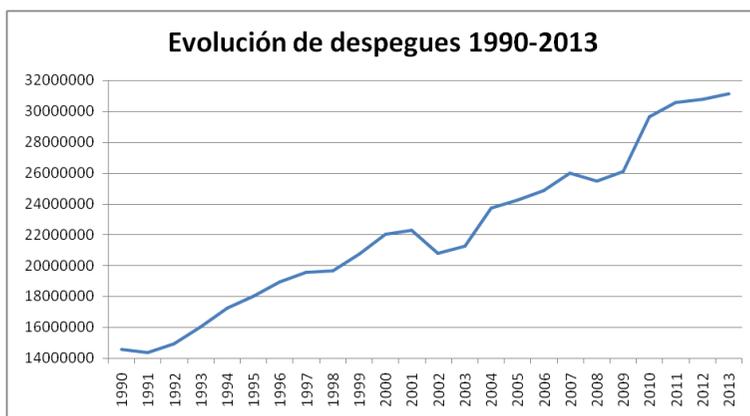


Gráfico 2. Evolución del número de despegues a nivel mundial (1990-2013) (data.worldbank.org)

El transporte aéreo en España

En el caso de España, cuya economía está orientada significativamente al sector servicios, las empresas dedicadas al transporte aéreo son un factor imprescindible para el funcionamiento de la economía del país, siendo un pilar básico de su desarrollo (CEOE, 2009). Es una de las actividades que mayor contribución aporta al PIB del país, 6% (INE, 2011), y desempeña un papel

importante como industria intermediaria (AECA, 2011). Existe una vinculación importante del transporte aéreo con el comercio internacional de mercancías y de generación de servicios, como puede ser el turismo (AECA, 2011).

España es el cuarto país del mundo y segundo en Europa por movimiento de pasajeros en el año 2012 (Ministerio de Fomento, 2013; Hosteltur, 2013).

Como bien puede observarse en el gráfico 3, durante los años 1997-2014 el movimiento de pasajeros (llegadas y salidas) en los aeropuertos españoles (red AENA) ha tenido una tendencia al alza, con excepciones en los años 2002, 2008/2009 y 2012/2013, períodos que coincide con los períodos de recesión a nivel mundial antes mencionados.

Destaca el año 2007 con un récord histórico de 210,5 millones de pasajeros, seguido por dos años consecutivos de caídas con variaciones anuales de -3.2% y de -8%, respectivamente, causadas por el incremento del precio de combustible y el comienzo de la crisis financiera mundial con relevante impacto en España (Hosteltur, 2013).

El principal flujo de pasajeros desde España es el tráfico que tiene con la Unión Europea (ver gráfico 4), el cual representa, aproximadamente, un 64% del total de movimientos, seguido de un 21% por el mercado doméstico, mientras que el mercado extra europeo representa un 15% (Hosteltur, 2013).

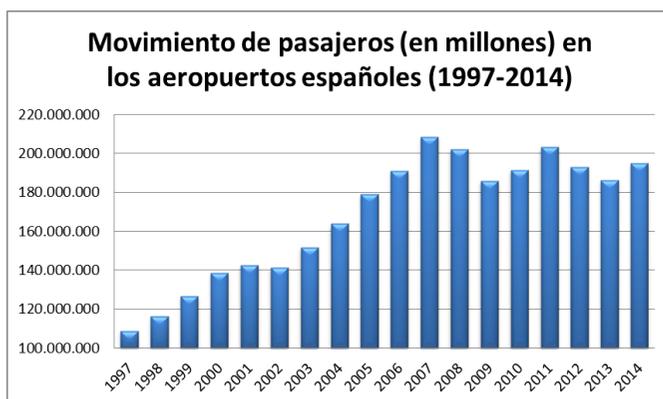


Gráfico 3. Movimiento de pasajeros (en millones) en los aeropuertos españoles 1997-2014. (Ministerio de Fomento, 2015)



Gráfico 4. Distribución de pasajeros transportados desde España, 2012. (Ministerio de Fomento, 2013)

Adicionalmente es importante mencionar que aparte de la desregulación en el sector de transporte aéreo, existieron otros factores que han tenido un impacto considerable en la industria de transporte aéreo como la construcción de nuevas infraestructuras (la red de autovías en España, entre otras), nuevos participantes en el mercado como son las aerolíneas de bajo coste (*Low Cost Carriers*, en adelante LCC) o la competencia del tren de alta velocidad (AVE). Este último ha generado un importante desplazamiento de demanda de tráfico aéreo, especialmente doméstico, al tren (Albalette et al., 2014), siendo, por tanto, una clara alternativa al transporte aéreo y al transporte por carretera. Los servicios del AVE pueden reemplazar y son más competitivos que los del transporte aéreo sobre todo en rutas de corto recorrido (Givoni y Banister, 2006).

Un ejemplo en España es la línea AVE entre Madrid y Barcelona que fue puesta en marcha en febrero 2008 y que alcanzó en el año 2013 un volumen de tráfico de más de tres millones de viajeros situándose como claro líder del mercado en esta ruta (Hosteltur, 2013).

El gráfico 5 nos muestra la evolución de viajeros entre Madrid y Barcelona, tanto en tren de alta velocidad como en avión, entre los años 2003 y 2013. Hasta el año 2007 ambos modos de transporte tienen una evolución positiva, aunque en el caso del tren la oferta se realizaba exclusivamente a través de servicios de Talgo y Altaria. Fue en 2008, con la introducción del AVE para el referido trayecto, que el tren de alta velocidad incrementó acentuadamente el número de viajeros, e incluso en 2012 el número de viajeros en AVE ya sobrepasó el número de viajeros que habían optado por viajar en avión.



Gráfico 5. Viajeros Madrid – Barcelona Tren Alta Velocidad y Avión (2003-2013) (ferropedia.es, 2014)

Principales compañías aéreas nacionales e internacionales

En la Figura 1 se puede observar un Ranking de las principales aerolíneas nacionales e internacionales que actúan en España junto a su evolución numérica de pasajeros transportados durante los años 2004, 2008 y 2014.

	2004		2008		2014	
Vueling	609.077	0,4%	7.747.831	3,8%	26.913.436	13,8%
Air Europa	13.160.608	8,0%	15.652.406	7,7%	14.844.608	7,6%
Iberia	41.307.515	25,2%	33.647.618	16,6%	13.348.083	6,8%
Air Nostrum	6.677.152	4,1%	9.595.041	4,7%	6.648.928	3,4%
Iberia Express					6.130.541	3,1%
Binter Canarias	4.876.146	3,0%	4.663.981	2,3%	453.785	0,2%
Volotea					306.845	0,2%
Pullmantur Air S.A.	94.547	0,1%	281.533	0,1%	183.429	0,1%
Swiftair S.A.	25.658	0,0%	245.545	0,1%	16.337	0,0%
Flightline (Flight-Avia)	6.354	0,0%	11.724	0,0%	1.048	0,0%
Resto compañías españolas	35.198	0,0%	444.590	0,2%	2.822.099	1,4%
Subtotal compañías españolas	66.792.255	40,8%	72.290.269	35,7%	71.669.139	36,8%
Ryan Air	3.765.229	2,3%	14.871.089	7,4%	31.698.195	16,3%
Easy Jet	5.645.087	3,4%	10.999.798	5,4%	10.679.112	5,5%
Air Berlin	6.975.791	4,3%	11.604.998	5,7%	9.506.757	4,9%
Norwegian Air	59.182	0,0%	405.924	0,2%	4.690.874	2,4%
Thomson Airways	173.413	0,1%	4.324.592	2,1%	4.180.404	2,1%
Resto compañías extranjeras	80.477.560	49,1%	87.726.534	43,4%	62.553.729	32,1%
Subtotal compañías extranjeras	97.096.262	59,2%	129.932.935	64,3%	123.309.071	63,2%
Total tráfico aeropuertos españoles	163.888.517	100,0%	202.223.204	100,0%	194.978.210	100,0%

Tabla 1. Evolución de número de pasajeros por compañía¹. (aena.es, 2015)

De las seis principales compañías aéreas regulares españolas es Vueling la que mayor número de pasajeros ha transportado en el año 2014, seguido por Air Europa e Iberia. En caso de las compañías internacionales destaca la evolución de Ryan Air entre los años 2004-2014, siendo en el último año referido la compañía aérea que mayor número de pasajeros ha transportado en España.

¹ Iberia Express y Volotea no disponen de datos en 2004 y 2008 debido a su fundación posterior, en 2011

² Em Santa Catarina, durante a década de 1920, o correio aéreo francês instalou no local um campo de pouso utilizado para o reabastecimento dos voos entre Paris e Buenos Aires. O comandante

A pesar de que el número total de tráfico en los aeropuertos españoles ha tenido una evolución con tendencia positiva, se puede observar un cambio en la cuota de mercado obtenida por las compañías aéreas españolas e internacionales sobre el total de pasajeros transportados durante los años analizados. En 2004 un 40,8% del total de pasajeros fue transportado por las compañías aéreas españolas, mientras que en 2014 éste porcentaje se redujo al 36,8%, mientras que las compañías extranjeras tuvieron un aumento en sentido contrario en la cuota de mercado obtenida, siendo en 2004 un 59,2% y en 2014 un 63,2%.

Beneficios económicos y sociales creados por el transporte aéreo

Sin duda, el sector de transporte aéreo genera una multitud de beneficios económicos y sociales, entre los cuales destacan las siguientes (IATA, 2014; ATAG, 2014):

Beneficios económicos:

- Sistema de transporte rápido, esencial para los negocios globales y turismo
- Impacto global alto, incluyendo efectos directos, indirectos y catalíticos del turismo
- Creación de empleo, contribución importante al PIB
- Facilita el comercio mundial
- Mejora la eficiencia de la cadena de suministro

Beneficios sociales:

- Aportación al desarrollo sostenible (Comercio, crecimiento económico, creación de empleo, ayuda humanitaria, etc.)
- Acceso a zonas remotas
- Mejora de nivel de vida y disminución de la pobreza gracias al turismo
- Contribución al bienestar del consumidor

2. La contabilidad de gestión en el sector de transporte aéreo

2.1 La contabilidad de gestión

El término contabilidad de gestión comienza a utilizarse en la década de los ochenta en nuestro país para denominar los nuevos campos de acción que surgen dentro de la disciplina de la contabilidad de costes, y que, dado su alcance y relevancia, parece convenir su inclusión en la disciplina contable con una nueva terminología, ya que su nacimiento provoca una reestructuración de los objetivos y metodología de la misma.

Tal como define AECA (1990), la contabilidad de gestión es una rama de la contabilidad que tiene por objeto la captación, medición y valoración de la circulación interna, así como su racionalización y control, con el fin de suministrar a la organización la información relevante para la toma de decisiones empresariales. Por lo tanto, el objetivo de la contabilidad de gestión es dar respuesta a las múltiples necesidades planteadas en las organizaciones, con el fin de optimizar la eficiencia en costes y poder ser así más competitivas.

La información que se espera obtener de la contabilidad de gestión ha de permitir adoptar decisiones de forma racional, de manera que el riesgo derivado de la decisión sea el menor posible. Esta información obtenida pretende servir de orientación o base de referencia para todo tipo de decisiones internas de la empresa. Según Lebas (1993), la contabilidad de gestión huye de todo tipo de sometimiento a cualquier reglamentación, ya que se inserta más cerca del futuro ambiguo e impreciso, que del pasado archivado.

Por lo tanto, la contabilidad de gestión es uno de los instrumentos básicos para el proceso de toma de decisiones en organizaciones empresariales y para el control que las mismas requieren (Sáez y otros, 1993), habiendo experimentado en los últimos tiempos una evolución espectacular. Los procesos de transformación de las organizaciones, la interrelación con el entorno, tanto económico como social, el nuevo contexto competitivo y la incorporación de nuevas tecnologías han influido considerablemente en dicha evolución (Fernández, 1994).

En este contexto, Porter (1996) asegura que para que una compañía pueda ser competitiva y sostenible en el largo plazo debe lograr eficiencia operativa y tener una clara estrategia. Como se explicó en el apartado anterior, la desregulación del transporte aéreo acentuó la importancia de estos temas para las aerolíneas (Belobaba, 2009).

La contabilidad de gestión contribuye con la eficiencia operativa mediante el monitoreo y control de los costes. Desde la perspectiva de la estrategia aporta la vinculación del presupuesto con el plan estratégico que garantiza que los

recursos económicos están relacionados y orientados a la consecución de los objetivos finales de la organización.

A continuación, se expondrán las particularidades de las herramientas y modelos de contabilidad de gestión utilizados para las compañías de transporte aéreo.

2.2 La contabilidad de gestión en el sector de transporte aéreo

El sector de transporte aéreo posee características diferenciales a efectos de la gestión, que deben ser conocidas y consideradas (AECA, 2011):

- Opera en un mercado globalizado con barreras de entrada no significativas
- Existen ayudas estatales, que distorsionan las condiciones de oferta de las compañías del sector
- Elevada estructura de costes fijos, que las obliga a maximizar los ingresos totales por vuelo
- Importante poder de negociación de los proveedores de bienes y servicios específicos
- Los resultados económicos de las aerolíneas son bajos, raramente ofrecen resultados positivos y en cualquier caso no alcanzan para compensar los costes de capital.

Los costes en el transporte aéreo

La clasificación de costes más práctica para la toma de decisiones y análisis de los mismos, se basa en los conceptos de costes operativos y no operativos, directos e indirectos y por último en costes fijos y variables (AECA, 2011). El cuadro 2 se muestra el esquema seguido por la mayoría de las compañías de transporte aéreo.

Costes totales	Costes no operativos		
	Costes operativos	Costes operativos directos	Fijos
			Variables
		Costes operativos indirectos	Fijos
		Variables	

Tabla 2. Clasificación de costes utilizado por las compañías de transporte aéreo. (AECA, 2011)

1. Costes no operativos: son los costes que no están relacionados con la operativa del transporte aéreo, por ejemplo los gastos financieros.

2. Costes operativos: los que son originados por la actividad del transporte aéreo. Estos costes se clasifican en directos e indirectos:

2.1 Los costes directos son aquellos que se pueden relacionar inequívocamente al pasaje o al avión. Estos costes a su vez se clasifican en fijos y variables:

2.1.1 Directos y fijos: coste de la aeronave, coste de mantenimiento fijo, estructura atenciones pasajeros en escala, costes fijos de las tripulaciones, costes comerciales fijos, entre otros.

2.1.2 Directos y variables: combustible, tasa de aeropuerto, *handling* de rampa, costes variables de mantenimiento, costes variables de tripulaciones, indemnizaciones a pasajeros, indemnizaciones por pérdida de equipaje, servicio a bordo de pasajeros, entre otros.

2.2 Los costes indirectos serán fijos o variables en función principalmente del ámbito temporal. Entre los costes operativos indirectos se encuentran: coste del área de ingeniería de mantenimiento, el coste del área de la dirección técnica del vuelo y el coste de la estructura general.

Desde otra perspectiva, los costes en el transporte aéreo también se pueden clasificar como lo solicita la OACI (International Civil Aviation Organization). Esta Institución requiere periódicamente los costes de todas las compañías aéreas en cada uno de los mercados con el objetivo de que las empresas realicen benchmarking. La información recolectada es suministrada luego a cada compañía para su análisis.

La clasificación es la siguiente:

1. Costes por tipo de avión y tipo de ruta
2. Costes por aérea geográfica
3. Otros gastos operativos
4. Otros gastos no operativos

Estrategia y presupuesto

Porter (1985) identifica estrategias genéricas para cualquier sector industrial: diferenciación, líder en costes y segmentación. En el sector del transporte aéreo las compañías de transporte de pasajeros se dividen siguiendo las esta

clasificación adaptando las denominaciones de aerolíneas de red, de bajo coste y chárter respectivamente.

A continuación, se presenta en el cuadro 3 las características distintivas entre una aerolínea que tiene una estrategia de diferenciación y una de líder en costes.

Posteriormente Porter (1996) explicita que las posiciones estratégicas deben de tener un horizonte temporal superior a una década y no un único ciclo de planificación.

La consecución de la estrategia requiere que la compañía elabore e intente cumplir con un plan estratégico, que es la herramienta que contiene cuales son los objetivos que desea alcanzar la organización y las acciones y políticas que se deben implementar para lograrlos.

A modo de ejemplo, se puede observar la Figura 1 que muestra el sistema de actividades de Southwest Airlines donde se explicita cuáles son las acciones elegidas por la compañía y como se relacionan para lograr cumplir con la estrategia de bajo coste.

Características	Aerolíneas de Bajo Coste	Aerolíneas de red
Imagen transmitir	Precio	Precio y calidad
Precio	Estructura de precios simple	Estructura de precios compleja
Distribución	Internet, compra directa	Internet, compra directa, agencia de viajes
Checking in	No ticket	No ticket, IATA ticket contract
Aeropuertos	La mayoría secundarios	Principales
Negocio	<i>Point-to-point</i>	<i>Hub-and-spoke</i>
Clase	Clase única	Múltiples clases
Durante el viaje	Pagar por los servicios	Servicios gratuitos
Uso de los aviones	Muy intensivo	Moderado-Intensivo
Tipo de aviones	Un tipo o poca diversidad de modelos y marcas	Múltiples tipos
Turnaround	25 minutos	Lento
Producto	Un único producto: pasajes económicos	Múltiples productos integrados
Producto complementario	Venta en el vuelo	Foco en el producto principal
Asientos	Poco espacio entre asientos (alta densidad de asientos), no aceptan reservas	Espacio amplio entre los asientos, aceptan reservas
Servicio al cliente	Generalmente el servicio es malo	Servicio completo y confiable
Actividades operativas	Foco en el negocio (transportar pasajeros)	Extensiones: mantenimiento, carga

Tabla 3. Características diferenciales de la estrategia de una aerolínea de red y una LCC. (O'Connell & Williams, 2005)

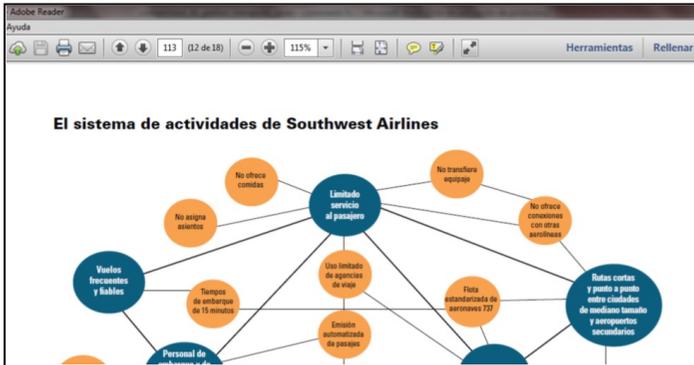


Figura 1. Sistema de actividades de Southwest Airlines (Porter, 1996)

El presupuesto es una herramienta central en el proceso de planificación, siendo la cuantificación en unidades monetarias de la evolución prevista para un período determinado.

Debido al contexto cambiante las compañías no solo realizan el presupuesto sino que en muchas ocasiones analizan diversos escenarios mediante pronósticos. Asimismo, una vez confeccionado el presupuesto realizan rollings para actualizarlos y adaptarlos a la realidad. Por ejemplo, en la Tabla 4 se describen las variables que Southwest Airlines controla para adaptar su presupuesto.

	Relevancia económica	Variabilidad	Velocidad de respuesta	Frecuencia de actualización	Horizonte pronosticado
Ingresos	Alta	Alta	Alta	Diaria	Trimestral
Costes de personal	Alta	Baja	Media	Quincenal	Semestral
Coste de combustible	Alta	Alta	Media	Semanal	Trimestral
Gastos de mantenimiento	Media	Media	Media	Quincenal	Semestral
Gastos de publicidad	Media	Media	Alta	Mensual	Semestral
Coste de los aviones propios	Media	Baja	Baja	Trimestral	Anual
Tasas y cargos del aeropuerto	Media	Media	Baja	Semanal	Semestral
Otros costes de operaciones	Media	Media	Media	Quincenal	Quincenal

Tabla 4. Medidas y períodos que utiliza Southwest Airlines para realizar Rolling forecast. (Zeller & Metzger, 2013)

La monitorización de estas medidas le facilita a la compañía la toma de decisiones para alcanzar sus objetivos en un contexto dinámico y cambiante.

3. Objetivos y metodología utilizada

Para lograr el objetivo, de conocer los indicadores de gestión más utilizados en las compañías aéreas españolas, se utilizó una metodología cuantitativa, creando un cuestionario.

Dicho cuestionario incluía preguntas cerradas dicotómicas, politómicas, categorizadas y preguntas abiertas, haciendo también uso en alguna pregunta de escalas de intensidad. El mismo fue elaborado por los autores, quienes se basaron en la revisión de la literatura y su propia experiencia profesional.

La unidad de análisis fueron las seis principales compañías aéreas regulares españolas de, las cuales, en orden alfabético, son las siguientes:

- Air Europa
- Air Nostrum
- Grupo Binter
- Iberia
- Volotea
- Vueling Airlines

El cuestionario se envió por mail el día 31 de enero de 2015 a través de un enlace vía web a los responsables de control de gestión de las diferentes compañías aéreas, y las respuestas se obtuvieron en el periodo del 2 de febrero al 26 de marzo de 2015. Se obtuvieron el 100% de respuestas de las empresas de la muestra seleccionada, de acuerdo a los criterios mencionados anteriormente.

El cuestionario estaba estructurado de la siguiente manera:

- a) Nombre e identificación de la Compañía
- b) Indicadores de gestión específicos del sector de transporte aéreo utilizados en el proceso presupuestario. En este primer grupo de preguntas se pretende observar si los responsables de contabilidad de gestión de las compañías aéreas consideran necesaria la presupuestación y análisis de los principales KPIs del sector, así como identificar la periodicidad con que lo presupuestan y analizan.

c) Información incluida en los sistemas de reporting de la Compañía y, en su caso, incluida en un Cuadro de Mando Integral de la empresa. En este apartado pretendemos analizar los si las variables anteriores están incluidas en los sistemas de apoyo a la toma de decisiones y el nivel de utilización del referido cuadro de mando.

4. Resultados del estudio exploratorio

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos en la investigación empírica realizada, para lo cual se ha dividido el análisis de dicha investigación en las siguientes dos áreas:

- Indicadores de gestión específicos del sector utilizados por las Compañías.
- Utilización y criterios de elaboración y distribución, en su caso, del Cuadro de mando integral de las sociedades.

Indicadores de gestión específicos del sector utilizados por las Compañías aéreas

En este primer grupo de preguntas se pretendía detectar los principales indicadores de gestión que eran utilizados por los responsables de control de las compañías aéreas, así como la frecuencia en la obtención y análisis de los mismos.

En la Tabla 5 se detallan los indicadores de gestión y la frecuencia con la que los mismos se incluyen el momento de realizar los presupuestos anuales operativos de las compañías.

Una de los primeros análisis que podemos realizar, es que todos los indicadores propuestos en la encuesta son confeccionados en mayor o menor frecuencia, no hay ninguno propuesto que no sea incluido por ninguna compañía aérea en el momento de hacer el presupuesto.

También se puede observar que existen indicadores operativos que son presupuestados a nivel mensual por 4 de las 6 empresas de la muestra (por ejemplo AKOs, PKTs, ingreso por PKT/AKO), y que también lo son a nivel diario (en este caso en 2 de las 4 empresas). También hay que resaltar en nivel de presupuestación diario en otras variables importantes de gestión, como el número de pasajeros o la etapa media (fundamental para analizar la evolución del ingreso por PKT/AKO).

Respecto a los indicadores económicos, unanimidad a la hora de presupuestar (mensualmente) tanto el EBITDAR como el EBITDA.

Por lo tanto, entendemos que el nivel de detalle en el momento de la presupuestación, en líneas generales, es importante.

A continuación se planteaba cuáles eran los indicadores, y la frecuencia de obtención, en el momento de efectuar análisis reales de actividad, información que se muestra en la Tabla 6.

	NÚMERO DE RESPUESTAS					
	No se calcula	Diaria	Semanal	Quincenal	Mensual	Otra
AKO's		2			4	
PKT's		2			4	
Coefficiente de ocupación pax		3			3	
Ingreso/PKT		2			4	
Ingreso/AKO		2			4	
Ingreso/ESK (equivalent seat Km.)	1	1			3	1
TKT's	1				3	2
Coefficiente de ocupación de carga	2	1			2	1
Número de PAX		3			3	
Etapas media		3			3	
Horas Bloque Avión día		2	1		3	
Puntualidad		2	1		2	1
Regularidad		2	1		2	1
Número de reclamaciones	1			1	3	1
Número de equipajes extraviados					5	1
Índice de calidad percibida	1				4	1
EBITDAR					6	
EBITDA					6	

Tabla 5. Indicadores de gestión y detalle en la presupuestación operativa

En dicho cuadro y, por ejemplo, en cuanto al resultado económico podemos ver que el nivel de análisis es mayor. Mientras que en todos los casos se presupuestaba el EBITDA y el EBITDAR a nivel mensual, en el momento de reportar datos reales, hay dos compañías que lo hacen con mayor frecuencia, una diaria, otra semanal, y las cuatro restantes igual que en el presupuesto, de forma mensual.

También otra conclusión importante es que mientras apenas habían indicadores presupuestados de forma semanal (la mayoría como se ha visto en la Tabla 5 eran o bien diarios o bien mensuales), en el caso de análisis de datos reales existen múltiples indicadores analizados con carácter semanal que, probablemente, obedezca a la existencia de Comités de Dirección semanales de las compañías en donde se analiza la marcha operativa de las mismas.

En cualquier caso sí se observa que existen diferencias entre el nivel de detalle en el momento de confección del presupuesto y el nivel de detalle en el momento de analizar la operativa. Dicha discrepancia, que no se produce ni en todas las compañías ni en todas las variables, supone que no siempre se podrá analizar la marcha de todas las variables versus los datos presupuestados, al haberse confeccionado el presupuesto con otro nivel de detalle. Posiblemente, en cualquier caso, es factible que se realicen análisis versus semanas homogeneizadas del ejercicio anterior.

	NÚMERO DE RESPUESTAS					
	No se calcula	Diaria	Semanal	Quincenal	Mensual	Otra
AKO's		1	2		3	
PKT's		1	2		3	
Coefficiente de ocupación pax		2	2		2	
Ingreso/PKT		2	2		2	
Ingreso/AKO		2	2		2	
Ingreso/ESK (equivalent seat Km.)	1	2			1	2
TKT's	1				3	2
Coefficiente de ocupación de carga		2	1		2	1
Número de PAX		2	1		3	
Etapa media		1	2		3	
Horas Bloque Avión día		1	1	1	3	
Puntualidad		3	1		2	
Regularidad		3	1		2	
Número de reclamaciones		1			5	
Número de equipajes extraviados					6	
Índice de calidad percibida					6	
EBITDAR		1	1		4	
EBITDA		1	1		4	

Tabla 6. Indicadores de gestión y detalle en el seguimiento real de la operativa

Utilización y criterios de elaboración y distribución, en su caso, del Cuadro de mando integral de las sociedades

En este siguiente bloque se pretende analizar los resultados obtenidos acerca del grado de utilización y criterios de elaboración y distribución del cuadro de mando integral de las compañías encuestadas

En la pregunta ¿La compañía tiene implementado un cuadro de mando integral?, 5 de las 6 empresas contestaron afirmativamente a la misma,

Asimismo, se planteaba si dicha implantación se consideraba adecuada o no, mostrándose las respuestas a las mismas en la Tabla 7.

	Número de respuestas
Totalmente adecuada	2
Muy adecuada	2
Adecuada	1
Poco adecuada	0
No adecuada	0
No sabe/No contesta	1

Tabla 7. Respuesta a la pregunta, ¿considera adecuada la implantación de un cuadro de mando integral?

Podemos ver, con diferentes grados, que excepto en 1 caso que no responde a la pregunta, las compañías aéreas consideran adecuado, están satisfechos, con la implantación realizada de un cuadro de mando integral (5 de las 6 respuestas lo consideran totalmente adecuado, muy adecuado o, simplemente, adecuado).

En la Tabla 8 se muestran las respuestas obtenidas sobre las diferentes informaciones que se incluyen en el cuadro de mando elaborado por las distintas compañías aéreas.

	Número de respuestas afirmativas
Resumen ejecutivo	6
Análisis del entorno económico	4
Análisis del sector de transporte aéreo	2
Análisis de riesgos y oportunidades	5
Objetivos e indicadores cualitativos	5
Objetivos e indicadores cuantitativos	6
Cuenta de resultados	6
Estado de tesorería	6
Seguimiento de inversiones	5
Estimación económica de cierre de ejercicio	6

Tabla 8. Respuesta a la pregunta, sobre partes que se incluyen en el cuadro de mando integral

Podemos observar que existe una gran homogeneidad en la respuesta pues de los 10 apartados planteados en la encuesta, existe unanimidad en su confección en 5 de los apartados y práctica unanimidad (5 de las 6 empresas encuestadas)

en otros 3 apartados. Los aspectos con menos homogeneidad son los del análisis del entorno económico (aun así con mayoría, 4 de las 6 empresas), y en cambio, solamente 2 de las 6 empresas incluyen en su cuadro de mando información sobre la situación del sector de transporte aéreo.

Finalmente se preguntó sobre los destinatarios de esta información, resultados que se muestran en la Tabla 9.

	Número de respuestas
Comité de Dirección	4
Comité de Dirección / CFO	1
Consejero Delegado / Primer nivel directivo	1

Tabla 9. Respuesta a la pregunta: Distribución del cuadro de mando

Se puede observar, con matices, que el nivel de distribución es muy similar; pues en 4 de las 6 empresas se responde que el cuadro de mando integral es distribuido al Comité de Dirección, en un caso se incluye a este más al Director Financiero (Chief Financial Officer), y en el sexto caso se distribuye al Consejero Delegado y al primer nivel directivo, que podríamos considerar equivalente al Comité de Dirección.

5. Conclusiones

El objetivo del presente estudio ha consistido en estudiar el nivel de introducción de los sistemas de contabilidad de gestión en las empresas de transporte aéreo en España, y en concreto de los indicadores de gestión específicos, dada la importancia que este sector tiene en la economía española y la carencia de estudios similares en España, y, en general, a nivel mundial.

La principal conclusión destacable es que el nivel de implantación y de seguimiento de los principales indicadores de gestión es relativamente alto entre las compañías aéreas analizadas (las 6 primeras de España en volumen de pasajeros transportados en 2014).

A nivel más detallado, algunos aspectos a resaltar serían los siguientes:

- Uno de los primeros análisis que podemos realizar, es que todos los indicadores propuestos en la encuesta son confeccionados en mayor o menor frecuencia, no hay ninguno propuesto que no sea incluido por ninguna compañía aérea en el momento de hacer el presupuesto.
- Los indicadores operativos del sector son presupuestados incluso a nivel diario (por 4 de las 6 empresas). Respecto a los indicadores económicos, unanimidad a la hora de presupuestar (mensualmente) tanto el EBITDAR como

el EBITDA. Por lo tanto, entendemos que el nivel de detalle en el momento de la presupuestación, en líneas generales, es importante.

- En cuanto a la frecuencia de elaboración de los indicadores reales de actividad, un dato a resaltar es que mientras apenas habían indicadores presupuestados de forma semanal, en el caso de análisis de datos reales existen múltiples indicadores analizados con carácter semanal que, probablemente, obedezca a la existencia de Comités de Dirección semanales de las compañías en donde se analiza la marcha operativa de las mismas. En cualquier caso sí se observa que existen diferencias entre el nivel de detalle en el momento de confección del presupuesto y el nivel de detalle en el momento de analizar la operativa.

- Todas las compañías aéreas tienen implantado un cuadro de mando integral, considerando adecuada su implantación. Resaltar que existe una gran homogeneidad en los apartados que incluyen las compañías, así como en los destinatarios de dicha información de soporte a la toma de decisiones.

Como línea de investigación futura se plantea el extender el presente estudio a las compañías aéreas internacionales al objeto de detectar posibles analogías y/o diferencias.

6. Referencias

Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas (1990). *Comisión de Principios de Contabilidad de Gestión. Principios de contabilidad de gestión: El marco de la contabilidad de gestión*. AECA, Madrid.

Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas (2011). *Comisión de Contabilidad de Gestión. La Contabilidad de Gestión en las Empresas de Transporte Aéreo*. AECA, Madrid.

Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea. www.aena.es, consultado día 12 de abril 2015.

Air Transport Action Group (ATAG) (2014). www.atag.org.

Albalate, D., Bel, G., Fageda, X. (2014). Competition and cooperation between high-speed rail and air transportation services in Europe. *Journal of Transport Geography*, 2014.

Belobaba, P., Odoni, A., Barnhart, C. (2009). *The Global Airline Industry*. John Wiley and Sons, Ed.

Button, K., Haynes, K., Stough, R. (1998). Flying into the future: Air transport policy in the European Union. Cheltenham, UK and Northampton/Mass: Edward Elgar. In Kiso, F., Deljanin, A. (Eds.). Air Freight and logistic services. *Promet – Traffic & Transportation*, 21(4), 291-298.

- Campa-Planas, F., Campa-Lewkowycz, R. (2009). Estructuras de oferta en transporte aéreo: Modelos punto a punto y de red. *Harvard Deusto Business Review*, 179.
- Confederación española de organizaciones empresariales (CEOE). *Memorándum: El sector del transporte en España 2009*. www.ceoe.es.
- Daley, B. (2009). Is Air Transport Effective Tool for Sustainable Development?. *Sustainable Development*, 17(4), 210-219.
- Fernández, A. (1994). *Situación actual y perspectivas futuras en Contabilidad de Gestión, Elementos de Contabilidad de Gestión*. AECA, Madrid.
- Gillen, D. (2006). Airline Business Models and Networks: Regulation, Competition and Evolution in Aviation Markets. *Review of Network Economics*, 5(4), December 2006.
- Ginieis, M., Sánchez-Rebull, M.V., Campa-Planas, F. (2012). Los costes en el sector del transporte aéreo. Una revisión de la literatura internacional. *RIGC*, 2012.
- Givoni, M., Banister, D. (2006). Airline and Railway Integration. *Transport Policy*, 13(5), 386-397.
- Hosteltur. www.hosteltur.com, consultado día 13 de abril 2015.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). www.ine.es, consultado día 10 de abril 2015.
- International Air Transport Association (IATA). www.iata.org, consultado día 15 de abril 2015.
- Ishutkina, M.A., Hansman, R.J. (2009). Analysis of the interaction between air transportations and economic activity: A worldwide perspective. *International Center for Air Transportation*, MIT.
- Lebas, M. (1993). Evolution d'un système d'information de gestion: Un exemple. *Revue Française de Comptabilité*, (242), 56-60.
- Massachusetts Institute of Technology (MIT). Global Airline Industry Program, <http://web.mit.edu/airlinedata/www/default.html>, consultado día 18 de abril 2015.
- Ministerio de Fomento. www.fomento.gob.es, consultado día 13 de abril 2015.
- O'Connell, J.F., Williams, G. (2005). Passengers' perception of low cost airlines and full service carriers: A case study involving Ryanair, Aer Lingus, Air Asia and Malaysia Airlines. *Air Transport Management*, (11), 259-272.
- Porter, M.E. (1980). *Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors*. Free Press, New York.
- Porter, M.E. (1996). What is strategy?. *Harvard Business Review*, 74(6), 61-78.

- Reynolds-Feighan, A. (2001). Air freight logistics. In Brewer, A., Button, K., Hensher, D. (Eds.). *Handbook of Logistics and Supply-Chain Management*. Elsevier Ltd, London, UK.
- Rose, N. (2012). In Remembrance of Alfred E. Kahn: Fred Kahn's Impact on Deregulation and Regulatory Reform. After Airline Deregulation and Alfred E. Kahn. *American Economic Review: Papers & Proceedings 2012*, 102(3), 376-380.
- Statista. www.statista.com, consultado día 11 de abril 2015.
- Sáez, A., Fernández, A., Gutiérrez, G. (1993). *Contabilidad de costes y contabilidad de gestión*. Mc.Graw-Hill, Madrid.
- Zeller, T.L., Metzger, L.M. (2013). Good bye traditional budgeting, hello rolling forecast: Has the time come?. *American Journal of Business Education*, 6(3), 299-310.

Análisis operacional y el impacto gaseoso del ciclo LTO en distintos aeropuertos europeos

Matías Julián Coppa, Juan Ignacio D'Iorio, Alejandro di Bernardi

UIDET GTA, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Matias.coppa@ing.unlp.edu.ar, juanignacio.diorio@ing.unlp.edu.ar,
cadibern@ing.unlp.edu.ar

Abstract

Para la certificación de las emisiones de los motores, la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) ha estandarizado los tiempos y potencias durante el ciclo Landing Take-Off (LTO); dichos parámetros de operación, así como lo establece el Documento 9889 "Airport Air Quality Manual" (ICAO, 2011), se diseñaron como un ciclo de referencia, reflejando operaciones en condiciones adversas.

Mediante un estudio comparativo de 10 aeropuertos de Europa, el presente trabajo tiene como objetivo obtener los tiempos mínimos y máximos de cada etapa del ciclo, para luego determinar un tiempo promedio definido como: Time in mode – TIM. Asociado a una flota tipo de operación de un día promedio, se busca cuantificar la diferencia en las emisiones gaseosas asociadas a dichos tiempos. Se utiliza un software de simulación para la caracterización de las etapas de aproximación y despegue, y mediante un modelo matemático desarrollado a partir de los flight data recorder (Khadilkar & Balakrishnan, 2012) se ajustan los tiempos en la etapa de taxeo, hacia y desde plataforma.

A partir de los consumos de combustible calculados, se utiliza la base de datos de emisiones de ICAO (2015) para la cuantificación de las emisiones gaseosas contaminantes de hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NOX) y monóxido de carbono (CO).

El estudio efectuado se encuentra encolumnado con los objetivos del comité de protección ambiental aeronáutica (CAEP) conformado por la Organización de aviación civil internacional (ICAO), particularmente con los del Grupo de Trabajo 2 (WG2 - Airports and Operations) y Grupo de Trabajo 3 (WG3 - Emissions).

Palabras clave: aeropuerto, gases, contaminantes, simulación, operaciones

1. Introducción

Actualmente, el transporte aéreo desempeña un papel importante en el desarrollo económico y social del mundo. En forma directa e indirecta sostiene el empleo de 56,6 millones de personas, contribuye con más de \$2,2 billones al producto interno bruto (PIB), transporta más de 2.900 millones de pasajeros y el equivalente a \$5,3 billones anuales en carga (ICAO, 2013a).

En el futuro se prevé un crecimiento constante, dependiendo primordialmente del desarrollo económico, del comercio mundial y de la evolución de los costos de las líneas aéreas (el cual depende a su vez, en gran medida, del precio del combustible) (IPCC, 2006). El volumen del tráfico aéreo mundial se ha venido duplicando una vez cada 15 años desde 1977, se espera que este crecimiento continúe a pesar de ciclos de recesión cada vez mayores (ICAO, 2013a). El consumo de combustible asociado a este crecimiento tendrá como consecuencia una mayor concentración de gases contaminantes emitidos.

Actualmente se le atribuye el 2% de las emisiones de CO₂ mundiales a la actividad aeronáutica, y teniendo en cuenta la interacción con la atmosfera, el efecto producido es del orden del 3,5% en el forzamiento radiativo antropogénico mundial (IPCC, 2006).

La caracterización de aportes contaminantes gaseosos se realiza en diferentes escalas, desde la local (entorno aeroportuario inmediato: 30 km de radio a partir de un punto de referencia) hasta la global (a través de la circulación atmosférica: miles de kilómetros). En este contexto, el estudio se concentra en la escala local inmediata, ya que busca caracterizar el entorno para definir las servidumbres gaseosas, que junto a las acústicas y a las superficies limitadoras de obstáculos, definen los usos del suelo en el entorno aeroportuario.

2. Desarrollo

Para la determinación del impacto ambiental en el entorno aeroportuario, independientemente del aeropuerto y del tipo de aeronave, OACI ha estandarizado los tiempos de operación de las aeronaves comerciales en la aproximación al aeropuerto, el taxeo y el despegue.

Los reglajes de empuje y el tiempo en cada etapa dependen de condiciones específicas como el peso de la aeronave, temperatura exterior, viento, altitud del aeropuerto, condiciones de las pistas y procedimientos de la línea aérea, ente otros. Aunque no se tienen en cuenta los detalles y las variaciones que ocurren en las operaciones reales, el ciclo fue diseñado como referencia para fines de comparación de tecnologías y certificación respecto a las emisiones de hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NOX) y monóxido de carbono (CO).

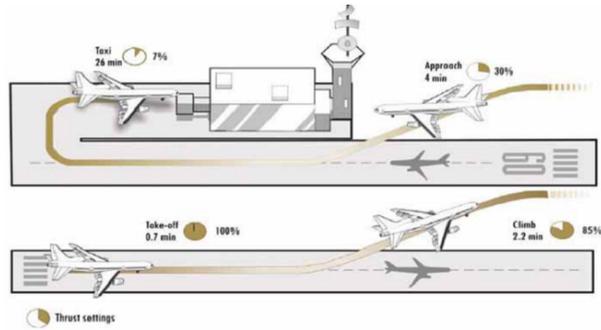


Figura 1. Ciclo Landing Take Off (ICAO, 2013b)

Etapa	Duración (min)	Porcentaje de potencia (%)
Approach	4	30
Taxi	26	7
Take – off	0,7	100
Climb	2,2	85

Tabla 1. Tiempos y porcentajes de potencia en el Ciclo LTO

Para la caracterización y cuantificación de las emisiones gaseosas, de acuerdo a la información disponible del aeropuerto a analizar, OACI plantea tres metodologías (ICAO, 2011), donde los gases emitidos dependen principalmente de: Time in Mode (TIM) (segundos), los Índices de emisión del motor principal; EI, por sus siglas en inglés Emission Index (kg de gas / kg de combustible), y flujo de combustible del motor principal (FF) (kg/s), por sus siglas en inglés Fuel Flow.

- TIM: es el periodo de tiempo real donde los motores de las aeronaves operan en un reglaje de potencia identificado, normalmente correspondiente a uno de los modos de operación del ciclo LTO.
- EI y FF: el índice de emisión se define como la masa de contaminante emitida por unidad de masa de combustible consumido para un determinado motor. El Banco de datos sobre emisiones de motores (EEDB) (Fuglestvedt, Shine, Berntsen, Cook, Lee, Stenke et al., 2010) de OACI proporciona el EI para más de 500 motores certificados.

La siguiente fórmula representa la metodología más específica para el cálculo de las emisiones de NO_x, CO o HC para una única combinación de aeronave y motor, (ICAO, 2011):

$$E_{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * (FF_{jk}) * (E_{ijk}) * (Ne_j) \quad (1)$$

Ecuación 1. Descripción

Donde:

Ei_j = emisiones totales de contaminantes i (p. ej., NO_x , CO o HC), en gramos, producidas por el tipo de aeronave j para un ciclo LTO;

Ei_{ijk} = índice de emisión para el contaminante i (p. ej., NO_x , CO o HC), en gramos por contaminante por kilogramo de combustible (g/kg de combustible), en el modo k (p. ej., despegue, ascenso, marcha lenta y aproximación) para cada motor empleado en el tipo de aeronave j ;

FF_{jk} = flujo de combustible para el modo k (p. ej., despegue, ascenso, marcha lenta y aproximación), en kilogramos por segundo (kg/s), para cada motor empleado en el tipo de aeronave j ;

TIM_{jk} = tiempo en el modo para el modo k (p. ej., marcha lenta, aproximación, ascenso y despegue), en minutos, para el tipo de aeronave j ;

Ne_j = número de motores empleados en el tipo de aeronave j .

Como se puede observar, en la metodología descrita en la Ecuación 1, el TIM es un parámetro de entrada para el cálculo de las emisiones, pero para aquellos estudios donde no se disponga del TIM deben aplicarse los estandarizados por OACI. A su vez, para la cuantificación de las emisiones gaseosas en el ciclo, existen distintas metodologías que utilizan El propios, así como distintas combinaciones de aeronave – planta poder. Si bien cada metodología tiene sus ventajas, de un estudio comparativo (Yoder, 2007) se concluye que todas ellas hacen referencia a alguna de las metodologías de OACI y que ésta ha probado ser la más confiable y utilizada por países y organizaciones.

2.1 Metodología

Para la caracterización de las emisiones gaseosas en los distintos aeropuertos de la región europea el proceso metodológico aplicado fue el siguiente:



Figura 2. Proceso metodológico aplicado

Los parámetros, ajustados a la configuración real y operativa de la aeronave y al aeropuerto específicamente analizado, calculados para la obtención de los tiempos y consumos relativos fueron los siguientes:

- Aproximación (*Approach*): velocidad de referencia (V_{reff}), velocidad de aproximación (V_{app}), longitud de campo de referencia (LCR), ángulo de descenso, y velocidad de carreteo en pista.
- Despegue y ascenso (*Take Off – Climb out*): velocidad de ascenso, ángulo de ascenso, velocidad de rotación, y margen (distancia remanente hasta el final de la pista o stopway).
- Taxi (*Taxi in – Taxi out*): distancias mínimas y máximas a plataforma, velocidades de carreteo (mínima y máxima), número de paradas y número de giros.

Tanto los giros como las paradas asociadas al taxeo implican una modificación del empuje, lo cual se ve reflejado en el consumo de combustible; a su vez el consumo específico es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura ambiente (Yoder, 2007), por lo que se aplicó un método (Khadilkar, 2011) que ajusta el consumo teniendo en cuenta dichos parámetros a partir de los *flight data recorder* de distintas aeronaves. El algoritmo aplicado es el siguiente:

$$\frac{f}{\sqrt{T_{amb}}} = a_1 + b_1 \cdot t + c_1 \cdot n_s + d_1 \cdot n_t \quad (2)$$

Ecuación 2. Descripción

F = consumo total de combustible.

t = TIM .

n_s = número de paradas realizados durante el taxeo.

n_t = número de giros realizados durante el taxeo.

a_1, b_1, c_1, d_1 = parámetros estimados por aeronave.

En la Figura 3 se pueden observar las distancias mínimas y máximas de taxeo que puede realizar un tipo de aeronave, desde o hacia plataforma.

A partir del estudio de los operadores aéreos con mayor frecuencia y participación en el transporte aéreo de la región, se analizó la flota de cada uno para obtener las aeronaves características; se presentan a su vez los coeficientes utilizados para la corrección de consumo de combustible por giros y paradas durante el taxeo.



Figura 3. Distancias mínimas y máximas de taxeo

Aeronave	Planta poder	$a_1 \left(\frac{kg}{K^{0,5}} \right)$	$b_1 \left(\frac{kg}{s * K^{0,5}} \right)$	$c_1 \left(\frac{kg}{K^{0,5}} \right)$	$d_1 \left(\frac{kg}{K^{0,5}} \right)$
Boeing 737-700	CFM56-5B1-2	-0,19	0,013300	0,15	-0,05
Boeing 737-800	CFM56-5B1-2	-0,19	0,013300	0,15	-0,05
Boeing 767-300	P&W 4060	-0,22	0,0178	0,73	0,15
Airbus A320-200	CFM56-5B4-2	-0,26	0,0125	0,1	-0,02

Tabla 2. Aeronaves y plantas de poder analizadas

Se muestran a continuación los aeropuertos bajo análisis:

Nombre	Ciudad a la que sirve	Código IATA /OACI	T_{amb} adoptada (C)
Aeropuerto Internacional de Dublin	Dublin, Irlanda	DUB/EIDW	19,7
Aeropuerto Internacional de Orio al Serio	Bergamo, Italia	BGY/LIME	28,8
Aeropuerto Internacional de Shanon	Shanon, Irlanda	SNN/EINN	20,2
Aeropuerto Internacional East-Midland	Midlands Orientales, Inglaterra	EMA/EGNX	21
Aeropuerto Internacional London Luton	Luton, Inglaterra	LTN/EGGW	19
Aeropuerto de Roma-Ciampino	Roma, Italia	CIA/LIRA	30,7
Aeropuerto Internacional de Frankfurt-Hann	Lautzenhausen Alemania	HHN/EDFH	25
Aeropuerto Internacional Girona-Costa Brava	Gerona, España	GRO/LEGE	30
Aeropuerto internacional John Lennon	Liverpool, Inglaterra	LPL/EGGP	18
Aeropuerto de Londres Stansted	Bishop's Stortford, Inglaterra	STN/EGSS	19

Tabla 3. Aeropuertos analizados

3. Resultados

Se muestran a continuación los resultados obtenidos:

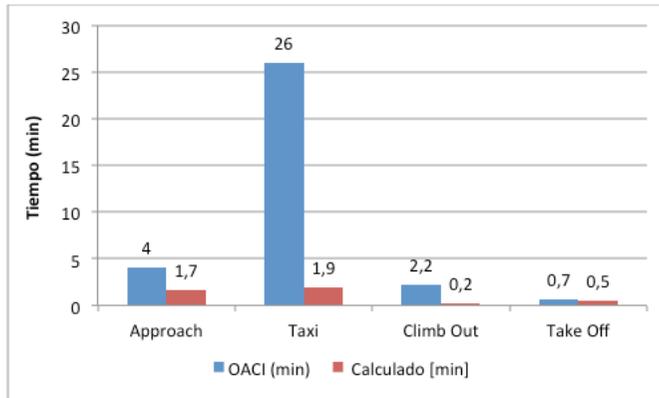


Figura 5. Tiempos promedios totales calculados y tiempos de OACI

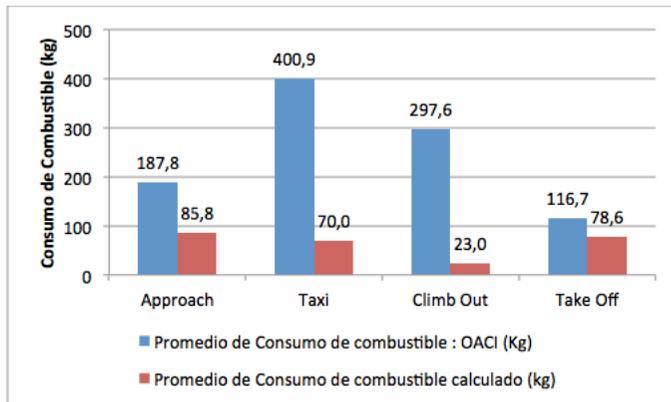


Figura 6. Consumo de combustible según los tiempos calculados y los brindados por OACI.

Como se mencionó anteriormente, el consumo de combustible durante cada etapa del ciclo genera emisiones contaminantes, siendo tres los gases principales: HC, CO y NOX. Se muestra a continuación el promedio de emisiones según los tiempos asociados al ciclo LTO.

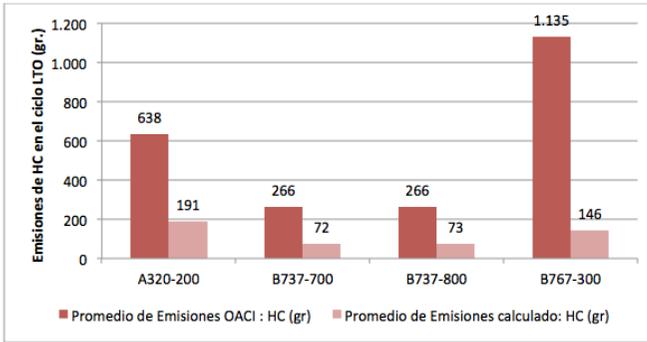


Figura 7. Promedio de emisiones totales de HC en el ciclo LTO

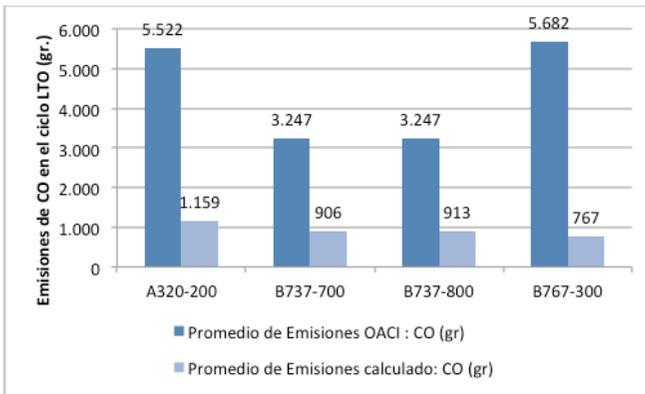


Figura 8. Promedio de emisiones totales de CO en el ciclo LTO

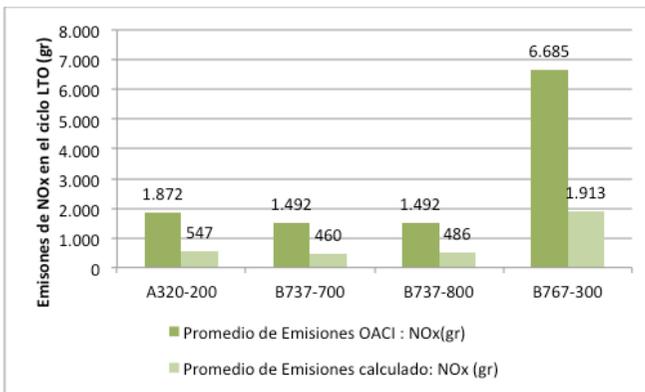


Figura 9. Promedio de emisiones totales de NOX en el ciclo LTO

4. Conclusiones

Se puede concluir que los tiempos empleados para las distintas fases en el ciclo LTO, dependiendo de las aeronaves y aeropuertos intervinientes, presentan diferencias, en algunos casos importantes, con respecto a los establecidos por ICAO y asumidos por otros organismos. Si bien no se tuvieron en cuenta las posibles esperas dentro del método de cálculo, se evidencian las diferencias. En un futuro trabajo incluiremos las demoras típicas en los aeropuertos analizados, así como también aeropuertos importantes de otras regiones y diferentes flotas.

Este trabajo tuvo la intención de poner en evidencia la diferencia del impacto ambiental producto de las operaciones en el ciclo; es por ello que se hicieron valores promedio de emisiones. El fin último es desarrollar un método de cálculo que sea dependiente de parámetros específicos, tanto del aeropuerto como de la flota en cuestión.

El inventario de emisiones proporciona la masa total de las mismas liberadas al medio ambiente y constituye la base para la notificación, el cumplimiento y la planificación de la mitigación. Para relacionar las emisiones con las concentraciones de contaminantes, debe evaluarse también la distribución espacial y temporal de las mismas. Este enfoque mixto de utilizar inventarios de emisiones y modelos de dispersión permite evaluar las concentraciones históricas, existentes y futuras de contaminantes en las zonas cercanas a los aeropuertos, debido a las condiciones meteorológicas específicas.

5. Referencias

- Airbus (2014). *Flying on demand: 2014 - 2033*.
- ICAO (2011). *Doc 9889: Airport air quality manual*.
- ICAO (2013a). *Global Air Navigation Plan - Capacity and Efficiency*.
- ICAO (2013b). *2013 Environmental Report: Destination Green*.
- ICAO (2015). *Aircraft Engine Emissions Databank*.
- IPCC (2006). *IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas*.
- Khadiikar, H. (2011). Analysis and Modeling of Airport Surface Operations, p. 99.
- Khadiikar, H., Balakrishnan, H. (2012). Estimation of aircraft taxi fuel burn using flight data recorder archives. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, 17(7), 532-537.
- Kurniawan, J.S., Khardi, S. (2011). Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants, environmental impact assessment around airports. *Environ. Impact Assess. Rev.*, 31(3), 240-252.
- Yoder, T. (2007). *Development of Aircraft Fuel Burn Modeling Techniques with Applications to Global Emissions Modeling and Assessment of the Benefits of Reduced Vertical Separation Minimums*. Massachusetts Institute of Technology.

Análisis comparativo de las emisiones en vuelo por las operaciones aerocomerciales de la region SAM

Juan Ignacio D'Iorio, Matías Julián Coppa, Nahuel Tomassini, Alejandro di Bernardi

UIDET GTA, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

juanignacio.diorio@ing.unlp.edu.ar, Matias.coppa@ing.unlp.edu.ar,
tomassininahuel@gmail.com, cadibern@ing.unlp.edu.ar

Abstract

El objetivo del presente trabajo es la caracterización de los gases emitidos durante la etapa crucero de los vuelos aerocomerciales en la región OACI SAM. A partir de las estadísticas de pasajeros transportados por operador aéreo, publicadas por la Comisión Latinoamericana de Aviación Civil (CLAC), y de la caracterización de la flota y planta poder de cada operador aéreo, se obtienen las operaciones realizadas por cada aerolínea entre los aeropuertos de los países de la región.

Utilizando los índices de emisiones de aeronaves en vuelo crucero (European Environment Agency, 2013) se cuantifican las concentraciones de hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO) de todas las operaciones realizadas en el año 2013. Utilizando los mapas del servidor ICAO Gis, se presenta la proyección de las emisiones, de acuerdo al nivel de concentración, en las principales rutas aéreas de la región citada, así como un análisis del tiempo de vida de dichos contaminantes en las distintas alturas de vuelo.

Como restricción a este trabajo, cabe mencionar que no se analiza el aporte de los vuelos nacionales ni de aquellos vuelos a países fuera de la región, es decir, se limita el análisis a los vuelos realizados entre países de la región.

El estudio efectuado se encuentra encolumnado con los objetivos del comité de protección ambiental aeronáutica (CAEP) conformado por la Organización de aviación civil internacional (OACI), particularmente con los del Grupo de Trabajo 3 (WG3 - *Emissions*).

Palabras clave: emisiones, gaseosas, crucero, SAM, transporte.

1. Introducción

Teniendo en cuenta el flujo neto de energía radiativa hacia la superficie de la Tierra y el balance energético de la misma con la atmósfera, el impacto ambiental debido al transporte aéreo puede medirse mediante el forzamiento radiativo (RF), el cual representa aproximadamente el 3,5% del total antropogénico mundial. Dicho parámetro ha sido estudiado por primera vez para un sector específico por la IPCC en el año 1999 (Penner, 1999), y luego proyectado bajo distintos escenarios (Fuglestedt et al., 2010). Teniendo en cuenta la formación de estelas el RF de la actividad aérea representa el 4,9% del forzamiento radiativo y para el año 2050 se prevé que su crecimiento sea de 3,5 a 4,7% (Wuebbles, Gupta & Ko, 2007).

Bajo distintos escenarios temporales, se han realizado estudios y modelos que cuantifican los distintos gases en la etapa crucero, tanto para la aviación comercial como para la militar y general (Baughcum, Henderson, Hertel & Maggiora; Henderson, Wickrama, Baughcum, Begin, Franco, Greene et al., 1999; Baughcum, 1997; Lee, BSM Engineering, 2005; Kim, Jonson, Fleming, Balasubramanian, Malwitz, Lee & Gillette, 2005; Tarrason, Jonson, Berntsen & Rypdal, 2002), en las distintas regiones del mundo. Aun así ponderar el impacto ambiental producto de las emisiones en las distintas altitudes representa una gran complejidad. Debido al tiempo de residencia de los gases, la concentración, el tiempo de vida aproximado en la atmósfera y, por sobre todo, las reacciones químicas producto de la mezcla en las distintas condiciones ambientales, los efectos que producen en el clima sólo pueden ser medidos y comparados mediante el concepto de forzamiento radiativo (RF).

De acuerdo a la altitud, se muestran a continuación las emisiones mundiales de la aviación, producidas en el año 2000 (Kim et al., 2005):

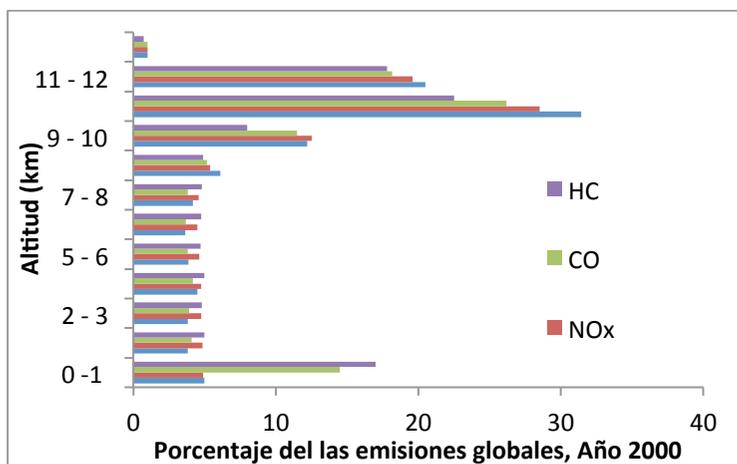
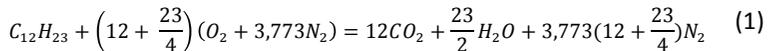


Figura 1. Porcentaje de las emisiones globales de acuerdo a las distintas altitudes (Kim et al., 2005)

Por otro lado, del análisis de emisiones de CO₂ debido a la actividad comercial en las distintas latitudes y longitudes, se observa que el 92% del combustible es consumido en el hemisferio norte y el 67% entre los paralelos 30 y 60 N (Simone, Stettler & Barrett, 2013). A su vez, los patrones de viento típicos en las latitudes medias superiores tienden a concentrar estas emisiones sobre el Ártico y a desplazar las emisiones de latitudes medias hacia la misma región, siendo ésta una de las más afectadas debido al transporte aéreo (Wilkerson, Jacobson & Malwitz, 2010; Brasseur, Cox, Hauglustaine, Isaksen, Lelieveld, Lister et al., 1998).

2. Desarrollo

La ecuación que representa una combustión completa del combustible aeronáutico de composición molecular promedio C₁₂H₂₃ es (Heywood, 1998):



Ecuación 1. Descripción

Las cantidades totales de gases emitidos dependerán de ciertos factores tales como el tipo de combustible utilizado, la riqueza de la mezcla, el mantenimiento de la cámara de combustión o del motor en general, las condiciones atmosféricas de operación, la etapa de vuelo analizada, entre otros. Por ejemplo, debido a la edad de motor, el compresor de alta presión y la turbina de alta presión son los que mayor efecto tienen en las emisiones de NO_x (Lukachko & Waitz, 1996).

Los principales gases que aportan a un forzamiento radiativo positivo son el dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y el vapor de agua (Penner, 1999).

El efecto ambiental de los NO_x como gases sin combinar es un forzamiento radiativo positivo, pero distintos estudios sobre su combinación con otros (O₃ and CH₄) muestran como el efecto puede ser negativo, variando siempre su impacto debido a la altura bajo análisis (Wild, Prather & Akimoto, 2001). Se han desarrollado modelos de impacto ambiental, en distintos niveles de la atmósfera y su relación con la actividad aeronáutica (Stevenson, Doherty, Sanderson, Collins, Johnson & Derwent, 2004; Köhler, Rädcl, Dessens, Shine, Rogers, Wild & Pyle, 2008) específicamente debido a los NO_x.

Debido a la reacción química de la Ecuación 1, el factor de emisión de H₂O es proporcional al combustible quemado, aproximadamente $1,240 \frac{\text{g de H}_2\text{O}}{\text{kg de combustible}}$ (Van Ness, 1996). Junto con las emisiones de hollín y material particulado, el vapor de agua promueve la formación de estelas (*contrails*), las cuales a su vez promueven la formación de cirrus. Tanto las

estelas como los cirrus poseen un efecto positivo en el forzamiento radiativo, pero debido a sus condiciones ópticas y ambientales, la cuantificación de este valor es compleja de hallar; su formación producto de la actividad del transporte aéreo ha sido cuantificada bajo distintos escenarios y analizada para las distintas regiones del mundo (Sausen, Gierens, Ponater & Schumann, 1998; Lee, Fahey, Forster, Newton, Wit, Lim, Owen & Sausen, 2009, Gierens, Sausen & Schumann, 1999).

Aún si la eficiencia del combustible aumenta en los próximos años, debido al crecimiento esperado del tráfico aéreo, se prevé un incremento de la superficie ocupada por las estelas. Se estima que para fines del 2015 la superficie ocupada por las estelas producidas por la actividad aeronáutica puede alcanzar el 0,25% y un 0,75% al año 2050 (Gierens, Sausen & Schumann, 1999).

Si bien se han desarrollado modelos del impacto ambiental en distintos niveles de la atmósfera, el efecto de las emisiones de CO y HC en el forzamiento radiativo antropogénico es relativamente pequeño (Penner, Lister, Griggs, Dokken & McFarland, 1999). Dado que el 90% de las emisiones totales ocurren fuera del Ciclo *Landing Take-Off*, para la determinación del efecto en el RF, en el presente estudio nos limitaremos a analizar las emisiones de Dióxido de Carbono, Óxidos de nitrógeno y Vapor de agua.

2.1 Metodología

Se muestra a continuación el proceso metodológico aplicado para la obtención de los gases contaminantes en las principales rutas aéreas de la región SAM:



Figura 2. Proceso metodológico aplicado

En primer lugar, para el cálculo de las distancias reales de vuelo por cada ruta aérea se analizaron las mismas mediante la ayuda del servidor de información geográfica de OACI: ICAO gv Sig. Se presenta a continuación una imagen ilustrativa de las rutas en Sudamérica:

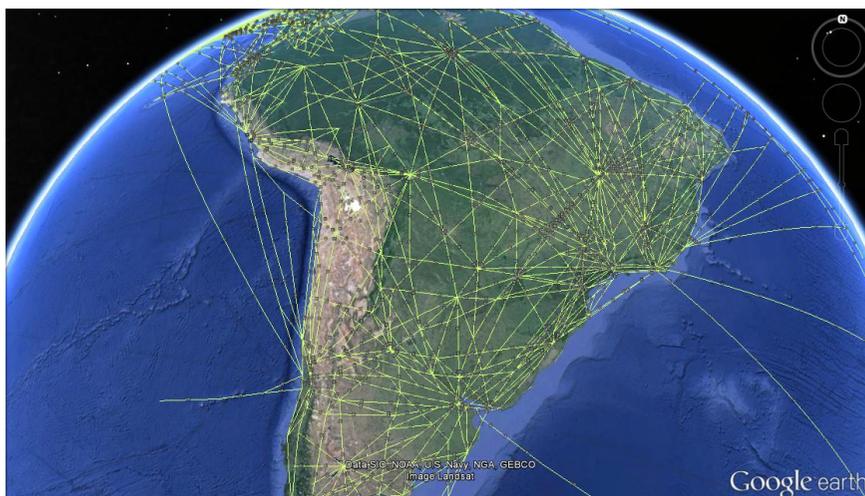


Figura 3. Rutas aéreas de la Región SAM, ICAO gv Sig, 2015

Una vez determinada la ruta, se utilizó una base de datos online de cartas aeronáuticas (www.skyvector.com) para la determinación de la distancia de vuelo real.

Luego, a partir de los datos brindados por la Comisión Latinoamericana de Aviación Civil (CLAC), se estudió la flota operativa de cada uno de los operadores aéreos para la determinación de la aeronave tipo con la cual realiza una ruta específica. Para casos de aerolíneas en que su flota se encontraban dos modelos de aeronaves predominantes, como es el caso de GOL Transporte Aéreos que posee 98 Boeing 737-800 y 35 Boeing 737- 700, se asignó de forma proporcional la cantidad de operaciones a dicha clasificación de aeronaves.

Para el cálculo de la cantidad de operaciones se realizó el producto de los pasajeros transportados por la capacidad máxima de cada aeronave; cabe destacar que para ello se analizó la capacidad máxima específica de cada aeronave de cada operador aéreo. Utilizando un factor de ocupación promedio de 0,77%, se obtuvieron la cantidad de operaciones reales al año 2013.

Por último, una vez obtenida la distancia real de vuelo y la aeronave específica, se obtuvo el consumo de combustible, y utilizando los índices de emisiones de aeronaves en vuelo crucero (European Environment Agency, 2013) se cuantificaron las concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O).

Dado que los datos brindados por Venezuela no cumplen con los requisitos exigidos por la CLAC para la presentación de estadísticas, donde no se especifica el operador aéreo, se tomó como hipótesis que dichas operaciones fueron realizadas por la aerolínea Conviasa.

2.2 Características de la región

Aproximadamente el 8% de las aeronaves comerciales en el mundo se encuentran en América latina (Flightglobal, 2014a). En el año 2014, en todo el mundo han se han entregado 1600 aeronaves, donde el 9% ha sido en América Latina; esto se ha reflejado en un aumento de la capacidad interregional del 6,9% (Flightglobal, 2014b). Se espera que las aeronaves en servicio en esta región aumenten un 4,1% hasta el año 2033 (Airbus, 2014).

En el año 2014, en la región bajo estudio han cesado sus operaciones dos aerolíneas: Aerolíneas Estelar (Venezuela) y PAL Airlines (Chile). Se presentan en la siguiente lista los operadores que han comenzado sus actividades en el 2014:

- Golden Arrow Airways, Guyana : 2 Britten Norman 2A Mk III Trislander
- Rio Amazonas, Perú : 1 Fokker 50
- Sudamericana de Aviación. Ecuador: 2 Boeing 737-500
- TAME Amazona, Ecuador: 6 Quest Kodiak 100
- Avior Regional, Venezuela: 1 Fokker 50

Al año 2013, son 40 las aerolíneas que han realizado vuelos interregionales, donde en las 180 aerovías se han transportado aproximadamente 15 millones de pasajeros; se muestra a continuación la distribución de pasajeros transportados según las principales aerolíneas y los fabricantes de aeronaves.

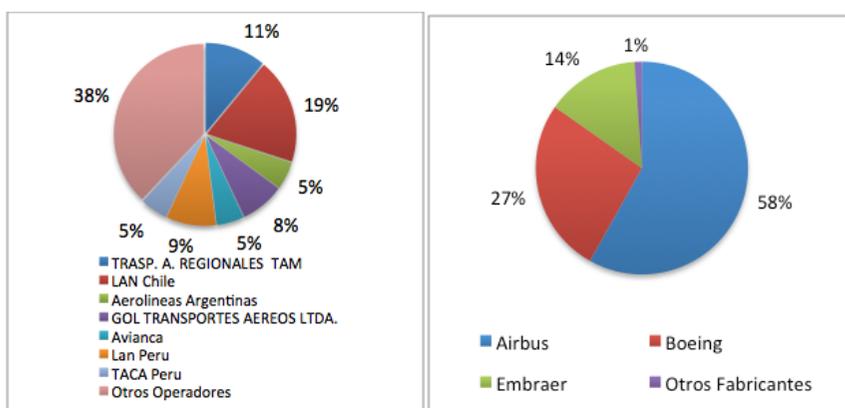


Figura 3. Distribución de los Pasajeros transportados por operador aéreo y fabricante de aeronave, Escenario 2013

3. Resultados

De acuerdo a las estadísticas analizadas, en el año 2013 para el transporte de pasajeros y carga entre los distintos países de la región se han utilizado 180 aerovías. Se muestra a continuación el consumo de combustible y las distintas emisiones gaseosas analizadas:

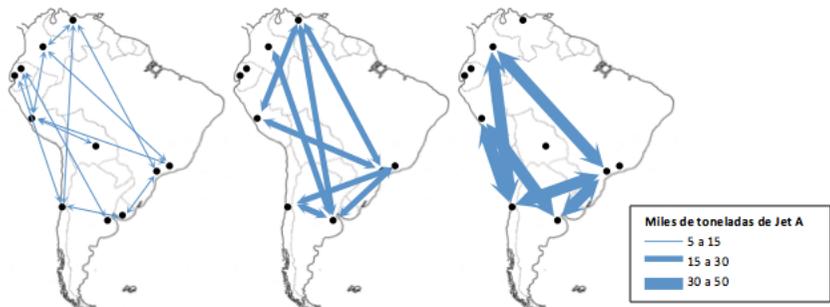


Figura 4. Consumo de combustible Jet A en las principales rutas aéreas de la región SAM, escenario 2013

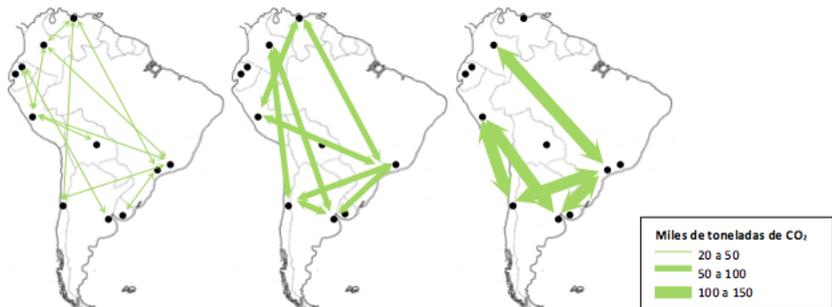


Figura 5. Emisiones de CO₂ en las principales rutas aéreas de la región SAM, escenario 2013

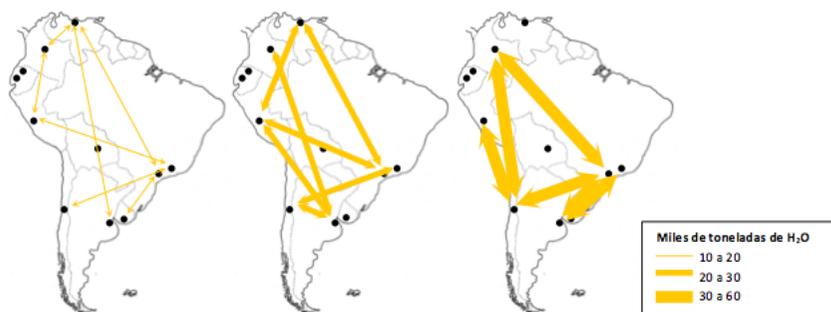


Figura 6. Emisiones de H₂O en las principales rutas aéreas de la región SAM, escenario 2013

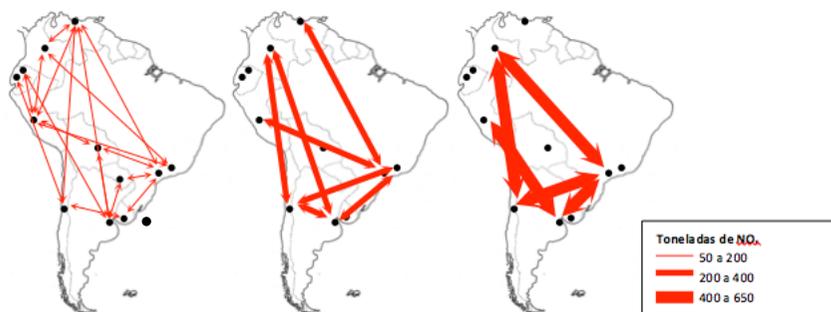


Figura 7. Emisiones de NO_x en las principales rutas aéreas de la región SAM, escenario 2013

De todos los gases contaminantes estudiados se observa que las rutas de Bogotá - San Pablo, Santiago - San Pablo, Buenos Aires - San Pablo y Santiago - Lima son las aerovías de mayor contaminación. De las 2 millones de toneladas de dióxido de carbono emitidas en el año 2013, en la ruta Santiago - San Pablo se emitió aproximadamente el 7% (150 mil toneladas de CO₂). Por otro lado el operador aéreo LAN Chile, transportando el 19% de los pasajeros en la región, emite el 20% de las emisiones de CO₂, el 24% de H₂O y el 22% de NO_x.

Se muestra a continuación la distribución del consumo de combustible de acuerdo a las principales aerolíneas y los fabricantes de aeronaves:

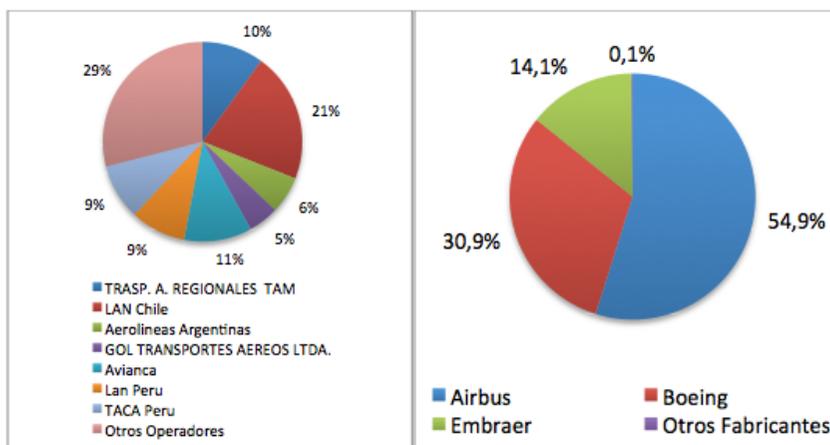


Figura 5. Distribución de consumo de combustible por operador aéreo y fabricante de aeronave, Escenario 2015

4. Conclusión

De acuerdo a las 180 rutas aéreas interregionales analizadas, se observa una gran concentración de las operaciones dado que aproximadamente el 50% de los pasajeros son transportados solo en 9 aerovías, las cuales unen principalmente las ciudades de Santiago, Buenos Aires y San Pablo, entre otras.

Por otro lado se destaca el peso relativo de los operadores aéreos TAM y LAN Chile, dado que juntos transportan el 30% de los pasajeros en toda la región y consumen el mismo porcentaje de combustible. Comparando las figuras 3 y 5 se observa como las aeronaves Airbus transportan casi el 60% de los pasajeros en la región y consumen menos del 55%. Dicha diferencia es consecuencia de la edad de flota y tipo de motores, entre otros.

Por otro lado, realizando un cálculo estimado del índice de emisiones por pasajero transportado (Emisiones CO₂/PAX) en distintas rutas, se obtuvo que el valor de dicho índice es la tercera parte del obtenido mediante el calculador online de OACI de emisiones de carbono (ICAO, 2008). Dicho análisis comparativo debe ser estudiado con mayor profundidad debido a las hipótesis adoptadas por OACI.

Análisis posteriores deberán tener en cuenta el estudio realizado mediante el uso de distintos software de simulación para la comparación y validación de los resultados aquí obtenidos.

Referencias

- Airbus (2014). Flying on demand: 2014 - 2033.
- Baughcum, S.L. Henderson, S.C. Hertel, P.S. Maggiora, D.R., Oncina, C.A. Stratospheric Emissions Effects Database Development.
- Baughcum, S.L. (1997). Aircraft Emission Inventory Projected in year 2015 for a high Speed Civil Transport Universal Airlines network, 7963(July).
- Brasseur, G.P., Cox, R., Hauglustaine, D., Isaksen, I., Lelieveld, J., Lister, D.H., Sausen, R., Schumann, U., Wahner, A., Wiesen, P. (1998). European scientific assessment of the atmospheric effects of aircraft emissions. *Atmos. Environ.*, 32(13), 2329-2418.
- European Environment Agency, *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013*, no. 12. 2013.
- Flightglobal (2014a). World Airliner Census.
- Flightglobal (2014b). Airline Market Review.
- Fuglestvedt, J.S., Shine, K.P., Berntsen, T., Cook, J., Lee, D.S., Stenke, A., Skeie, R.B., Velders, G.J.M., Waitz, I. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Metrics. *Atmos. Environ.*, 44(37), 4648-4677.
- Gierens, K., Sausen, R., Schumann, U. (1999). A Diagnostic Study of the Global Distribution of Contrails Part II: Future Air Traffic Scenarios," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 63, no. 1999, pp. 1–9, 1999.
- Heywood, J.P. (1998). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill.
- Henderson, S.C., Wickrama, U.K., Baughcum, S.L., Begin, J.J., Franco, F., Greene, D.L., Lee, D.S., McLaren, M., Mortlock, K., Newton, P.J., Schmitt, A., Sutkus, D.J., Vedantham, A., Wuebbles, D.J. (1999). Aircraft Emissions: Current Inventories and Future Scenarios. *Aviat. Glob. Atmos.*, 290-331.
- ICAO (2008). Carbon Emissions Calculator.
- Kim, B. Fleming, G. Balasubramanian, S. Malwitz, A. Lee, J., Gillette, W. (2005). Inventories for 2000 through 2004. *Security*, no. September.
- Köhler, M.O., Rädcl, G., Dessens, O., Shine, K.P., Rogers, H.L., Wild, O., Pyle, J. (2008). Impact of perturbations to nitrogen oxide emissions from global aviation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 113, 1–15.
- Lee, D.S., Fahey, D.W., Forster, P.M., Newton, P.J., Wit, R.C.N., Lim, L L., Owen, B., Sausen, R. (2009). Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmos. Environ.*, 43, 3520–3537.
- Lee, J.J., B.S.M. Engineering (2005). *Modeling Aviation's Global Emissions, Uncertainty Analysis, and Applications to Policy*.

- Lukachko, S.P., Waitz, I. (1996). Effects of Engine aging on aircraft NOx Emissions. *Focus (Madison)*, 1–15.
- Penner, E., Lister, D. H., Griggs, D. J. Dokken, D.J., McFarland, M. (1999). *Aviation and the Global Atmosphere: A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Working Groups I and II*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, U.K, 373.
- Penner, J.E. (1999). *Aviation and the global atmosphere: a special report of IPCC Working Groups ...*, 373.
- Sausen, R., Gierens, K., Ponater, M., Schumann, U. (1998). A diagnostic study of the global distribution of contrails Part I: Present day climate. *Theor. Appl. Climatol.*, 61, 127–141.
- Simone, N.W., Stettler, M.E.J., Barrett, S.R.H. (2013). Rapid estimation of global civil aviation emissions with uncertainty quantification. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, 25, 33-41.
- Stevenson, D.S., Doherty, R.M., Sanderson, M.G., Collins, W.J., Johnson, C.E., Derwent, R.G. (2004). Radiative forcing from aircraft NOx emissions: Mechanisms and seasonal dependence. *J. Geophys. Res. D Atmos.*, 109.
- Tarrason, L., Jonson, J.E., Berntsen, T.K., Rypdal, K. (2002). Study on air quality impacts of non-LTO emissions from aviation, *Contract*, 3.
- Van Ness, S. (1996). *Chemical Engineering Series*. Ed. McGRAW.
- Wild, O., Prather, M.J., Akimoto, H. (2001). Indirect long-term global radiative cooling from NOx emissions. *Geophys. Res. Lett.*, 28(9), 1719–1722.
- Wilkerson, J.T., Jacobson, M.Z., Malwitz, A., Balasubramanian, S., Wayson, R., Fleming, G., Naiman, D., Lele, S.K. (2010). Analysis of emission data from global commercial aviation: 2004 and 2006. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 6391-6408.
- Wuebbles, D., Gupta, M., Ko, M. (2007). Evaluating the Impacts of Aviation on Climate Change. *Eos, Trans. Am. Geophys. Union*, 88(14), 157.

Método dinámico para determinar la capacidad de sector de los centros de control de área de México

Luis Gerardo Escobar Magaña¹, Alfonso Herrera García²

¹ Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano, México.

² Instituto Mexicano del Transporte, México.

luisgerardoescobar@yahoo.com.mx, aherrera@imt.mx

Abstract

El presente estudio tiene por objeto proponer un nuevo método para determinar la capacidad de sector de los centros de control radar en México bajo el marco de la aplicación del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS), que coadyuve de forma práctica y sencilla al establecimiento de las capacidades máximas en todos los sectores de los centros de control de este país; y para mejorar la gestión de los riesgos de seguridad operacional de los servicios de tránsito aéreo.

Aunque el método sugerido en este trabajo puede ser mejorado, se considera que en el marco del SMS, tiene la ventaja de que corrige las fallas del método anterior y propone uno funcional y asequible.

La seguridad en la aviación mundial se debe fundamentalmente a la capacidad que ha tenido para medir y controlar, en forma sistemática, los rangos máximos y mínimos de los subsistemas que la componen.

Los prestadores de servicios de tránsito aéreo deben medir la capacidad máxima de volumen de tráfico que pueden manejar en forma segura, considerando principalmente la cantidad de personal disponible, configuración y estructura de las áreas de control diseñadas, y los equipos y condiciones meteorológicas. Con la finalidad de proporcionar la seguridad óptima a todas las aeronaves que son controladas y en medida en que aumente el tráfico, planear el crecimiento futuro de los servicios de tránsito aéreo de forma dinámica y segura.

Palabras clave: aviación, centro de control radar, sistema de gestión de seguridad operacional, tránsito aéreo.

1. Introducción

Los prestadores de servicios de tránsito aéreo tienen la obligación de medir la capacidad máxima de volumen de tráfico que pueden manejar de forma segura, tomando en cuenta principalmente la cantidad de personal disponible, configuración y estructura de las áreas de control diseñadas, los equipos y las condiciones meteorológicas. El presente estudio tiene por objeto proponer un nuevo método para determinar la capacidad de sector de los centros de control radar en México bajo el marco de la aplicación del sistema de gestión de seguridad operacional, que coadyuve de forma práctica y sencilla al establecimiento de las capacidades máximas en todos los sectores de los centros de control.

2. La gestión del tránsito aéreo

2.1 Antecedentes

El propósito del control de tránsito aéreo es ofrecer un servicio seguro y eficiente, para lograr un adecuado equilibrio entre la demanda de los usuarios y la capacidad de los recursos, humanos, materiales y financieros con los que cuenta el sistema. En México le corresponde a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) prestar y controlar los servicios a la navegación aérea y establecer las condiciones de operación a que deben sujetarse; expedir y aplicar las medidas y normas de seguridad en la aviación civil, así como, verificar su cumplimiento (PEF, 1995). Para las tareas relacionadas con proporcionar los servicios de tránsito aéreo, por decreto presidencial se creó el órgano desconcentrado, Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) (DOF, 1978), y para la creación de normas y la vigilancia de la aplicación de las mismas se estableció la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), ambas entidades públicas dependientes de la SCT.

Se debe enfatizar que la mayoría de las normas aplicadas en materia de seguridad de aviación civil emanan del Convenio Sobre Aviación Civil Internacional, el cual el Estado Mexicano signó (DOF, 1979), convirtiéndose en miembro activo de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), por lo cual la mayoría de sus disposiciones son de aplicación obligatoria en México. De acuerdo con la OACI son los Estados de los países miembros quienes tienen la responsabilidad de que el nivel de los servicios de tránsito aéreo (ATS) y de comunicaciones, navegación y vigilancia, así como los procedimientos de control de tránsito aéreo aplicables al espacio aéreo o al aeródromo de que se trate sean apropiados y adecuados para mantener un nivel aceptable de seguridad.

2.2 La capacidad del sistema de los servicios de tránsito aéreo en el espacio aéreo superior

Los prestadores de servicios de tránsito aéreo tienen el compromiso de medir y diagnosticar la capacidad del volumen de tráfico que pueden atender en forma segura, con el fin de identificar limitaciones y proponer mejoras. Este estudio se enfoca en el espacio aéreo superior, es decir, el servicio que se proporciona por los centros de control de área radar. Los factores que inciden principalmente en esta capacidad son: la complejidad estructural de cada uno de los sectores de control; la carga de trabajo del controlador (incluye las tareas de control y de coordinación); los sistemas utilizados en comunicaciones, navegación y vigilancia; y su grado de fiabilidad y disponibilidad técnica; así como la disponibilidad de sistemas o procedimientos de reserva; la disponibilidad de los sistemas de control de tránsito aéreo que proporcionan apoyos a los controladores y funciones de alerta; y cualquier otro factor que influye en la carga de trabajo del controlador, por ejemplo, las condiciones meteorológicas adversas. El prestador de servicios al aplicar medidas para aumentar la capacidad, deberá asegurar que no se pongan en peligro la seguridad del servicio. Para lo cual, tendrá que determinar el número máximo de vuelos que se puede atender en condiciones de seguridad, estableciendo de esta forma la capacidad del control de tránsito aéreo (ICAO, 2007).

2.3 La capacidad de control de tránsito aéreo declarada

La OACI recomienda que para poder llevar a cabo una gestión del tránsito aéreo eficiente y segura, los Estados contratantes deben declarar la capacidad que pueden ofrecer con sus servicios de control de tránsito aéreo. La definición de capacidad declarada se establece en el Anexo 11 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional: “Medida de la capacidad del sistema del control de tránsito aéreo (CTA) o cualquiera de sus subsistemas o puestos de trabajo para proporcionar servicio a las aeronaves durante el desarrollo de las actividades normales.” Se expresa como el número de aeronaves que entran a una porción concreta del espacio aéreo en un período determinado, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, la configuración de la dependencia CTA, su personal y equipo disponible, y cualquier otro factor que pueda afectar al volumen de trabajo del controlador responsable del espacio aéreo (OACI, 2001). Una vez establecida la capacidad declarada del Sistema CTA, la dependencia encargada de proporcionar los servicios de tránsito aéreo deberá implementar un Servicio de Gestión de Afluencia del Tránsito Aéreo (ATFM) con el objetivo de contribuir a una circulación segura, ordenada y expedita del tránsito aéreo. Asegurando que se utilice al máximo la capacidad del CTA, y que el volumen de tránsito sea compatible con las capacidades declaradas por la autoridad ATS competente (ICAO, 2007).

3. La capacidad del espacio aéreo superior

La capacidad del espacio aéreo no es ilimitada, por lo tanto, debe ser optimizada por los prestadores de los servicios de tránsito aéreo en función de la capacidad del sistema CTA, el número de sectores y su complejidad, la disponibilidad del personal y la carga de trabajo del controlador, además se debe considerar el grado de automatización y calidad de los equipos. Para determinar la capacidad de un sector aéreo es de suma importancia determinar la carga de trabajo del controlador de tránsito aéreo. Los puntos más importantes que inciden en este aspecto son: el porcentaje de tiempo dedicado exclusivamente a la comunicación con las aeronaves; la cantidad de aeronaves en el sector; el tamaño del sector aéreo, en su dimensión vertical y horizontal; el manejo de las herramientas de trabajo; la complejidad del sector; y la mezcla de tipo de tráfico (categoría y velocidades de las aeronaves bajo jurisdicción).

3.1 Modelo de capacidad de sector implementado por SENEAM

En 2007, SENEAM publicó la metodología de medición para la determinación de la capacidad de sector (SCV) de los centros de control radar en México. El método consiste en dividir el tiempo promedio de vuelo en el sector (TPS), entre el total del tiempo empleado para desempeñar las funciones de control (TFC) para manejar una aeronave, al cual se le agrega un factor constante (1.3) que contempla el tiempo que un controlador invierte en la planeación, organización del tránsito y vigilancia radar en un sector. El resultado obtenido se representa en la formula siguiente:

$$SCV = TPS / (TFC \times 1.3) \quad (3.1)$$

3.2 Fórmula de capacidad horaria de sector establecida por SENEAM

En la metodología señalada antes, SENEAM presentó la fórmula para establecer la capacidad horaria (CH), es decir el máximo número de aviones que pueden ser controlados de manera segura en una hora.

$$CH = 3600 \text{ segundos} \times SCV / TPS \quad (3.2)$$

Mediante esta fórmula se establece por primera vez la capacidad para cada uno de los sectores de todos los centros de control de área de México, con objeto de planear el desarrollo seguro en el espacio aéreo superior. Además, determinó

un tiempo promedio de 30% que todo controlador debe utilizar en planeación, organización del tránsito y vigilancia.

3.3 Oportunidades de mejora en la fórmula de capacidad de sector de SENEAM

Existe imprecisión al considerar un tiempo de 30% para funciones de planeación, organización del tránsito y vigilancia radar. Este factor fue establecido en función del TFC, que es el tiempo promedio empleado en desempeñar funciones de control, como aceptación/transferencia de control, comunicaciones, separaciones y coordinaciones (fórmula 3.1). Este enfoque podría ser impreciso, ya que implica que al avión con el que el controlador más se comunice y del que más coordine, es el que más debe vigilar y planear su vuelo, lo cual no es así en la realidad, debido a que todos los aviones son vigilados con atención, y se planea y proyecta su vuelo, sin importar que se reciban o no llamadas por parte del controlador. Por otra parte, este valor de 30% es más bajo que el establecido por la OACI. Esta organización recomienda que para condiciones de control de área se debe aplicar entre un 40% y 60% del tiempo para dichas funciones (ICAO, 2009). Además, la fórmula no considera que las capacidades del controlador disminuyen con el aumento del tráfico. Esto implica que no se debe esperar un comportamiento lineal en la capacidad del sistema. Finalmente, se observan inconsistencias entre los datos reales y los estimados con las fórmulas anteriores. La SCT realizó, en 2007, mediciones de 700 horas de trabajo de los controladores aéreos y de miles de aviones que transitaban diariamente en varios centros de control de México, para obtener los datos exactos del tiempo promedio de permanencia en el sector (TPS), del tiempo promedio empleado en funciones de control (TFC) y de la capacidad de sector (SCV). Sin embargo, los resultados fueron desconcertantes y en ocasiones diametralmente opuestos a lo estimado.

4. Nuevo método para determinar la capacidad de sector de los centros de control radar de México

La forma en la que SENEAM determinó la capacidad de sector de los centros de control radar en México fue por medio de una investigación de campo; en cambio, en el nuevo método propuesto se determina por medio de ejercicios en laboratorio. Se debe tener presente que no todos los controladores tienen las mismas habilidades y capacidades. Sin embargo, que alguien controle muchos aviones no quiere decir que lo haga correctamente. Por ejemplo, puede hacerlo faltando al reglamento ocasionalmente usando mala fraseología para acortar tiempos, omitiendo coordinar por los canales adecuados, o incluso hacerlo de manera temeraria. En cambio, el método que utiliza un ambiente controlado, permite apearse a lo que dictan los manuales de procedimientos establecidos,

y además, se tiene la posibilidad de repetir los ejercicios para corroborar los datos.

4.1 Los elementos de medición espacio/tiempo

Los factores espacio-tiempo son las limitantes más importantes para la cantidad de tráfico que se puede controlar. Es decir, medir el tiempo total de uso de frecuencia o el tiempo que dura una aeronave en cruzar un espacio determinado, aporta una parte importante de la cantidad del tráfico que puede albergar un espacio aéreo. Esto implica conocer las dimensiones de los sectores, la velocidad de las aeronaves y la fraseología. Por lo tanto, en este estudio se inicia con la medición de estos factores en laboratorio, para estimar un valor inicial aproximado de la capacidad de sector.

4.2 Tamaño de sector considerado en el estudio

En este estudio se consideró un espacio aéreo de 160 millas náuticas. Debido a que la mayoría de las aeronaves que vuelan en el espacio aéreo superior tienen una velocidad de crucero de aproximadamente 8 millas náuticas/minuto, se establece un espacio aéreo de 20 minutos, semejante al ancho de muchos sectores aéreos de la República Mexicana. Por lo tanto, el tiempo promedio de vuelo en el sector (TPS) para cada aeronave es igual a 20 minutos ó 1,200 segundos.

4.3 Tiempo de uso de frecuencia aire/tierra

El siguiente factor de carga de trabajo de un controlador, y que toma gran parte de su tiempo, es el uso de la frecuencia, es decir, el tiempo que dura la ejecución de un mensaje, y cuánto dura éste en ser colacionado por el piloto. Es importante aclarar que existe un manual de fraseología estándar donde se proporciona la fraseología correcta y también la DGAC ha expedido una norma oficial mexicana donde se establecen las reglas para el uso de fraseología aeronáutica (DGAC, 2011). Después de realizar el ejercicio en laboratorio, se estimó que 20 segundos es el tiempo promedio utilizado entre la interacción de un Controlador/Piloto, para establecer un primer contacto de entrada, esto incluye la manipulación de las herramientas del controlador para seleccionar la traza radar, medir y dar la ubicación exacta a la aeronave.

4.4 Relación espacio/tiempo primer contacto (contacto de entrada)

Como se señaló antes la interacción Piloto/Controlador durante el primer contacto toma aproximadamente 20 segundos en una comunicación básica, siempre y cuando no se requiera nada extra por parte del piloto o del controlador. Por lo tanto, si ésta fuera una línea automatizada, sin tiempos de espera entre uno y otro avión que entra en el sector, y con la frecuencia siempre ocupada y hablando sin parar, en un minuto se podrían atender tres aviones entrando al sector, y en 20 minutos que es el ancho del sector en esta aerovía, hipotéticamente cabrían 60 aviones.

4.5 Relación espacio/tiempo del segundo contacto (contacto de salida)

En un caso hipotético, en donde se alimenta continuamente de aviones al sector, el sistema se colapsa cuando el avión 1 llega a su frontera de salida y debe despedírsele por la frecuencia y el avión 61 llama queriendo entrar. Despedir un avión correctamente con la fraseología adecuada requiere en promedio de 19 segundos. En este punto la frecuencia se bloquearía al llamar dos aeronaves al mismo tiempo, una queriendo entrar y otra salir. La respuesta a este problema es que después de los primeros 20 minutos, la línea de producción de aviones, debe ser alimentada cada 39 segundos ($20 + 19$) para que trabaje a su máxima capacidad. Por lo anterior, la capacidad del sistema se reduce a aproximadamente 30 aviones de capacidad máxima en un sector ($1200/39$). Esto para mantener la frecuencia siempre ocupada, hablando sin descansos y presentándose dos contactos sencillos por avión.

4.6 Los aviones deben ser vigilados por los controladores de tránsito aéreo

Hasta ahora, en el ejemplo, se han considerado aviones sin conflictos, sin descensos o ascensos, sólo dos contactos muy sencillos (uno de entrada y otro de salida) y volando todos ellos en un mismo sentido. Sin embargo, los aviones en realidad se comportan de manera distinta y se deben vigilar para mantener la seguridad de los mismos, ya que se pueden desviar de su ruta o tener trayectorias que converjan con otros tráficos, reduciendo su separación y generando conflictos. En este estudio y de acuerdo con la OACI (ICAO, 2009) se adoptó el mínimo porcentaje recomendado, que es de 40% como tiempo de control en la planeación y vigilancia radar. Por lo tanto, 8 minutos (el 40% de 20 minutos) es el tiempo mínimo que se debe dedicar a la vigilancia y planeación; y el resto, 12 minutos, es utilizado en carga de trabajo para el manejo de las frecuencias y coordinaciones. Bajo esta consideración se reduce a 18 aviones la capacidad del sistema ($12 \text{ minutos} \times 60 \text{ segundos} / 39 \text{ segundos}$).

Además, se debe considerar que algunas tripulaciones solicitan algo más durante el vuelo. Para estimar los efectos de esta condición se llevó a cabo un estudio de campo en el centro de control Mazatlán. Los resultados indicaron que una de cada tres tripulaciones (dependiendo del sector y de las condiciones meteorológicas), realizaba contactos extras solicitando cambios de nivel, volar directo a un fijo, modificación de ruta o información de turbulencia, entre otros. Bajo esta consideración, hasta este momento el nuevo método establece que la capacidad de sector (SCV) es la siguiente:

$$SCV = ((TPS \times 0.6)/39) \times (2/3) = ((1,200 \times 0.6)/39) \times (2/3) = 12.3$$

Es decir, a cada avión se le otorgarían 39 segundos de comunicación básica, más 19.5 segundos de comunicación complementaria, de tal forma que en promedio cada avión recibiría 58.5 segundos de atención por la frecuencia durante su recorrido en el sector.

4.7 La complejidad del sector influye en la carga de trabajo del controlador

Un factor que no fue considerado por SENEAM, pero que influye directamente en la carga de trabajo del controlador, y que incrementa el número de contactos que se deben realizar, es lo que se denomina aquí como complejidad del sector. Ésta es una suma de variables, que hacen algunos sectores más complejos de administrar que otros. Para este estudio los puntos que hacen más complejo a un sector se han identificado bajo los siguientes factores: la estructura de aerovías del sector; la cantidad de aeronaves en ascenso y descenso; el número de sectores colindantes; la presencia de operaciones militares y zonas especiales; y los factores meteorológicos.

Para tener en cuenta la complejidad del sector en esta propuesta se reduce la carga de trabajo del controlador un quince por ciento. Este factor debe ser aplicado cuando el sector que se trabaja colinda con más de cuatro sectores; o en su interior se albergan o colindan tres o más aeropuertos. Bajo estas condiciones se aumenta el número de ascensos y descensos en el sector. Sin embargo, se considera que la complejidad del sector se debe ajustar si se presentan otros factores fortuitos como, por ejemplo, condiciones meteorológicas complejas o fallos de frecuencias (ruidosas o entrecortadas). El valor se debe ajustar en múltiplos de 0.10 partiendo de 0.15 (0.25, 0.35, etcétera), de acuerdo con la gravedad del caso, con objeto de aumentar el tiempo de planeación y control derivado de la complejidad del sector.

Como se señaló antes la fórmula de SENEAM no considera algún límite para la capacidad de sector. Sin embargo, en la realidad la capacidad del controlador disminuye con el aumento del tráfico. Mientras mayor es el número de

aeronaves que se controlan, se incrementa el riesgo de cometer un error. Al aplicar esta fórmula a los sectores dinámicos que se tienen en México, en donde en ciertas horas del día, por ejemplo, durante los turnos nocturnos se fusionan dos o más sectores en uno solo, podrían resultar cantidades enormes de aeronaves que serían imposibles de manejar por un sólo controlador. Por lo anterior, es necesario establecer un límite restrictivo a la capacidad de sector. Con base en un estudio previo (Kopardekar, et. al., 2008), se determinó que la máxima carga de trabajo que puede soportar un controlador promedio es de entre 21 y 24 tráficos. Arriba de este rango la cantidad excesiva de tráfico ocasiona inminentemente la perdida de separación entre las aeronaves. Por lo cual, para esta propuesta se estableció como restricción un valor de 21 aeronaves a la capacidad de sector.

4.8 La nueva fórmula propuesta

Definiciones y valores constantes:

SCV = Capacidad de sector.

TPS = Tiempo promedio de vuelo en el sector.

TFC constante = 39 segundos = Tiempo de valor constante en desempeñar funciones de control (aceptación/transferencia de control, comunicaciones, separación y coordinación).

Factor de probabilidad de llamadas = 2/3 = Equivale a que uno de cada tres aviones en el sector harán una solicitud extra, que impactan las funciones de control.

Valor constante multiplicativo del TPS = 0.60 = Representa el tiempo promedio que se debe conservar (complemento del 40%) para que un controlador lo invierta en la planeación, organización del tránsito y vigilancia radar.

Valor constante multiplicativo de la capacidad de sector (SCV) = 0.85 = Se aplica cuando se trata de un sector complejo.

Nuevo método SCV:

$$SCV = [(TPS \times 0.60)/39](2/3) \quad (4.1)$$

Nuevo método SCV con sector complejo:

$$SCV \text{ complejo} = \left[[(TPS \times 0.60)/39](2/3) \right] (0.85) \quad (4.2)$$

Tanto en la ecuación 4.1 como en la 4.2 se tiene la restricción de que $SCV \leq 21$.

Es importante señalar que el método utilizado para calcular la capacidad horaria (fórmula 3.2) implementado por SENEAM no debe modificarse. Debido a que una vez corregida la fórmula para determinar la capacidad de sector, los datos que estima se apegan perfectamente al modelo establecido.

5. El nuevo método y su comparación con otras fórmulas para determinar la capacidad de sector

5.1 El método de la Federal Aviation Administration (FAA)

La FAA establece como valor óptimo 10 aeronaves, para un sector donde el periodo de vuelo (TPS) es de 15 minutos (ICAO, 2009). Este valor puede ser ajustado, de acuerdo con la complejidad del sector. Bajo estas consideraciones con el método de la FAA se obtiene $SCV = 10$ aeronaves y con el método propuesto: $SCV = 9.2$ aeronaves. Con el nuevo método se estima un SCV 8% menor que el estimado por la FAA, pero dentro de la tolerancia de ajuste que proponen. Lo anterior se explica al considerar que los sectores estadounidenses son en su verticalidad más pequeños que los mexicanos (hasta una tercera parte). Debido a esto y aunado a la sintaxis de su lenguaje, ajustan su interacción en comunicaciones a un valor constante de 36 segundos. Si se utiliza este factor constante en el nuevo método, se obtienen resultados idénticos.

5.2 El método para calcular la capacidad de sector de Brasil

El Departamento del Control del Espacio Aéreo de Brasil utiliza una metodología para analizar la capacidad de sector distinta a la de la FAA y del nuevo método propuesto. En la referencia ICAO (2009), se presenta un ejercicio usando el método para obtener la capacidad de sector de Brasil. En ese caso con un $TPS = 12$ minutos, se estima una $SCV = 8$ aeronaves. Considerando seis comunicaciones de nueve segundos cada una, entre pilotos y controladores como TFC. Bajo estas condiciones aplicando el método propuesto, se estima un valor de $SCV = 7.3$ minutos. Nuevamente este resultado es muy similar al método sugerido por la OACI. Además, si la fórmula propuesta se ajusta con un TFC constante igual a 36 segundos, que es el valor utilizado por la FAA, los resultados son exactamente iguales ($SCV = 8$ aeronaves).

6. Conclusiones

Aunque el método sugerido en este trabajo puede ser mejorado, se considera que en el marco del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS), implementar un nuevo método para determinar la capacidad de sector presenta las siguientes ventajas al sistema: Corrige las fallas del método anterior y

propone de forma práctica y sencilla el establecimiento de las capacidades máximas de sector. Estandariza y ayuda a mejorar la gestión de los riesgos de seguridad operacional. Impulsa el establecimiento de la capacidad declarada del servicio de tránsito aéreo en todos los centros de control radar. Por último, aporta elementos significativos para mejorar la gestión de afluencia del tránsito aéreo (ATFM) en el espacio aéreo. Así este método no sólo podría aplicarse en México, sino también en otros países miembros de la RIDITA.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Sindicato Nacional de Controladores de Tránsito Aéreo (SINACTA) y del Instituto Mexicano del Transporte (IMT). También, se agradecen las sugerencias y comentarios aportados por Carlos Joaquín Obregón Alburquerque, Julio Piñan Valle y Luis Daniel Vences, controladores de tránsito aéreo de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM).

8. Referencias

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1978). Del día 3 de octubre de 1978. *Acuerdo por el que se crea el órgano desconcentrado, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, denominado Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano* (SENEAM). México.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1979). Del día 4 de mayo de 1979. *Decreto de promulgación del protocolo relativo al texto auténtico cuadrilingüe del Convenio sobre Aviación Civil Internacional* (Chicago 1944), hecho en Montreal, el 30 de septiembre de 1977. México.
- Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). (2011). *Reglas para establecer la utilización de la fraseología aeronáutica*. Circular Obligatoria. CO AV-26/11 1 de agosto de 2011. México.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2007). *Doc 4444 ATM/501. Air Traffic Management*. Fifteenth Edition. Disponible en:
<http://dcaa.trafikstyrelsen.dk:8000/icaodocs/Doc%204444%20-%20Air%20Traffic%20Management/ATM%20%2015%20ed.pdf>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2009). *Guide for the application of a common methodology to estimate airport and ATC sector capacity for the same region*. Regional Project: ICAO RLA/06/901. Peru.
- Kopardekar, P., Rhodes, J., Schwartz, A., Magyarits, S., Willems, B. (2008). NASA Ames Research, Center, Moffett Field, CA 94035; and Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical. Relationship of maximum manageable air traffic control complexity and sector capacity. *26th*

International Congress of the Aeronautical Sciences. Center, Atlantic City, NJ. USA.

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2001). *Anexo 11 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Normas y métodos recomendados internacionales. Servicios de tránsito aéreo*. Decimotercera edición, Julio de 2001.

Poder Ejecutivo Federal (PEF). (1995). *Ley de Aviación Civil*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 12 de mayo de 1995. Última reforma publicada DOF 21-05-2013. México.

Análisis de la influencia del coste salarial y del tamaño sobre la rentabilidad económica: El efecto moderador de las tipologías de aerolíneas

Matías Ginieis Iribarren, Ana Beatriz Hernández-Lara, María Victòria Sánchez-Rebull

Universitat Rovira i Virgili, España.

matias.ginieis@urv.cat, anabeatriz.hernandez@urv.cat,
mariabvictoria.sanchez@urv.cat

Abstract

La rentabilidad en el sector aeronáutico, especialmente en las aerolíneas comerciales es de notable importancia. Prácticamente toda la existencia de una aerolínea depende de la rentabilidad que va logrando en el transcurso de su vida. Diversos autores (Doganis, 2001; Guzhva & Pagiavlas, 2003). Esta investigación pone el énfasis en la necesidad de que estas compañías dispongan de una gestión flexible y activa de su estructura financiera, como una forma de mejorar la rentabilidad y reducir las quiebras que se producen en la industria aérea.

El propósito fundamental de este trabajo consiste en analizar el efecto que los costes salariales y el tamaño de la empresa ejercen sobre la rentabilidad económica de las aerolíneas considerando el efecto moderador de su tipología.

A los efectos de este estudio, se han considerado dos maneras de medir la rentabilidad económica y el tamaño corporativo, a través del número de empleados o del total de activos, con la intención de conseguir una mayor robustez en los resultados. También se han considerado cuatro tipos de aerolíneas (*major carriers* - MJCs, *low cost carriers* - LCCs, *regional carriers* - RECs y *charter carriers* - CHCs).

Se ha trabajado con los datos correspondientes a 190 compañías aéreas europeas durante un período de 10 años (de 2004 a 2013 ambos incluidos), lo que ha permitido construir un panel de 1.366 observaciones. Los resultados obtenidos de los modelos estadísticos ponen de manifiesto que el coste por empleado influye positivamente sobre la rentabilidad económica, sobre todo en las MJCs y en las RECs, mientras que el tamaño de la compañía ejerce un impacto diferente sobre la rentabilidad en función del tipo de aerolínea, siendo

dicho impacto negativo en las RECs y positivo en las LCCs. Estos resultados confirman la importancia de la tipología de aerolínea en la relación del coste salarial y el tamaño de la empresa sobre la rentabilidad económica, no siendo dicha influencia igual en todos los casos.

Los resultados obtenidos son relevantes para entender la rentabilidad económica obtenida por distintos tipos de aerolíneas, caracterizadas por modelos de negocio diferentes, y cómo dichas características pueden influir en el efecto que sobre la rentabilidad económica ejercen variables, como el coste salarial y el tamaño de la compañía.

Palabras clave: Transporte aéreo, rentabilidad económica, tamaño, tipología de las aerolíneas.

1. Introducción

El sector aéreo ha sido objeto de numerosos estudios en la literatura científica a lo largo de los años desde diferentes perspectivas relacionadas con la gestión de las compañías aéreas (Ginieis et al., 2012). Diversas investigaciones señalan que el transporte aéreo representa una contribuye significativamente al desarrollo económico, social y también cultural de un país (Reynolds-Feighan, 2001; Daley, 2009). Las tasas de crecimiento del tráfico aéreo están asociadas positivamente con las tasas de crecimiento del PIB (Chin y Tay, 2001). Comparado con la contribución al PIB de otros sectores a nivel mundial, el global de la industria del transporte aéreo durante el año 2007 ha sido de 465 billones de US\$, siendo más alta que el farmacéutico (con 270 billones de US\$), el textil (286 billones de US\$) o la industria de producción de automóviles (322 billones de US\$) y alrededor de la mitad del global de las químicas (846 billones de US\$) y de la ingeniería electrónica (799 billones de US\$). En el continente europeo, estimamos que la industria del transporte aéreo empleó directamente más de 1.6 millones de personas y contribuyó en 134 billones de US\$ al PIB. Esta industria es un 50% más productiva que el resto de los sectores económicos en conjunto. Asimismo, si combinamos las contribuciones directas, indirectas e inducidas, el sector del transporte aéreo generó alrededor de 4.5 millones de puestos de trabajo en la región y contribuyó con 380 billones de US\$ al PIB (Oxford Economics, 2008). De forma complementaria, a nivel de infraestructuras, los aeropuertos también han contribuido de manera significativa a las economías locales en las que se encuentran (Button, 2003). Puede afirmarse, por tanto, que la demanda de transporte aéreo está vinculada al crecimiento económico, al desarrollo tecnológico, a la globalización actual y a la reducción de las barreras comerciales entre los países, por lo que consideramos interesante estudiar este sector económicamente tan relevante.

La rentabilidad es un factor importante que contribuye a la supervivencia de las compañías aéreas. Muchas aerolíneas se han visto obligadas a emprender una reestructuración considerable con el fin de revertir el descenso de los beneficios obtenidos, mediante la mejora de la productividad y la eficiencia (Oum & Yu, 1998). Aunque existen numerosos estudios que han tratado de explicar la rentabilidad económica de las empresas, aún quedan pendientes de confirmar cuáles son los principales factores que influyen en la misma. Seguramente, esto es debido al gran abanico de variables que pueden afectar a la rentabilidad económica de una compañía. Nos centraremos específicamente en este tipo de rentabilidad, porque considera cómo se utilizan y aprovechan los activos de una empresa (González et al., 2000) y depende de la capacidad y recursos que tiene la misma para desarrollar sus actividades. Además, es considerada una de las mejores maneras de medir la eficiencia de las empresas, en la medida que niveles de activos más altos necesitarán costes financieros y de capital más altos.

En el presente estudio, por tanto, tratamos de aportar una mayor evidencia en la relación entre el tipo o modelo de aerolínea y el tamaño organizativo, con respecto a su rentabilidad. A continuación, presentamos las variables o factores que normalmente suelen incluirse en dichos estudios como aspectos que influyen en la rentabilidad de dichas compañías.

Entre los factores que afectan a la rentabilidad citamos, en primer lugar, la liberalización o desregulación del sector del transporte aéreo llevado a cabo a partir del año 1979 en los EE.UU. Con la misma, se esperaba que las aerolíneas obtuvieran mayores rendimientos. No obstante, algunas compañías tuvieron dificultades para adaptarse al entorno desregulado y para lograr una mejora en su rentabilidad y productividad de una manera sostenida (Oun y Yu, 1995, 1998). En este sentido, otros estudios muestran lo contrario. Estudiadas simultáneamente la desregulación, la privatización y la formación de alianzas estratégicas entre aerolíneas, mediante modelos de frontera estocásticos, se puede afirmar que la desregulación ha incrementado su productividad, mientras que pertenecer a alianzas estratégicas presenta un efecto más bien ambiguo, y la privatización no ha tenido efectos sobre la productividad de las aerolíneas (Sjögren & Söderberg, 2011).

Aunque, un análisis empírico realizado en diez países distintos (Al-Jazzaf, 1999) sugiere una evidencia positiva de la privatización en la rentabilidad de las aerolíneas (con rápidos crecimientos de ventas y otros más moderados de ingresos netos, del total de activos, de gastos de capital y de dividendos), las circunstancias específicas de una compañía aérea en cuestión deben ser bien estudiados antes de proceder con la privatización, por lo que el tipo o modelo de compañía aérea debe ser tenido en cuenta.

No obstante, estos cambios diferenciales producidos en la rentabilidad y productividad de las aerolíneas derivados de la desregulación de la industria aérea, a que nos referíamos anteriormente, no han venido exentos de riesgos (Spiller, 1984), como son una mayor competencia, que obligaba a prestar un mejor servicio y conseguir una mayor productividad, menores costes y reducción de tarifas.

Un segundo factor o antecedente de la rentabilidad de las aerolíneas consiste en el propio modelo organizativo o tipo de compañía aérea. La relación entre el tipo o de modelo de aerolínea y su productividad y eficiencia también ha sido estudiada. Un análisis comparativo realizado entre 2001 a 2008, en función del modelo o tipo de aerolínea muestra que las aerolíneas *low cost* (LCCs) son en promedio más productivas y eficientes que las *full service carriers* (FSCs) (Assaf & Josiassen, 2012). Doganis (2001) señala que una LCCs puede operar de forma sostenible con un 40-50% de los costes unitarios de una compañía aérea tradicional.

Al mismo tiempo, el tráfico de ciertos vuelos o conexiones que venían cubriendo las FSCs, se han llevado a cabo cada vez más por las líneas aéreas regionales

(RECs) que tienen aviones más pequeños y su estructura de costes es más baja, lo cual presumiblemente hacen rentables estas rutas de bajo volumen (Rhoades & Waguespack, 2000) para las RECs en relación al bajo nivel de rentabilidad que anteriormente conseguían las FSCs.

Todo ello hace pensar que el modelo de aerolínea o incluso el tipo de organización puede afectar a los costes, a los ahorros obtenidos en los mismos y, por tanto, a la rentabilidad. En este sentido, los resultados de la estimación del modelo de costes planteado por Hansen et al. (2001) confirman la relación prevista entre el nivel de desempeño de la aerolínea y sus costes. En su modelo, presentan mayores impactos sobre los costes, en un estudio realizado a 10 aerolíneas domésticas de EE.UU. en el que se han utilizado datos trimestrales, mediante el método de análisis de componentes principales aplicado a siete variables que han quedado recogidos en dos factores de performance, la "irregularidad" y la "desorganización". Es decir, la reducción de retrasos de la compañía es uno de los puntos de ahorro de costes más importante para las aerolíneas norteamericanas. Los autores predecían unos costes derivados de las mejoras de estos términos, de entre 1 y 4 billones de dólares anuales.

A su vez, los costes de personal también están relacionados con el modelo o tipo de negocio de la compañía aérea. Algunos autores han demostrado en sus estudios que las LCCs pagan menos a sus empleados que los otros tipos de aerolíneas. En este sentido, Dobruszkes (2006) indica, a partir de información recogida por diversos investigadores, organizaciones y sindicatos, que a los trabajadores de compañías LCCs se les paga menos que a sus similares de las FSCs a pesar de tener una mayor carga de trabajo. Asimismo, Barkin et al. (1995) establece que las aerolíneas LCCs en el mercado aéreo de los EE.UU. llegan a ahorrar entre un 10 y 20% en costes de personal en comparación con las líneas aéreas tradicionales. Por ejemplo, Najda (2003) en su informe establece que compañías LCCs como Southwest y JetBlue Airways poseen costes laborales un 30% a 40% menores a los de las compañías tradicionales.

En tercer lugar, mencionamos como antecedente de la rentabilidad de las compañías aéreas, la zona o región en la que se sitúan las mismas. Lee y Hooy (2012) en su estudio señalan que la región en la que se sitúa la aerolínea tiene influencia directa en la rentabilidad. De acuerdo a los resultados de la muestra de su estudio, las compañías aéreas europeas, en promedio, tienen una mayor rentabilidad, medida por la tasa de retorno de los activos, comparándolas con las aerolíneas de América del Norte y de Asia. A los mismos resultados llegan (Assaf & Josiassen, 2012) que demuestran que las aerolíneas europeas tienen un crecimiento de la eficiencia y la productividad ligeramente superior a las compañías aéreas de EE.UU. Asimismo, ligado con la zona o región en la que se ubican las aerolíneas, Oum et al. (2005) determinaron que la política monetaria de un país es otro factor que puede afectar a la eficiencia y la rentabilidad de las mismas. En su estudio realizado en América del Norte, señalan que aunque las compañías aéreas canadienses han sido considerablemente menos eficientes

que sus competidores estadounidenses, estas fueron capaces de mantener la competitividad por la devaluación de dólares canadienses a lo largo del período de la muestra, lo que provocó que los costes de los insumos fueran más bajos.

Existen estudios (Oun & Yu, 1995, 1998), efectuados en diversos períodos de tiempo y con diferentes compañías aéreas de todo el mundo, cuyas conclusiones muestran que las aerolíneas del mercado Asia-Pacífico, en su mayor parte, son las que gozan de costes sustancialmente más bajos que en otros mercados y, que los costes que tienen las compañías aéreas Europeas son más altos que sus contrapartes de América del Norte. Es decir, las compañías asiáticas, cualquiera sea su tipo, tienen un coste unitario operativo considerablemente menor que las aerolíneas en Europa y América del Norte, debido en parte a sus bajos precios en los inputs (insumos) en general, incluidos los costes laborales.

A su vez, la industria aérea es una industria de networks donde precisamente la ubicación geográfica y el tamaño de las aerolíneas son características importantes de su negocio (Oum et al., 2004). Por tanto, las compañías aéreas deben buscar el capital financiero y humano que les permita satisfacer las constantes necesidades de inversión, motivadas por la presión constante que exige esta industria de mantener actualizada su tecnología. Este hecho vez incide en el elevado riesgo financiero que asumen estas compañías (Capobianco & Fernández, 2004).

Por ello, cabe mencionar, como un cuarto factor, el tamaño de la aerolínea. Sobre la relación entre el tamaño organizativo y la rentabilidad económica, a priori, según las conclusiones alcanzadas en la literatura para la globalidad de los sectores económicos, cabe suponer que un mayor tamaño permite disponer de mayores recursos para trabajar en el mercado y obtener mayores rendimientos mediante economías de escalas, sinergias, mayor fuerza en negociación con proveedores y clientes, etc. (Fariñas et al., 1992; Galve & Salas, 1993; González & Correa, 1998). Según Chin y Tay, (2001), el crecimiento de la aerolínea, en su estudio a aerolíneas asiáticas, entendiéndose crecimiento como el aumento de su tamaño en términos de flota, está relacionado positivamente con su rentabilidad. Esta relación entre el crecimiento de la compañía aérea y el aumento de los beneficios ayuda a predecir las probabilidades de supervivencia de las compañías aéreas, en este caso, asiáticas. Sin embargo, otros estudios concluyen que la rentabilidad disminuye ligeramente después de la privatización, debido a los aumentos en el gasto de inversión de capital y a los costes derivados de su reestructuración financiera y administrativa (Al-Jazzaf, 1999).

A su vez, el tamaño medido en términos de plantilla o de empleados aumenta tras la privatización del sector aéreo, a pesar de los temores previos a responsables de la toma de decisiones de dicha privatización (Al-Jazzaf, 1999), por lo que cabría esperar de ello una reducción de la rentabilidad. Este hecho es relevante, por cuanto diversos autores (Tsoulakas et al., 2008; Maenhout &

Vanhoucke 2011) señalan que los costes laborales, junto con los costes de combustible son las dos categorías de coste más importantes de las aerolíneas porque juntos, representan aproximadamente el 50% de sus costes. No obstante, a diferencia del combustible, la aerolínea sí que puede decidir qué nivel de costes de personal está dispuesto a asumir. Parast y Fini (2010) establecen que la productividad laboral y el salario de los empleados son predictores significativos de la rentabilidad, por tanto, se espera un empleo eficiente de estos costes laborales que pueda reducir los costes operativos de las compañías aéreas y, a la vez, acrecentar sus productividades y rentabilidades.

En este sentido, Doganis (2001) identifica los costes laborales como una de las tres áreas críticas que posibilitan la reducción de costes en las compañías aéreas, comportando, en consecuencia, un aumento de la rentabilidad. Es por ello que lo consideramos un quinto factor que influye en la rentabilidad de las aerolíneas.

Encontramos, por ello, unos resultados no concluyentes en la relación entre la inversión realizada para el crecimiento de la aerolínea, entendida como inversión de capital o activos totales de la empresa y como tamaño de la plantilla de la empresa, y la rentabilidad obtenida por la compañía.

A partir de lo anterior, el propósito de este trabajo es responder a dos preguntas de investigación. En primer lugar, explorar la influencia de los costes de los empleados, por un lado, y el tamaño de la empresa, por otro, sobre la rentabilidad económica en el sector de las aerolíneas; y en segundo lugar, determinar si se pueden esperar algunas diferencias en estas relaciones en función de los diferentes tipos de las compañías aéreas.

Por ello, en la segunda sección del artículo, se presenta la metodología describiendo el proceso de recolección de datos y de medida de las variables utilizadas. Posteriormente, dedicamos un cuarto apartado para presentar los resultados obtenidos del estudio, y, por último, exponemos las conclusiones alcanzadas en el artículo.

2. Metodología

2.1. Recolección de datos

Para llevar a cabo esta investigación, se recogieron datos de 190 compañías aéreas europeas durante un período que cubre diez años, desde 2004 hasta 2013, lo que significa un total de 1.366 observaciones. Se ha decidido comenzar a trabajar desde el año 2004 ya que a partir de dicho año Amadeus publica los estados contables de la mayoría de las compañías aéreas.

La base de datos de Amadeus fue nuestra principal fuente de información, ya que es una de las bases de datos más relevantes y recopila datos económicos y financieros de empresas europeas.

Las compañías aéreas incluidas en la muestra cumplieron los siguientes requisitos:

- Tenían que tener opiniones de auditoría externas favorables durante el período considerado.
- Tuvieron que presentar cada año sus estados financieros individuales.
- Tenían que ser empresas activas en los correspondientes años de estudio.

2.2. Medición de las variables

La variable dependiente de este estudio es la rentabilidad económica de las compañías aéreas europeas. Esta variable se midió mediante el uso de dos indicadores diferentes (Campa et al., 2011; Hernández et al., 2012). La primera de ellas, la rentabilidad económica 1 (EP_1) se calculó como el porcentaje de los resultados de operación o ganancia antes de intereses e impuestos (EBIT) sobre el total de activos de la empresa. La segunda razón de rentabilidad económica 2 (EP_2) fue medida dividiendo EBIT por el número medio de personas empleadas.

El estudio sobre la variable explicativa es doble. Primero, es el coste unitario por empleado (CE). La variable coste por empleado se determinó dividiendo los costes totales de los empleados de cada uno de los años de estudio con el número total de empleados de ese mismo año. Cabe destacar que los autores del presente trabajo conocen que existen diversas categorías de empleados en las aerolíneas y que en este estudio se podría haber utilizado sólo el coste de empleados de alguna de las categorías. No obstante, decidimos considerar trabajar con la totalidad de empleados puesto que en numerosos artículos académicos (Oum & Yu, 1995, 1998; Fernandes & Capobianco, 2001; Gudmundsson, 2004; Oum, Fu & Yu, 2005; Greer, 2008; Heracleous & Wirtz, 2009, Melo Filho et al., 2014; entre otros) se realizan estudios tomando el total de los empleados para llevar a cabo comparaciones de costes dentro de la industria de las aerolíneas.

La segunda variable explicativa es el tamaño de la empresa. Debido a que investigaciones anteriores han considerado diferentes medidas del tamaño de la empresa, en nuestro estudio se consideró apropiado elegir dos indicadores diferentes, como son, el número medio de personas empleadas (EMP) y los activos totales (TA) (Campa et al., 2011; Hernández et al., 2012).

Además, este trabajo también incluyó el efecto moderador de la variable categórica utilizada para identificar el tipo de aerolínea (TYPE). Se subdividió en cuatro tipos diferentes de aerolíneas, y no solo dos tipos, aerolíneas

tradicionales (FSCs) o aerolíneas de bajo coste (LCCs) como generalmente es tratado en la literatura, con el fin de estudiar más detalladamente los costes laborales en cada uno de los tipos: MJsCs, RECs, LCCs y CHCs, y por lo tanto, hemos incluido una variable categórica con cuatro niveles. Al mismo tiempo que se ha aludido la existencia de diferentes estudios que demuestran que las LCCs pagan a sus empleados menos de las FSCs, y que solo comparan LCCs con FSCs sin distinguir si estas últimas son las compañías de bandera o líneas aéreas regulares, regionales o chárteres (Ginieis et al., 2013). Por tanto, nuestro estudio aporta de forma novedosa dicha clasificación, es decir, la variable categórica tipo de aerolínea se encuentra dividida en los cuatro subgrupos mencionados anteriormente.

Estos se han clasificado de acuerdo a las características generales que posee el modelo de negocio de las compañías aéreas en los siguientes: en primer lugar hemos subdividido a las aerolíneas FSCs en dos subtipos, las major carriers (MJsCs) y las regional carriers o aerolíneas regionales (RECs), luego hemos diferenciado a las aerolíneas de bajo coste o *low cost* (LCCs) y a las aerolíneas chárter (CHCs). Por tanto, según los balances contables anuales presentados por las compañías aéreas en los 10 años estudiados (2004-2013) en el presente trabajo, se observa en la Fig. 1, cuanto los costes laborales, en promedio, representan en los ingresos operativos en cada uno de los tipos de aerolíneas. Al comparar, observamos que en las aerolíneas de tipo MJsCs son las que mayor peso porcentual poseen, aproximadamente un 24%. Luego le siguen las RECs con casi un 20% y por detrás se encuentran las aerolíneas de tipo CHCs (14%) y las LCCs (12%).

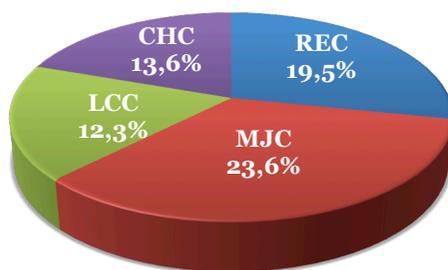


Figura 1. Representación de los costes de personal en los ingresos operativos por tipo de aerolínea

Nuestra categorización MJsCs comprende tanto las aerolíneas de bandera como las compañías regulares. Una aerolínea de bandera es una compañía aérea que está plenamente asociada a un determinado país (Beria et al., 2011), como Air France o Iberia. Estas aerolíneas también disfrutaban de ciertos derechos preferenciales o privilegios otorgados por el gobierno (Button et al., 2007). Una

aerolínea bandera puede ser una empresa estatal (como České Air, República Checa) o de propiedad parte estatal y parte privada, pero el estado es el que administra la empresa (como Finnair, Finlandia). También, una aerolínea bandera puede ser compartida por varios países, como en el caso de SAS, que pertenece a Dinamarca, Noruega y Suecia (Randøy & Strandenaes, 1997). En el caso, de las aerolíneas regulares, las mismas proporcionan un mayor nivel de servicio que las aerolíneas de bajo costo por ejemplo (de Neufville, 2008; Neal & Kassens-Noor, 2011; Tretheway, 2011), especialmente durante el vuelo, tales como servicio de comida y entretenimiento a bordo. Por lo general, ofrecen asientos en primera clase o business. También tienen programas de viajero frecuente y salones privados en determinados aeropuertos. Estas empresas de larga distancia son generalmente miembros de alianzas estratégicas, a través del cual se requieren que sus socios miembros se comprometan a la prestación de estos servicios a sus pasajeros (Klophaus, 2005). Sin embargo, no se consideran a este tipo de aerolíneas representativas de un país como lo son las aerolíneas de bandera. En España, por ejemplo, la aerolínea bandera es Iberia (privatizado), y una línea aérea regular es Air Europa.

Las aerolíneas de bajo coste (LCCs) son diferentes de otras compañías aéreas convencionales. Las LCCs aplican estrategias para reducir algunos costes: utilizar aeropuertos secundarios debido a que estos tienden a cobrar tasas aeroportuarias inferiores (Pantazis & Liefner, 2006; Albers et al., 2010), son aerolíneas de punto a punto, que por lo tanto reducen costes “innecesarios”, como por ejemplo, reclamaciones por pérdida de equipajes (Graf, 2005), operan con una flota de un solo tipo de avión, por lo que se ahorran en entrenar a los pilotos y tripulantes de cabina para operar diferentes tipos de aviones (Mason, 2000).

Las aerolíneas regionales (RECs) operan aeronaves de corto radio, es decir, sólo vuelan dentro de un área geográfica determinada (Rhoades & Waguespack, 2000; Halpern, 2008) y proporcionar servicio aéreo a las comunidades sin suficiente demanda (Santana, 2009). Estas líneas aéreas en general, sirven de conexión para una aerolínea de bandera o regular.

Una compañía de vuelos chárter (CHCs) no comercializa sus servicios a través de los canales habituales de venta (Randøy & Strandenaes, 1997). Estas aerolíneas operan vuelos fuera de los horarios normales o, a través de un acuerdo de contratación con un cliente en particular; también están vinculados a los operadores que ofrecen diferentes paquetes turísticos (Halpern, 2008).

Por último, se utilizó la transformación logarítmica de todas las variables numéricas para evitar problemas de asimetría y obtener una distribución normal en nuestros datos. También se utilizaron los valores estandarizados de estas variables en nuestros análisis.

3. Resultados

La Tabla 1 muestra la estadística descriptiva y matriz de correlaciones de las variables numéricas. Las únicas correlaciones relevantes entre las variables independientes es la que existe entre las dos medidas del tamaño de la empresa, por lo que decidimos no incluir a ambos en el mismo modelo. Además, hay una alta correlación entre las dos relaciones de rentabilidad económica, que sugieren la idoneidad de analizar dos modelos diferentes, uno para cada uno de los indicadores de rentabilidad económica, ganando así una mayor fuerza en nuestros resultados.

Variables	media	sd	Log EP ₁	Log EP ₂	Log CE	Log TA	Log EMP
Log EP ₁	-3.024	1.337	1				
Log EP ₂	9.226	1.623	0.760	1			
Log CE	10.629	0.883	0.020	0.366	1		
Log TA	17.825	2.099	-0.156	0.140	0.292	1	
Log EMP	5.670	1.951	-0.116	-0.163	0.022	0.863	1

Tabla 1. Estadísticas descriptivas y matriz de correlaciones

Para las variables categóricas, como la tipología de las compañías aéreas, se calculó el porcentaje de empresas en cada una de estas categorías. Nuestra muestra indicó que 45,39% de los datos pertenecen a CHCs; 7,47% a LCCs; 21,81% a MJC; y, por último, 25,33% pertenecen a REC aerolíneas.

Además, se realizó análisis de varianza para determinar si algunas diferencias significativas podrían percibirse al comparar empresas de diferente tipología con respecto a nuestras variables numéricas. En las siguientes Tablas y figuras podemos ver los resultados más relevantes.

Variable	CHC		LCC		MJC		REC		ANOVA
	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	F
Log EP ₁	0.042	1.086	0.019	0.679	-0.221	0.915	0.078	0.942	3.358*

Signif. cod.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '+' 1

Tabla 2. ANOVA análisis para EP₁

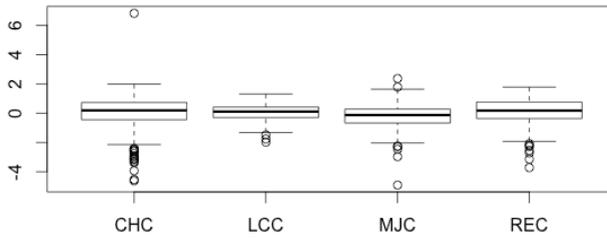


Figura 1. Boxplot para EP₁ por tipo de compañía

Variable	CHC		LCC		MJC		REC		ANOVA
	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	F
Log EP ₂	0.034	1.006	0.512	0.741	-0.133	1.066	-0.115	0.954	7.64***

Signif. cod.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '+' 1

Tabla 3. ANOVA análisis para EP₂

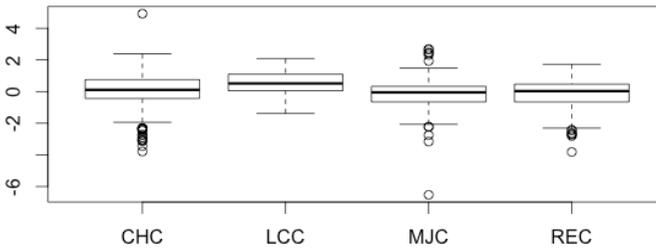


Figura 2. Boxplot para EP₂ por tipo de compañía

Las Tablas 2 y 3 muestran que los valores medios de la rentabilidad económica fueron significativamente diferentes al comparar tipos de aerolíneas. Aerolíneas como las MJs presentan los valores medios más bajos para ambos tipo de rentabilidad económica, mientras que las compañías aéreas RECs muestran el valor medio más alto para EP₁ y las LCCs para EP₂.

Variable	CHC		LCC		MJC		REC		ANOVA
	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	F
Log CE	0.001	1.085	0.333	0.540	-0.092	0.975	-0.022	0.948	4.702**

Signif. cod.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '+' 1

Tabla 4. ANOVA análisis para CE

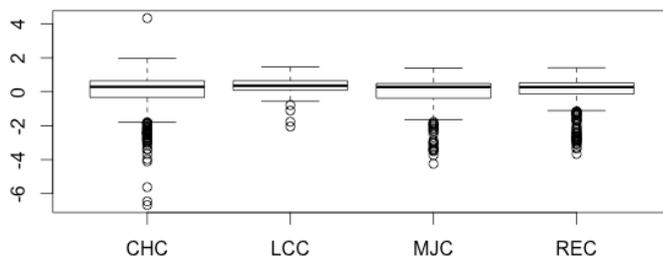


Figura 3. Boxplot para CE por tipo de compañía

En cuanto a la primera variable explicativa, el coste unitario por empleado (CE), podemos observar en la Tabla 4 y la Figura 3, las diferencias significativas en su valor medio cuando se comparan diferentes tipos de líneas aéreas, siendo mayor el coste por empleado en el caso de aerolíneas LCCs y menor para MJC.

Los resultados para el tamaño de la empresa se pueden ver en las siguientes Tablas y figuras.

Variable	CHC		LCC		MJC		REC		ANOVA
	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	F
Log TA	-0.466	0.619	1.036	0.844	0.995	0.977	-0.327	0.755	331,9***

Signif. cod.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '+' 1

Tabla 5. ANOVA análisis para TA

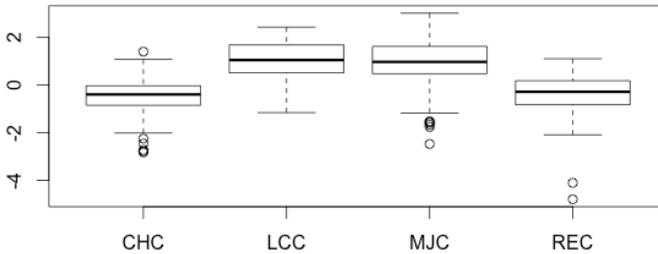


Figura 4. Boxplot para TA por tipo de compañía

Variable	CHC		LCC		MJC		REC		ANOVA
	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	F
Log EMP	-0.558	0.649	0.741	0.757	1.110	0.903	-0.175	0.717	385,3***

Signif. cod.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '+' 1

Tabla 6. ANOVA análisis para EMP

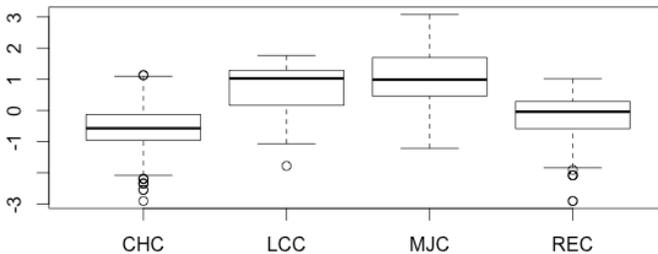


Figura 5. Boxplot para EMP por tipo de compañía

Al ver los resultados de las medidas del tamaño de la empresa, se observan algunas diferencias relevantes y significativas al comparar diferentes tipos de líneas aéreas. Específicamente, las aerolíneas MJC y LCCs que presentan valores medios más altos en términos de tamaño de la empresa (considerando tanto, los activos totales y número de empleados) que las REC y CHCs.

Se consideró conveniente especificar dos modelos para probar los efectos de los costes por empleado y el tamaño de las empresas en la rentabilidad económica, uno para cada medida de la rentabilidad económica como la variable dependiente. En el primer modelo, en donde la variable dependiente EP_1 (EBIT / TA), tamaño de la empresa se determinó a través de los activos totales. Por otra parte, en el segundo modelo donde la variable dependiente fue EP_2 (EBIT / EMP), que incluye el número de empleados como una de las variables explicativas.

Para investigar si el tipo de línea aérea podría fortalecer o debilitar el efecto del coste por empleado y el tamaño de la empresa en la rentabilidad económica, se utilizaron las siguientes ecuaciones de regresión, donde el tipo de aerolínea actúa como término de interacción:

$$EP_{1it} = \beta_0 + \beta_1(CE)_{it} + \beta_2(TYPE)_{it} + \beta_3(EMP)_{it} + \beta_4(CE*TYPE)_{it} + \beta_5(EMP*TYPE)_{it}$$

$$EP_{2it} = \beta_0 + \beta_1(CE)_{it} + \beta_2(TYPE)_{it} + \beta_3(TA)_{it} + \beta_4(CE*TYPE)_{it} + \beta_5(TA*TYPE)_{it}$$

La Tabla 7 muestra los resultados del análisis de regresión. Los dos modelos se incluyen en esta Tabla. Se especifica el primero modelo para la EP_1 variable dependiente, y el segundo modelo para la EP_2 variable dependiente.

Los resultados de la Tabla 7 confirman la influencia de los costes por empleado más que la rentabilidad económica. Parece que la influencia es negativa en el caso de EP_1 , medido en términos de activos totales ($\beta = -0,086$; p-valor $<0,1$), aunque este resultado no es muy confiable, debido al bajo nivel de significación. Por otra parte, la influencia de los costes por empleado en EP_2 , expresada en términos del número de empleados, es muy fuerte y positivo ($\beta = 0,240$; p-valor $<0,001$). Además, la influencia directa del tamaño de la empresa en la rentabilidad económica no parece ser muy relevante en cualquiera de los modelos.

En cuanto al tipo de las líneas aéreas, el efecto no significativo se ha demostrado en el caso de EP_1 . Por el contrario, la influencia en EP_2 fue negativa y significativa para las aerolíneas LCCs, MJs y RECs ($\beta = -0,557$; p-valor $<0,1$; $\beta = -0,267$; valor de p $<0,05$; $\beta = -0,282$; p-valor $<0,01$, respectivamente).

Los efectos moderadores de la tipología de la línea aérea en la relación entre la CE y EP_1 demostraron ser positivos y significativos en el caso de las compañías aéreas MJs ($\beta = 0,373$; p-valor $<0,001$), y también en el caso de las RECs ($\beta = 0,213$; p-valor $<0,05$). Estos resultados significan que la influencia negativa del CE en EP_1 es fuerte y positiva en el caso de las MJs y las RECs. Exactamente se obtuvieron los mismos resultados en el caso de EP_2 . La influencia positiva del CE en la EP_2 ha demostrado ser aún más positivo para las aerolíneas MJs ($\beta = 0,452$; p-valor $<0,001$) y en el caso de las RECs ($\beta = 0,255$; p-valor $<0,01$).

Variables	Model 1		Model 2	
	B	Std. Error	B	Std. Error
Intercept	0.056	0.060	0.075	0.055
TA			0.124	0.077
EMP	0.019	0.074		
CE	-0.086	0.046 +	0.240	0.046 ***
TYPE LCC	-0.245	0.352	-0.557	0.299 +
TYPE MJC	-0.177	0.125	-0.267	0.118 *
TYPE REC	-0.062	0.092	-0.282	0.088 **
CE*LCC	0.176	0.355	0.259	0.317
CE*MJC	0.373	0.102 ***	0.452	0.102 ***
CE*REC	0.213	0.088 *	0.255	0.086 **
TA*LCC			0.439	0.187 *
TA*MJC			-0.117	0.107
TA*REC			-0.320	0.122 **
EMP*LCC	0.147	0.253		
EMP*MJC	-0.135	0.105		
EMP*REC	-0.388	0.120 **		
Adjusted R-Squared	0.049176		0.18637	
F	4.08413***		18.1332***	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '+' 1

Tabla 7. Análisis de regresión

Por último, los efectos moderadores de la tipología de las compañías aéreas en la relación entre tamaño de la empresa y la rentabilidad económica fue negativo y significativo para las aerolíneas REC y EP_1 ($\beta = -0,388$; p-valor $<0,01$); lo que significa que sólo en este caso en las empresas REC podríamos probar la influencia de EMP en EP_1 , pero no en los tipos de otras compañías. En cuanto a EP_2 , podríamos probar un efecto moderador positivo y significativo en el caso de las compañías aéreas de LCC ($\beta = 0,439$; p-valor $<0,05$), y un efecto significativamente negativo moderador para las empresas REC ($\beta = -0,320$; p-valor $<0,01$). Estos últimos resultados significan que a partir de nuestros datos pudimos observar una relación entre TA y EP_2 sólo para las empresas de LCC y REC, esta influencia fue positiva en el caso de las compañías aéreas de LCC y negativo para las empresas REC.

4. Discusión y Conclusiones

La rentabilidad económica de las compañías aéreas ha sido estudiada en este artículo examinando 190 aerolíneas durante un período de diez años, desde 2004 hasta 2013. El principal objetivo de este trabajo fue doble. Por un lado, nuestro propósito fue explorar la relación directa que el coste por empleado y el tamaño de la empresa ejercen sobre la rentabilidad económica. Por otro lado, estábamos interesados en probar si se podían observar algunas diferencias relevantes en esta relación al comparar diferentes tipos aerolíneas.

Los resultados obtenidos, con una muestra de 190 compañías aéreas europeas y un total de 1366 observaciones, revelaron una influencia de los costes por empleado sobre la rentabilidad económica, aunque este efecto no es muy fuerte en EP_1 (medido en términos de activos totales), y si es muy fuerte y positivo para EP_2 (medida en términos del número de empleados). Sin embargo, esta influencia directa no se observó en el caso del tamaño de la empresa, ya sea cuando se mide por el total de activos o el número de empleados, lo que significa, por lo tanto, que el tamaño de la empresa no parece tener ningún impacto en términos generales sobre la rentabilidad económica en las aerolíneas europeas.

En cuanto a los efectos moderadores ejercidos por la tipología de las aerolíneas, los resultados confirman algunos de ellos. Por ejemplo, la influencia de los costes por empleado en la rentabilidad económica ha demostrado ser más positiva y más fuerte en el caso en las aerolíneas de tipo MJs y RECs. También, aunque ninguna influencia directa parecería existir entre el tamaño de la empresa y la rentabilidad económica, existe esta relación y es negativa para las empresas RECs, y positiva para las compañías aéreas de LCCs, al menos en el caso de EP_2 . Este último resultado viene a confirmar algunas de las conclusiones alcanzadas en estudios previos. En el caso de las aerolíneas de tamaño mediano o pequeño, como las RECs, existe una relación inversa entre la rentabilidad y ciertas variables, como el caso de los accidentes aéreos, es decir, este tipo de aerolíneas obtienen mayores beneficios de explotación cuando tienen tasas de accidentes más bajas, y que este efecto se observa de manera más pronunciada para el tipo de aerolíneas regionales en comparación con las grandes compañías aéreas (Raghavan & Rhoades, 2005).

Estos hallazgos realmente confirman que la industria aérea no es un sector homogéneo, lo cual se refleja en las diferencias relevantes que muestran los diferentes tipos de líneas aéreas. Hemos puesto de manifiesto, en nuestro estudio, que la rentabilidad económica de las compañías aéreas depende del coste de los empleados y del tamaño de las líneas aéreas, no siendo la misma influencia en todos los tipos de líneas aéreas.

Finalizamos esta sección, remarcando que nuestros resultados aportan información significativa sobre la rentabilidad económica de las compañías aéreas que puede resultar útil para posteriores estudios sobre esta temática.

5. Referencias

- Albers, S., Heuermann, C., Koch, B. (2010). Internationalization strategies of EU and Asia-Pacific low fare airlines. *Journal of Air Transport Management*, 16(5), 244-250.
- Al-Jazzaf, M.I. (1999). Impact of privatization on airlines performance: An empirical analysis. *Journal of Air Transport Management*, 5(1), 45-52.

- Assaf, A.G., Josiassen, A. (2012). European vs. U.S. airlines: Performance comparison in a dynamic market. *Tourism Management*, 33(2), 317-326.
- Barkin, T.I., Hertzell, O.S., Young, S.J. (1995). Facing low-cost competitors: lessons from US airlines. *The McKinsey Quarterly*, 4(4), 86-99.
- Beria, P., Niemeier, H.-M., Fröhlich, K. (2011). Alitalia – the failure of a national carrier. *Journal of Air Transport Management*, 17(4), 215–220.
- Button, K. (2003). Does the theory of the ‘core’ explain why airlines fail to cover their long-run costs of capital?. *Journal of Air Transport Management*, 9(1), 5-14.
- Button, K., Costa, A., Cruz, C. (2007). Ability to Recover Full Costs through Price Discrimination in Deregulated Scheduled Air Transport Markets. *Transport Reviews*, 27(2), 213-230.
- Capobianco, H.M.P., Fernandes, E. (2004). Capital structure in the world airline industry. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(6), 421-434.
- Chin, A.T.H., Tay, J.H. (2001). Developments in air transport: implications on investment decisions, profitability and survival of Asian airlines. *Journal of Air Transport Management*, 7(5), 319-330.
- Daley, B. (2009). Is Air Transport Effective Tool for Sustainable Development? *Sustainable Development*, 17 (4), 210-219.
- de Neufville, R. (2008). Low-cost airports for low-cost airlines: Flexible design to manage the risks. *Transportation Planning and Technology*, 31(1), 35-68.
- Doganis, R. (2001). *The airline business*. Routledge, London and New York.
- Dobruszkes, F. (2006). An analysis of European low-cost airlines and their networks. *Journal of Transporte Geography*, 14(4), 249-264.
- Fariñas, J.C., Calvo, J.L., Jaumandreu, J.M., Lorenzo, M.J., Huergo, E., De la Iglesia, C. (1992). *La Pyme industrial en España*. Madrid: Civitas.
- Fernandes, E., Capobianco, H.M.P. (2001). Airline capital structure and returns. *Journal of Air Transport Management*, 7(3), 137-142.
- Galve, C., Salas, V. (1993): Propiedad y resultados de la gran empresa española. *Investigaciones Económicas*, 17(2), 207-238.
- Ginieis, M., Sánchez-Rebull, M.V., Campa-Planas, F. (2012). The academic journal literature on air transport: Analysis using systematic literature review methodology. *Journal of Air Transport Management*, 19, 31-35.
- Ginieis, M., Sánchez-Rebull, M.V., Campa-Planas, F. (2013). Relationship between type of airline and wage of pilots in Europe. *Aviation*, 17(1), 33-43.

- González, J. I., Hernández, M. C., Rodríguez, T. (2000). Contribución del tamaño y el sector en la explicación de la rentabilidad empresarial. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, 29(106), 903-930.
- González, A., Correa, A. (1998). Crecimiento y tamaño, un estudio empírico. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, 27(95), 541-573.
- Graham, B., Vowles, T. (2006). Carriers within Carriers: A Strategic Response to Low-cost Airline Competition. *Transport Reviews*, 26(1), 105-126.
- Graf, L. (2005). Incompatibilities of the low-cost and network carrier business models within the same airline grouping. *Journal of Air Transport Management*, 11(5), 313-327.
- Greer, M.R. (2008). Nothing focuses the mind on productivity quite like the fear of liquidation: Changes in airline productivity in the United States, 2000-2004. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(2), 414-426.
- Gudmundsson, S.V. (2004). Management emphasis and performance in the airline industry: An exploratory multilevel analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(6), 443-463.
- Guzhva, V.S., Pagiavlas, N. (2003). Corporate capital structure in turbulent times: a case study of the US airline industry. *Journal of Air Transport Management*, 9(6), 371-379.
- Halpern, N. (2008). Lapland's airports: Facilitating the development of international tourism in a peripheral region. *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, 8(1), 25-47.
- Hansen, M.M., Gillen, D., Djafarian-Tehrani, R. (2001): Aviation infrastructure performance and airline cost: A statistical cost estimation approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(1), 1-23.
- Heracleous, L., Wirtz, J. (2009). Strategy and organization at Singapore Airlines: Achieving sustainable advantage through dual strategy. *Journal of Air Transport Management*, 15(6), 274-279.
- Klophaus, R. (2005). Frequent flyer programs for European low-cost airlines: Prospects, risks y implementation guidelines. *Journal of Air Transport Management*, 11(5), 348-353.
- Lee, C.H., Hooy, C.W. (2012). Determinants of systematic financial risk exposures of airlines in North America, Europe and Asia. *Journal of Air Transport Management*, 24, 31-35.
- Mason, K.J. (2000). The propensity of business travellers to use low cost airlines. *Journal of Transport Geography*, 8(2), 107-119.

- Maenhout, B., Vanhoucke, M. (2011). *Days on and days off scheduling of pilots under a variable workload in Airline Industry: Strategies, Operations and Safety* (Book).
- Melo Filho, C.R., Salgado, L.H., Sato, R., Oliveira, A.V.M. (2014). Modeling the effects of wage premiums on airline competition under asymmetric economies of density: A case study from Brazil. *Journal of Air Transport Management*, 36, 59–68.
- Najda, C. (2003). *Low-Cost Carriers and Low Fares: Competition and Concentration in the U.S. Airline Industry*. Department of Economics, Stanford University. 12 Mayo 2003, EE.UU.
- Neal, Z.P., Kassens-Noor, E. (2011). The business passenger niche: Comparing legacy carriers and southwest during a national recession. *Journal of Air Transport Management*, 17(4), 231-232.
- Oum, T.H., Yu, C. (1995). A productivity comparison of the world's major airlines. *Journal of Air Transport Management*, 2(3/4), 181-195.
- Oum, T.H., Yu, C. (1998). An analysis of profitability of the world's major airlines. *Journal of Air Transport Management*, 4(4), 229-237.
- Oum, T.H., Fu, X., Yu, C. (2005). New evidences on airline efficiency and yields: A comparative analysis of major North American air carriers and its implications. *Transport Policy*, 12(2), 153-164.
- Oum, T.H.; Park, J.H.; Kim, K., Yu, C. (2004). The effect of horizontal alliances on firm productivity and profitability: evidence from the global airline industry. *Journal of Business Research*, 57, 844-853.
- Oxford Economics (2008). *Aviation. The Real World Wide Web*. Report. Oxford: Oxford Economics.
- Pantazis, N., Liefner, I. (2006). The impact of low-cost carriers on catchment areas of established international airports: The case of Hanover Airport, Germany. *Journal of Transport Geography*, 14(4), 265-272.
- Parast, M.M., Fini, E.H. (2010). The effect of productivity and quality on profitability in US airline industry: An empirical investigation. *Managing Service Quality*, 20(5), 458–474.
- Raghavan, S., Rhoades, D.L. (2005). Revisiting the relationship between profitability and air carrier safety in the US airline industry. *Journal of Air Transport Management*, 11, 283–290.
- Randøy, T., Strandenes, S.P. (1997). The effect of public ownership and deregulation in the Scandinavian airline industry. *Journal of Air Transport Management*, 3(4), 211-215.

- Reynolds-Feighan, A. (2001). Air-freight logistics. En Brewer, A.M., Button, K.J., Hensher, D.A. (Eds.). *Handbook of Logistics and Supply-Chain Management*. Elsevier Pergamon, Oxford, cap. 28, pp. 431-440.
- Rhoades, D.L., Waguespack Jr, B. (2000). Judging a book by it's cover: The relationship between service and safety quality in US national and regional airlines. *Journal of Air Transport Management*, 6(2), 87-94.
- Santana, I. (2009). Do Public Service Obligations hamper the cost competitiveness of regional airlines? *Journal of Air Transport Management*, 15(6), 344-349.
- Sjögren, S., Söderberg, M. (2011). Productivity of airline carriers and its relation to deregulation, privatisation and membership in strategic alliances (airlines y assets). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(2), 228-237.
- Spiller, P.T. (1984). Assessing the profitability effects of airline deregulation (airline y asset). *Economics Letters*, 14(2-3), 263-267.
- Tretheway, M. (2011). Comment on "legacy carriers fight back". *Journal of Air Transport Management*, 17(1), 40-43.
- Tsoulakas, G., Belobaba, P., Swelbar, W. (2008). Cost convergence in the US airline industry: An analysis of unit costs 1995-2006. *Journal of Air Transport Management*, 14(4), 179-187.

Competencia a la Cournot vs. A la Bertrand: Una aplicación al Mercado del transporte aéreo de negocios en España

Javier Gundelfinger Casar

Fundación Centro Tecnológico en Logística Integral Cantabria, España

javiergundelfinger@hotmail.com

Abstract

Este estudio analiza a la industria del transporte aéreo doméstico en España, primer mercado de este tipo en la Unión Europea tanto por número de pasajeros como por número de aerolíneas que en él operan tras la liberalización de este sector. En este caso se ha puesto el foco en el segmento del pasajero “commuter” o de negocios que realiza un viaje de ida y vuelta en el día. Para ello se implementa un modelo empírico basado en un sistema de tres ecuaciones en el que a través de 113 rutas y a lo largo de 96 quincenas, de 2011 al 2015, se ha logrado componer un panel de datos que muestra a lo largo del tiempo cómo reaccionan los demandantes ante cambios tanto estratégicos de las aerolíneas (frecuencias, capacidad, precios) como de variaciones en los factores socio-económicos.

El análisis se realiza estimando mediante la técnica econométrica de las variables instrumentales una ecuación de demanda en cada ruta, una ecuación de cuota de mercado también para cada ruta y por último una ecuación de precios también por ruta con el propósito de recoger los diferentes comportamientos de los agentes implicados en esta industria y poder determinar si se está produciendo una competencia a la Cournot o la Bertrand.

Objeto: Conocer el comportamiento de las aerolíneas en su fijación de precios dentro de la estrategia por atraer a los pasajeros en el ámbito de negocios.

Diseño/metodología/enfoque: se aplicará un modelo teórico de competencia oligopolístico con diferenciación vertical de productos susceptible de ser contrastado empíricamente a través de tres ecuaciones: una ecuación de demanda, una ecuación de estructura de mercado y una ecuación de precios.

Aportaciones y Originalidad: El artículo aporta robustez a la literatura científica al aplicar la técnica econométrica de las variables instrumentales, método que permite una estimación consistente cuando se sospecha que las variables pueden ser endógenas.

Limitaciones: El artículo se basa en un viajero de negocios “commuter” que vuela en el día, sin tener en cuenta otro tipo de pasajeros de negocios.

Implicaciones sociales: el mantenimiento o mejora de la competencia efectiva en este segmento de la industria aérea en España hace recomendable una mayor competencia en los precios que han de ofrecer las aerolíneas, ya que se está compitiendo mucho más intensamente (del orden de tres veces más) en frecuencias (calidad).

Valor añadido: Se incrementa el número de rutas analizadas en España, al pasar de las 35 que se estudian en otros paper a las 113, y se pasa de una única observación temporal a 96.

Palabras clave: Modelo de competencia oligopolístico, estructura de mercado, transporte aéreo.

1. Introducción

La liberalización del transporte aéreo que se gestó en la Unión Europea a principios de los años noventa siguiendo la corriente que llegaba desde los Estados Unidos ha tenido en España efectos positivos sobre el bienestar del pasajero, ya que éste puede elegir entre más compañías, más frecuencias y precios mucho más reducidos.

El propósito de este ensayo es recoger las diferentes reacciones de los agentes implicados en esta industria y poder determinar si se está produciendo una competencia a la Cournot o la Bertrand a través del estudio de 113 rutas que engloban al 97% de las conexiones que de este tipo se operan en España.

Mediante la observación durante estas 96 quincenas de los precios que a través de su web ofertan las diferentes compañías aéreas que ofrecen servicios de tráfico regular-comercial en el mercado doméstico de nuestro país y de diversas variables socio-económicas se ha procedido a la realización de un panel de datos en forma de matriz de 10.848 filas (la observación de las 113 rutas durante estos 96 periodos t) por 28 columnas, siendo éstas las variables a estudiar).

2. El modelo teórico

La especificación empírica utilizada en este estudio se basa en un modelo de competencia oligopolística con diferenciación vertical de productos, en decir un modelo basado en la calidad del servicio, analizando las frecuencias ofrecidas en cada ruta.

En este modelo, en la última fase del proceso de decisión, cada compañía ($i=1, \dots, N$) produce un conjunto de productos con una calidad (quality) percibida de la compañía, q_i , respecto a la calidad media de todas las compañías que operan en la ruta k , q_k , y las empresas establecen precios en función del régimen de competencia del mercado. Cada consumidor escoge el producto de la compañía que le permite maximizar el ratio calidad-precio, q_i/p_i , de manera que la condición de equilibrio para los precios puede expresarse de la manera siguiente:

$$q_i/p_i = q_j/p_j \quad \text{para cualquier compañía } i, j \quad (1)$$

Dada la condición de la ecuación (1), la función de demanda individual puede ser expresada de la forma siguiente:

$$x_{ik} = x_{ik} (q_{ik}, p_{ik}q_{1k}/q_{ik}, \dots, p_{ik}q_{Nk}/q_{ik}, N_k, e_{vik}) \quad (2)$$

De manera que la cantidad vendida por la compañía i , x_{ik} , cuando operan N_k compañías en la ruta, depende de la calidad percibida de la compañía en la ruta k , q_{ik} , de los precios de la propia compañía en la ruta k , p_{ik} , de la calidad media de todas las compañías que operan en la ruta, (q_k) y de otras variables exógenas (exogenous variables) a la compañía, (ev_{ik}).

Por otro lado, la cuota de mercado de cada compañía, SM_{ik} , depende del precio y calidad relativos de cada compañía respecto al valor medio de la ruta, k , y de otras variables exógenas.

$$SM_{ik} = SM_{ik}(p_{ik}/p_k, q_{ik}/q_k, ev_{ik}) \quad (3)$$

La expresión (6) nos proporcionará la ecuación a estimar de la cuota de mercado.

Suponiendo que las compañías compiten a la Cournot, el proceso de maximización de beneficios, proporciona la ecuación de fijación de precios mark-up sobre los costes marginales:

$$p_{ik} = \Psi_{ik}(q_{ik}/q_k, N_k) \frac{\partial C_{ik}}{\partial x_{ik}} \quad (4)$$

En donde el mark-up, Ψ_{ik} es una función de la calidad percibida relativa de cada compañía respecto al valor medio del mercado q_{ik}/q_k , del número de compañías que operan en el mercado N_k y de los costes marginales $\frac{\partial C_{ik}}{\partial x_{ik}}$. Estos costes dependerán de factores determinantes tales como la distancia, capacidad de la aeronave, frecuencia de servicio y/o el factor de ocupación.

3. El modelo empírico

Todas las variables irán encabezadas por la letra L en las especificaciones empíricas, lo que quiere decir que se utilizan los logaritmos de las variables en cuestión.

3.1 Ecuación de demanda por ruta y compañía

Por la ecuación (2), nuestra especificación empírica para la ecuación de demanda toma la siguiente forma logarítmica:

$$Lx_{ik} = \delta_1 + \alpha_{11} L ev_k + \alpha_{21} L q_{ik} + \alpha_{31} L p_{ik} + \alpha_{41} N_k + \varepsilon_k \quad (5)$$

En donde la variable dependiente es el número de pasajeros transportados en cada ruta, LX_{ik} .

Las variables explicativas incluidas en esta ecuación son las siguientes:

Liev_k: Recoge una proxy de la variable exógena renta (income exogenous variable) aproximada por el índice provincial de producción industrial, (IPI), como proxy de la actividad económica.

Lq_{ik}: Número de frecuencias diarias que ofrece cada una de las compañías aéreas i respecto a la media del mercado en cada ruta k . Se espera un coeficiente positivo de esta variable como indicativo de la “calidad” percibida por el consumidor de este tipo de servicios.

Lp_{ik}: Los precios/milla que ofrecen cada una de las compañías aéreas i en cada ruta k . Se espera un signo negativo en el coeficiente de esta variable, suponiendo una curva de demanda normal.

N_k: Es una variable dummy que representa el número de operadores en cada ruta k y que toma el valor 1 en rutas con competencia de otras aerolíneas y 0 en el resto. Se espera un signo positivo ya que mayor competencia implica de manera implícita mayor demanda en el mercado.

3.2 Ecuación de la cuota de mercado por ruta y compañía

Por la ecuación (3), nuestra especificación empírica para la ecuación de cuota de mercado por compañía toma la siguiente forma logarítmica:

$$LSM_{ik} = \delta_2 + \beta_{12} Lp_{ik} + \beta_{22} Lq_{ik} + \beta_{32} N_k + \varepsilon_k \quad (6)$$

En donde la variable dependiente es la cuota de mercado de cada compañía aérea i en la ruta k en términos del número de pasajeros transportados por cada compañía sobre el total, **LSM_{ik}**. Las variables explicativas incluidas en esta ecuación son las siguientes:

Lp_{ik}: Los precios/milla que ofrecen cada una de las compañías aéreas i en cada ruta k . Se espera un signo negativo en el coeficiente de esta variable, suponiendo una curva de demanda normal.

Lq_{ik}: Número de frecuencias diarias que ofrece cada una de las compañías aéreas i respecto a la media del mercado en cada ruta k . Se espera un signo positivo en el coeficiente de esta variable como proxy de la calidad relativa percibida.

N_k: Es una variable dummy que representa el número de operadores en cada ruta k y que toma el valor 1 en rutas con competencia de otras aerolíneas y 0 en

el resto. Se espera un signo negativo ya que mayor competencia implica de manera implícita menor cuota de mercado.

3.3. Ecuación de precios por ruta y compañía

La especificación de la ecuación de precios, inspirada en (4), es la siguiente:

$$Lp_{ik} = \delta_3 + \theta_{13} Ld_k + \theta_{23} LC_{ik} + \theta_{33} N_k + \theta_{43} Lq_{ik} + \varepsilon_k \quad (7)$$

En donde la variable dependiente es el precio por milla que cobra cada compañía i en cada ruta k , Lp_{ik} . Las variables explicativas incluidas en esta ecuación que aproximan los costes marginales son las siguientes:

Ld_k : La distancia entre el origen y el destino de la ruta k . Se espera un signo negativo en el coeficiente de la variable distancia, dado que los costes por milla disminuyen con la distancia y es de esperar un traslado de estas reducciones a los precios.

LC_{ik} : La capacidad media del avión utilizado por cada compañía i en cada ruta k . El coeficiente de esta variable es indeterminado, dado que a mayor tamaño del avión menores serán los costes y mayor será la calidad percibida por el consumidor.

N_k : Es una variable dummy que representa el número de operadores (operators exogenous variable) en cada ruta k y que toma el valor 1 en rutas con competencia de otras aerolíneas y 0 en el resto. Se espera un signo negativo ya que mayor competencia implica de manera implícita menor poder de mercado (y por tanto menor cuota de mercado) para subir el precio.

Lq_{ik} : Número de frecuencias diarias que ofrece cada una de las compañías aéreas i respecto a la media del mercado en cada ruta k . Se espera un signo positivo en el coeficiente de esta variable como proxy de la calidad relativa percibida.

4. Fuentes de datos y muestra

La muestra utilizada en el análisis empírico incluye noventa y seis observaciones con carácter quincenal desde marzo de 2011 a febrero de 2015 para el mercado doméstico español de vuelos regulares compuesto por ciento trece rutas origen y destino España.

La información del total de pasajeros transportados por la compañía aérea i en la k ruta, x_{ik} y al total de pasajeros nacionales en cada aeropuerto de origen x_{nk} ha sido obtenida a través de las estadísticas de AENA. La información referente a los precios/milla p_{ik} de cada compañía en cada ruta, tiempo de vuelo en la k

ruta, t_k , capacidad del avión empleado por cada operador i en cada ruta k , c_{ik} y frecuencia de los vuelos de la compañía i respecto a la media del mercado q_{ik} en la ruta k ha sido obtenida a través de las páginas web de las propias compañías aéreas y de AENA. La metodología para observar los precios ha consistido en realizar una reserva el primer y segundo miércoles de cada mes para volar el tercer y cuarto miércoles de ese mes (reserva con 15 días de antelación en cada quincena) en cada una de las páginas web de las compañías aéreas que operan cada una de las rutas para un billete de ida y vuelta en el día, y con la condición de llegar al destino antes de las 10h y despegar desde ese destino siempre más tarde de las 16h.

La variable distancia en la ruta k , d_k hace referencia a la distancia en millas que existe entre el origen y el destino de cada ruta. Los datos sobre la cuota de mercado SM_{ik} de cada compañía en cada ruta y del primer operador $SM1_k$ en el aeropuerto de origen de cada ruta han sido obtenidos a través de los informes financieros de las compañías aéreas analizadas.

La variable exógena renta (iev_k) se aproxima por el valor provincial del Índice de producción Industrial IPI ofrecido por el Instituto Nacional de Estadística (INE). El Índice provincial de Precios al Consumo ipc_k corresponde al ofrecido por el INE.

El Índice provincial de Precios Hoteleros iph_k y la suma de la población provincial de cada ruta origen-destino, pob_k , se han obtenido del INE. El importe de las tasas de aterrizaje en cada aeropuerto de destino, tax_k , ha sido obtenido a través de AENA mientras que la cotización del precio del petróleo, $brent_{fuel}$, se ha recopilado a través del portal económico www.cincodias.com.

Por su parte se han incluido las siguientes siete variables dummy: 1) Existencia o no de transporte alternativo directo, -alternative transport- (Dat_k). Tal variable toma el valor 1 en caso afirmativo y 0 en caso contrario. 2) Horas de transporte alternativo, -alternative transport hours- ($Dath_k$) que toma el valor 1 si el modo de transporte alternativo (bus, tren, ferry rápido en el caso de las Islas Baleares) tarda menos de 210 minutos, ya que se considera en ese caso que hay transporte alternativo competitivo, y toma el valor 0 en caso contrario.

3) Número de operadores -operators exogenous variable- (N_k), que toma el valor 1 en rutas con más de un operador y 0 en caso contrario. 4) Existencia de un aeropuerto hub, -hub airport- (Dha_k), que toma el valor 1 en aeropuertos en los que se producen operaciones de vuelos intercontinentales y 0 en caso contrario. 5) Existencia de rutas operadas por líneas AVE, -high speed train- ($Dhst_k$) que toma el valor 1 en rutas en las que este tipo de transporte existe y que toma el valor 0 en caso contrario. 6) Presencia de Ryanair en el aeropuerto origen, -Ryanair existence- ($Drye_k$) que toma el valor 1 en caso afirmativo y 0 en caso contrario. 7) Finalmente, se analiza la posibilidad de que el aeropuerto origen cuente con acuerdos de promoción turística -Tourist promotion agreement- ($Dtpa_k$) tomando como referencia el informe de la Comisión

Nacional de la Competencia de España y que toma el valor 1 en caso de que estos acuerdos existan y 0 en caso contrario.

5. Estimación y resultados

Para evitar los problemas de endogeneidad, se ha procedido a aplicar la técnica de estimación por variables instrumentales (VI). Este método permite una estimación consistente cuando se sospecha que las variables pueden ser endógenas y está basado en la elección de una variable (instrumento) que no pertenece al modelo inicialmente estimado, debiendo estar dicha variable correlacionada con la variable explicativa (endógena) y no estar correlacionada con el término de error de la ecuación estimada. Según Angrist y Krueger (2000) la estimación por variables instrumentales no sólo corrige el problema de endogeneidad, sino que su aplicación también evita un problema de error de medición en la variable endógena.

Dentro de la técnica planteada de una estimación mediante variables instrumentales, se aplicará el método de mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E); así como el método generalizado de momentos (GMM). Este método consiste en un estimador de variables instrumentales, el cual asegura que los parámetros estimados son consistentes bajo el empleo de condiciones que validan la eficiencia con que se utiliza la información disponible.

Las Tablas 1, 2 y 3 muestran los resultados de cada estimación (MC2E y GMM) para la ecuación de demanda, de cuota de mercado y de precios, respectivamente. En las tres Tablas las variables explicativas están marcadas con un asterisco cuando el contraste se realiza en un intervalo de confianza del 90%, con 2 asteriscos si es del 95%, y con 3 asteriscos si es del 99%.

Analizando ya los datos por medio de la Tabla 1 podemos ver como las variables explicativas tienen el signo esperado y son significativas.

De esta forma se demuestra que renta, frecuencias, número de operadores y precios son determinantes importantes en la demanda del transporte aéreo de negocios en España.

Analizando la ecuación de cuota de mercado de la Tabla 2 podemos ver como las variables explicativas tienen el signo esperado, siendo todas significativas. De esta forma se demuestra que el número de operadores, frecuencias y precios son determinantes importantes en la cuota de mercado del transporte aéreo de negocios en España.

La Tabla 3 muestra los resultados para la ecuación de precios. Todas las variables tienen el signo esperado y son significativas, demostrándose que el número de operadores, distancia, capacidad del avión y frecuencias son determinantes importantes en la fijación de los precios que ofrecen las aerolíneas.

Mínimos cuadrados en dos etapas, MC2E.					
Instr: const Dath _k Dha _k Dhst _k Lfuel _k Lipc _k					
Ecuación 1	Coef.	Valor Coef.	Desv. Típica	Estadístico Z	Valor p
Const	δ_0	-6.45	1.75	-3.69	0.0002 ***
Liev _{ik}	α_1	3.66	0.39	9.27	1.83e-020 ***
Lq _{ik}	α_2	2.13	0.19	11.12	9.75e-029 ***
N _k	α_3	0.65	0.14	4.58	4.55e-06 ***
Lp _{ik}	α_4	-0.60	0.06	-8.70	3.21e-018 ***
Sistema de ecuaciones. Mínimos cuadrados generalizados, GMM					
Instr: const Dath _k Dha _k Dhst _k Lfuel _k Lipc _k					
Ecuación 1	Coef.	Valor Coef.	Desv. Típica	Estadístico Z	Valor p
Const	δ_0	-6.48	1.77	-3.65	0.0003 ***
Liev _{ik}	α_1	3.67	0.40	9.17	4.48e-020 ***
Lq _{ik}	α_2	2.13	0.17	12.02	2.64e-033 ***
N _k	A3	0.64	0.13	4.85	1.18e-06 ***
Lp _{ik}	A4	-0.60	0.06	-8.97	2.81e-019 ***

* Intervalo de confianza del 90%. ** Intervalo de confianza del 95%. *** Intervalo de confianza del 99%.

Tabla 1. Resultados de las estimaciones para la Ecuación de Demanda

Mínimos cuadrados en dos etapas, MC2E, mediante Variables Instrumentales.					
Instr: const Lc _k Lxn _k LSM1 _k Dtpa _k					
Ecuación 1	Coef.	Valor Coef.	Desv. Típica	Estadístico Z	Valor p
Const	δ_0	-0.11	0.03	-2.82	0.0047 ***
Lp _{ik}	β_1	0.20	0.03	5.59	0.0000 ***
Lq _{ik}	β_2	-0.23	0.05	-3.87	0.0001 ***
N _k	β_3	-0.56	0.08	-6.66	0.0000 ***
Mínimos cuadrados generalizados, GMM, mediante Variables Instrumentales.					
Instr: const Lc _k Lxn _k LSM1 _k Dtpa _k					
Ecuación 1	Coef.	Valor Coef.	Desv. Típica	Estadístico Z	Valor p
Const	δ_0	-0.11	0.03	-3.15	0.0016 ***
Lp _{ik}	β_1	0.20	0.03	5.93	2.88e-09 ***
Lq _{ik}	β_2	-0.23	0.05	-4.11	3.95e-05 ***
N _k	β_3	-0.56	0.07	-7.50	6.23e-014 ***

* Intervalo de confianza del 90%. ** Intervalo de confianza del 95%. *** Intervalo de confianza del 99%.

Tabla 2. Resultados de las estimaciones para la Ecuación de Cuota de Mercado

Mínimos cuadrados en dos etapas, MC2E, mediante Variables Instrumentales.						
Instr: const Dtpa _k Dath _k Dat _k Lpob _k Liph _k						
Ecuación 1	Coef.	Valor Coef.	Desv. Típica	Estadístico Z	Valor p	
Const	δ_3	3.76	0.64	5.87	4.13e-09 ***	
Ld _k	θ_2	-0.09	0.05	-1.78	0.0745 *	
Lc _{ik}	θ_3	-0.63	0.10	-6.19	5.74e-10 ***	
N _k	θ_3	-1.13	0.10	-11.34	8.37e-030 ***	
Lq _{ik}	θ_4	-0.38	0.14	-2.67	0.0075 ***	
Mínimos cuadrados generalizados, GMM, mediante Variables Instrumentales.						
Instr: const Dtpa _k Dath _k Dat _k Lpob _k Liph _k						
Ecuación 1	Coef.	Valor Coef.	Desv. Típica	Estadístico Z	Valor p	
Const	δ_3	3.70	0.61	6.06	1.33e-09 ***	
Ld _k	θ_2	0.09	0.05	-1.83	0.0667 *	
Lc _{ik}	θ_3	-0.63	0.10	-6.19	5.89e-010 ***	
N _k	θ_3	-1.15	0.09	-12.32	6.74e-035 ***	
Lq _{ik}	θ_4	-0.39	0.13	-2.85	0.0043 ***	

* Intervalo de confianza del 90%. ** Intervalo de confianza del 95%. *** Intervalo de confianza del 99%.

Tabla 3. Resultados de las estimaciones para la Ecuación de Precios

6. Conclusiones

En esta investigación los resultados muestran que predomina la competencia en frecuencias (calidad), frente a la competencia en precios. Los resultados en la ecuación de demanda así lo confirman ya que la elasticidad de la demanda respecto a las frecuencias (2,13) ha resultado ser muy superior a la elasticidad-precio de la demanda (-0,60).

Parece lógico que un mercado de pasajeros commuter –pasajeros de ida y vuelta en el día- con alto valor para estos consumidores del concepto tiempo, las compañías aéreas compitan entre sí vía frecuencias (calidad) por atraer a este perfil de pasajeros. Es decir, en este mercado, las compañías están compitiendo por ofrecer productos de mayor calidad (mayores frecuencias del servicio) que sus rivales en la mayoría de rutas en las que existe más de un operador.

Como conclusión, puede decirse que el mantenimiento o mejora de la competencia efectiva en este segmento de la industria aérea en España hace recomendable una mayor competencia en los precios que han de ofrecer las aerolíneas, ya que se está compitiendo mucho más intensamente (del orden de tres veces más) en frecuencias (calidad).

7. Referencias

- Bhadra, D. (2008). You (expect to) get what you pay for: A system approach to delay, fare, and complaints. *Journal of Air Transport Management*, 15(5), 227-235.
- Benítez Rochel, J.J. (2000). Factores determinantes de la demanda de transporte aéreo y modelos de previsión. *Boletín económico de ICE, Información Comercial Española*, ISSN 0214-8307, 2652, 41-48.
- Betancor, O., Gallego, A., Gonzalez, M.J. (2013). Las tarifas en el mercado español de transporte aéreo. *Observatorio de Transporte Aéreo Fedea*.
- Betancor, O., Viacens, M.F. (2012). La competencia en el mercado español de transporte aéreo. *Observatorio de Transporte Aéreo Fedea*.
- Betancor, O., Viacens, M.F. (2011). Una taxonomía de los aeropuertos españoles. *Observatorio de Transporte Aéreo Fedea*.
- Coto-Millán, P. (2003). *Utility and Production. Theory and Application*. Second edition. Physica-Verlag a Springer-Verlag Company.
- Dobruszkes, F. (2009). Does liberalisation of air transport imply increasing competition? Lessons from the European case. *Transport Policy*, 16(1), 29-39.
- Doganis, R. (1966). Airport planning and administration: a critique. *The Political Quarterly*, 37(4), 416-428.
- Fageda, X. (2003). ¿Hay competencia en el mercado europeo del transporte aéreo?: El caso español. *Ponencia presentada en VI Congreso de Economía Aplicada*. Granada.
- Fu, X., Hong, O.T., Zhang, A. (2010). Air transport liberalization and its impacts on airline competition and air passenger traffic. *Transportation Journal*, 49(4), 24.
- Grosche, T., Rorthlauf, F., Heinzl, A. (2007). Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*, 13, 175-183.
- Marazzoa, M. Scherreb, R., Fernandes, E. (2010). Air transport demand and economic growth in Brazil: A time series analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(2), 261-269.
- Marín, P. (1995). Competition in European Aviation: Pricing Policy and Market Structure. *Journal of Industrial Economics*, XLIII, 141-160.
- Martinez, C. (2003). *Análisis del sector aéreo europeo: Modelización de la demanda y análisis del contacto multimercado entre compañías*. Tesina del CEMFI No. 0306.
- Njegovan, N. (2006). Elasticities of demand for leisure air travel: A system modelling approach. *Journal of Air Transport Management*, 12(1), 33-39.
- Rey, B. (2003). Estructura de mercado y eficiencia empresarial en el transporte aéreo. *ICE*, 808, 189-200.

El papel de las obligaciones de servicio público en el contexto del transporte aéreo interinsular de las Islas Canarias

José Ángel Hernández Luis

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España

Jose.hernandez@ulpgc.es

Abstract

Abordamos aquí el nivel de accesibilidad aéreo interinsular en Canarias dentro del contexto que marcan las obligaciones de servicio público de las Islas, todo ello en un territorio con notorias desigualdades entre unas islas y otras. En efecto, Canarias se caracteriza por un potencial demográfico y de actividad económica considerablemente diferente y ello se traduce en una demanda de transporte exterior (marítimo y aéreo) también dispar, dando como resultado que algunas islas presenten una oferta de transportes muy limitada frente a otros conjuntos insulares. Desde la entrada en vigor de las obligaciones de servicio público aéreas en Canarias en 1998 –y su ulterior ratificación en 2006–, se han producido cambios significativos, tanto en la dinámica territorial como en los propios operadores aéreos, que invitan a pensar en unas nuevas obligaciones más acordes con la situación actual. Es así objeto de este trabajo aportar algunas ideas para su corrección, partiendo de principios que tienen que ver con la mejora de la accesibilidad e integración territorial, como por ejemplo en materia de horarios, oferta de asientos y de frecuencias, además del sistema tarifario.

Objeto: Estudiar si las Obligaciones de Servicio Público aéreas en Canarias cumplen en la actualidad con los parámetros de accesibilidad que demanda la población de las Islas.

Diseño/metodología/enfoque: La metodología del presente trabajo se centra en realizar en un primer paso un diagnóstico de la socio-economía de las Islas con el fin de demostrar los desequilibrios de la demanda de la red aérea interinsular de Canarias y, por consiguiente, cómo ello se traduce en una oferta aérea igualmente dispar. Esta diversidad se traduce en determinadas restricciones para la normal movilidad de los pasajeros entre las Islas, derivado de la preferencia de las compañías aéreas por operar las líneas más rentables,

por lo que se han impuesto las obligaciones de servicio público desde los años noventa.

En última instancia, se trata de verificar si las citadas obligaciones están cumpliendo con el objetivo de facilitar la movilidad entre las Islas y, por ende, la integración territorial emanada de una mínima accesibilidad aérea.

Aportaciones y Originalidad: Este trabajo es fruto de varios proyectos de investigación anteriores, centrados sobre todo en el estudio del transporte exterior en varias islas (en concreto Fuerteventura, La Gomera y La Palma). Estos proyectos fueron encargados por los respectivos Cabildos Insulares y donde la evaluación de las obligaciones de servicio público aéreas jugó un papel importante.

Valor añadido: El valor de este trabajo radica fundamentalmente en el aporte de un análisis aplicado para analizar si las Obligaciones de Servicio Público aéreas en Canarias cumplen con el objetivo de la integración social y económica del Archipiélago que emana de la accesibilidad entre las Islas.

Palabras clave: Insularidad, transporte aéreo interinsular, integración territorial, desarrollo socioeconómico.

1. Introducción

Esta propuesta de trabajo pretende abordar el verdadero papel de integración territorial que tienen las obligaciones de servicio público en el transporte aéreo para un territorio con notorias desigualdades como es el caso de las Islas Canarias. Como se sabe, la obligación de servicio público en transportes es una herramienta que introducen las instituciones públicas en favor de ciertos territorios no conectados convenientemente con el resto de la red. Si se parte de la base de que la disponibilidad de transporte (en cuanto a la existencia de línea, de unas mínimas frecuencias, de adecuados horarios, de oferta de asientos y/o de carga, de unas tarifas no discriminatorias, etc.), contribuye a cohesionar el territorio y que éste es precisamente uno de los principios básicos de la Red Transeuropea de Transportes, nos es fácil comprender la importancia que este instrumento tiene en la regulación del transporte, dentro del marco desregulatorio en el que el Estado español está inmerso desde hace lustros.

Pues bien, el Archipiélago canario se caracteriza por un potencial demográfico y de actividad económica considerablemente diferente y ello se traduce en una demanda de transporte exterior (marítimo y aéreo) también dispar, dando como resultado que algunas islas presenten una oferta de transportes muy limitada frente a otros conjuntos insulares. Es aquí cuando las obligaciones impuestas desde la administración intentan corregir las deficiencias de servicio en aras de mejorar la cohesión territorial y, por ende, facilitar que los ciudadanos de cada isla dispongan de las mismas oportunidades de acceso entre las diferentes islas.

Desde la entrada en vigor de las obligaciones de servicio público aéreas en Canarias en 1998 –y su ulterior ratificación en 2006–, se han producido cambios significativos, tanto en la dinámica territorial como en los propios operadores aéreos, que invitan a pensar en unas nuevas obligaciones más acordes con la situación actual. Es así objeto de este trabajo aportar algunas ideas para su corrección, partiendo de principios que tienen que ver con la mejora de la accesibilidad e integración territorial, como por ejemplo en materia de horarios, oferta de asientos y de frecuencias, además del sistema tarifario.

2. Estado del arte

La relevancia del transporte aéreo para los sistemas insulares es vital, pues parten de una situación de clara desventaja en comparación con los territorios continentales. La particularidad de las islas se ve agravada por su evidente discontinuidad territorial, acompañada de la lejanía, a lo que se une muchas veces la ausencia total de materias primas que las hacen depender aún más de los sistemas de transporte. Ello se ha recogido en diversa bibliografía y entre la que destacaríamos la siguiente entre otros trabajos: Brookfield, 1980; Hernández Luis, 1994; Coccossis & Nijkamp, 1995; Eurisles, 1996; Gobierno de

Canarias, 1998; Cross & Nutley, 1999; Hoyle, 1999; Fundación Tomillo, 2001; Ramos Pérez, 2001; Hernández Luis, 2002; Yamaguchi, 2007; Rigas, 2009; Tsekeris, 2009; Hazledine & Collins, 2011; Minato & Morimoto, 2011). Como decimos, todas estas aportaciones tienen en común -y como eje conductor-, la incidencia que tiene la accesibilidad para el desarrollo socioeconómico, en especial para los espacios insulares.

Desde el punto de vista de las *Obligaciones de Servicio Público (OSP)* europeas o las *Essential Air Service (EAS)* de Estados Unidos, definidas por la Unión Europea como “cualquier obligación impuesta a los servicios aéreos regulares entre un aeropuerto de la Comunidad y otro que sirva a una región periférica o en desarrollo, o en una ruta de baja densidad cuando dicha ruta se considere esencial para el desarrollo económico y social de la región”, existen varios planteamientos que han estudiado este tema. Así por ejemplo, varios trabajos se han centrado en los efectos de la liberalización en las *OSP* (Williams, 2004; Bråthen, 2013; Pita, 2013; Calzada, 2014); otros en la evaluación del establecimiento de estas *obligaciones* a través de parámetros de eficiencia política o de los operadores de las aerolíneas (Santana, 2009; Grubestic, 2012; Merkert, 2013; Pita, 2014); otros en la contribución o estímulo social y económico para los territorios afectados de la implantación de dichas *obligaciones* (Lian, 2011; Smyth, 2012; Grubestic, 2013; Çağrı Özcan, 2014a, 2014b); también una buena parte de las contribuciones a los efectos sobre las tarifas aéreas (Lian, 2010; Di Francesco, 2012; Valido, 2014). En suma, las perspectivas son netamente diferentes, si bien el objetivo último parece claro, esto es, el análisis del impacto de esta medida en el territorio y cómo ello repercute en la accesibilidad de los ciudadanos al centro.

3. Breve marco territorial de las Islas Canarias

Las Islas Canarias han aumentado su población en casi un 120 por ciento en los últimos 50 años, hasta llegar a los 2.1 millones de habitantes en 2011 (algo más de 2.3 si se incluye la población turista que entra al Archipiélago). Este hecho, conjuntamente con el trasvase de población activa desde el sector primario al terciario, ha favorecido un incremento espectacular de la movilidad interinsular en los últimos años que, en el año 2014, alcanzó los casi 2,7 millones de pasajeros, es decir, un 25% más en relación a tres lustros atrás a pesar de la fuerte competencia marítima.

La actividad terciaria, vinculada en gran medida al turismo, genera en la actualidad en las Islas un 78 por ciento del Valor Añadido Bruto y, sin duda, ha contribuido al incremento de la renta *per capita* tal y como se puede apreciar en la siguiente Tabla:

Años	Población	Turistas extranjeros	Activos ocupados		
			Sector 1º	Sector 2º	Sector 3º
1960	966.177	69.000	185.025	47.798	113.010
1970	1.125.442	821.000	127.716	90.174	192.205
1981	1.367.669	2.521.500	87.275	93.785	276.583
1991	1.493.784	5.495.000	44.133	96.753	356.168
2001	1.781.366	10.137.202	39.160	109.661	488.370
2011	2.082.655	10.176.968	21.520	89.900	657.260
<i>Variación 1960-2011</i>	<i>115,56</i>	<i>14.649.23</i>	<i>-88.37</i>	<i>88.08</i>	<i>481.59</i>

Tabla 1. Principales macromagnitudes de las Islas Canarias entre 1960 y 2011

De cualquier manera, la distribución de la población y de la riqueza dentro del Archipiélago varía considerablemente. Esta desigual distribución tiene consecuencias notables en el transporte exterior, pues por ejemplo la demanda de servicios aéreos no es evidentemente la misma entre todas las islas. Así pues, el hinterland de cada isla va a condicionar la demanda de transporte aéreo, pero también es verdad que algunas -como es el caso de La Gomera o El Hierro-, necesitan de unos niveles mínimos de servicio y que, en principio, por su volumen demográfico y económico, no se justifican. Es aquí cuando toma importancia la obligación de servicio público.

Como decimos, los desequilibrios entre islas son notables, hecho que incide en una demanda aérea también dispar. En efecto, Tenerife y Gran Canaria concentran el 83 por ciento de la población, al igual que del Valor Añadido Bruto. El restante 17 por ciento también se distribuye desigualmente, pues si algo más del 15 por ciento de la población se localiza en las islas de Lanzarote, La Palma y Fuerteventura, el restante porcentaje, esto es, ni siquiera el dos por ciento, se reparte entre La Gomera y El Hierro. El Valor Añadido Bruto difiere muy poco de estos valores. En cualquier caso, hay que comentar que todavía la economía de la isla de La Palma depende en un alto porcentaje de la agricultura de exportación, en concreto del plátano, a diferencia de las islas de Lanzarote y Fuerteventura donde la especialización turística es máxima.

Islas	Población	Turistas extranjeros	Valor Añadido Bruto (%)
Gran Canaria	846.085	2.847.730	42
Tenerife	879.333	3.654.612	42
Lanzarote	138.200	1.707.926	5
La Palma	83.690	106.800	4
Fuerteventura	102.941	1.796.386	6
La Gomera	21.680	----	0.5
El Hierro	10.726	----	0.5
Total	2.082.655	10.176.968**	100

* Solo se incluyen los turistas entrados por vía aérea. En 2011, las llegadas de turistas en cruceros a Canarias se elevó a 1.599.492.

** Se incluye la estimación de turistas extranjeros en las islas de El Hierro y La Gomera.

Tabla 2. Principales características insulares de las Islas Canarias en 2011*

No obstante, se constata que en función del volumen de población, las islas no centrales (Lanzarote, Fuerteventura, La Gomera, La Palma y El Hierro) demandan una mayor cantidad de desplazamientos aéreos como se puede apreciar en la Tabla 3. Ello se justifica por la carencia de ciertos servicios de los que sí disponen los habitantes de las islas de Tenerife y Gran Canaria.

Islas	Pasajeros aéreos / hab.	Pasajeros marítimos / hab.	Total
La Gomera	0.58	33.28	33.86
Fuerteventura	3.75	10.13	13.88
El Hierro	6.87	6.56	13.43
Lanzarote	2.92	4.76	7.68
La Palma	2.96	1.19	4.15
Tenerife	0.88	2.04	2.92
Gran Canaria	0.90	1.24	2.14
Total	1.24	2.47	3.71

Tabla 3. Ratio de desplazamientos interinsulares en función de la población de cada isla en 2011

De cualquier modo, hay que decir que las ratios marítimas están alteradas por las excursiones turísticas, sobre todo en La Gomera. En el caso del transporte aéreo interinsular, las cifras se acercan más a la realidad y demuestran que teóricamente en 2011 en las islas de Tenerife y Gran Canaria no llegó a generarse ni un viaje interinsular completo por habitante. En el extremo opuesto tenemos el resto de las islas, destacando El Hierro con casi 7 viajes por habitante y luego las islas de Fuerteventura, La Palma y El Hierro que oscilan entre 3 y 4 viajes al año. En suma, estas ratios por sí solas nos acercan a la movilidad interinsular y a la necesidad que los habitantes de las denominadas islas periféricas (Lanzarote, Fuerteventura, La Gomera, La Palma y El Hierro) tienen de desplazarse a las islas centrales, de ahí la importancia de las obligaciones de servicio público aéreas en las Islas.

4. La obligación de servicio público en el transporte aéreo interinsular canario

En determinadas circunstancias donde la rentabilidad de uno o varios corredores de transporte es dudosa -e incluso negativa-, las compañías aéreas en un mercado desregularizado no entran a operar por motivos comerciales, a pesar de la rentabilidad social y económica que el mantenimiento de una línea pueda tener para los ciudadanos de un determinado territorio. Es aquí cuando las instituciones públicas competentes han de actuar en aras del interés socioeconómico de ese espacio. De esta manera, el organismo público introduce ciertos parámetros mínimos de cumplimiento, intentando con ello integrar ese territorio en la red de transportes regional o con el exterior.

Pues bien, en Canarias existen determinados parámetros definitorios del transporte aéreo interinsular y que son básicos para interpretar las actuales obligaciones de servicio público, a saber:

1. Entre las islas existen dos operadores aéreos con carácter regular (*Binter Canarias* y *Canary Fly*), aunque el primero reúne más del 90 por ciento del mercado aéreo.
2. Los ciclos de ida y vuelta en el día entre islas son muy importantes, ya que alcanzan el 45% entre Tenerife y Gran Canaria y llegan a un 23 en los movimientos realizados desde las islas periféricas. Además es muy probable que este bajo porcentaje en relación con las islas centrales, sea imputable a la escasez de plazas en aquéllas franjas que permiten una mayor disponibilidad de tiempo en destino, es decir, en las primeras y últimas horas del día. Como consecuencia de este porcentaje tan alto de ida y vuelta en el día, la oferta de plazas en las primeras y últimas franjas horarias ha de ser elevada.
3. Es fundamental también que las frecuencias tengan un cierto grado de dispersión a lo largo de la jornada -o de escalonamiento como recogen las obligaciones de servicio público-, para así facilitar los movimientos en que no es necesario permanecer en el destino todo el día.

Partiendo de estos principios básicos, tanto la Resolución de 30 de julio de 1998 del Ministerio de Fomento sobre obligaciones de servicio público en transporte aéreo interinsular canario, como la homónima que corrige la anterior de 21 de julio de 2006, plantea una serie de cuestiones a tener en cuenta y que coadyuvan a la mentada integración territorial de las Islas y que resumimos a continuación:

1. Los aeropuertos con los que se han de prestar tales obligaciones.
2. Unas frecuencias mínimas por día, que varían por líneas y entre las temporadas de invierno y de verano.
3. Una determinada oferta de asientos que también oscila entre ambas temporadas.
4. Unos horarios que faciliten la ida y vuelta en el día.
5. El incremento de la oferta en las primeras y últimas franjas horarias del día en las principales líneas.
6. Se establece en un 90% las frecuencias en las que los retrasos no podrán ser superiores a los 30 minutos.
7. Los vuelos cancelados por motivos imputables al transportista no podrán exceder del 2% por temporada.
8. El índice de ocupación global no ha de superar en cada temporada el 75%.

9. Un sistema de tarifas máximas revisables en función del IPC, aunque también admite incrementos justificados por un alza en los costes de operatividad. Todo ello acompañado de la obligación de establecer tarifas reducidas.

10. También se introduce la posibilidad de reforzar los servicios en las primeras franjas horarias en las líneas principales, y en caso necesario, para transportar carga.

Pues bien, el panorama actual tras más de quince años con obligaciones de servicio público vigentes, nos muestra que algunos parámetros han quedado desfasados. Así, centrándonos en la última Resolución de 2006, realizamos la siguiente Tabla sobre frecuencias exigidas en las OSP y operadas en la actualidad.

Pues bien, como se deduce, existe un relativo equilibrio entre las frecuencias exigidas por las OSP y las realmente operadas, estando estas últimas por encima en invierno y ligeramente por debajo en verano. En general, en las islas de mayor demanda de tráfico aéreo, es decir, todas menos El Hierro y La Gomera, las frecuencias operadas son siempre mayores que las exigidas, si exceptuamos el caso de Fuerteventura, mientras que con las islas antes mencionadas, de las seis frecuencias exigidas en verano solo se realizaban 4,9 con el resto de las Islas (un 20% menos) y con La Gomera de las cuatro exigidas solo dos (un 50% menos).

Líneas	Enero de 2015		Julio de 2015	
	Operadas	Exigidas	Operadas	Exigidas
Tenerife Norte - Gran Canaria	16.3	14.0	13.9	12.0
Tenerife Norte - La Palma	13.7	13.0	15.6	14.0
Tenerife Norte - Lanzarote	5.4	5.0	6.7	7.0
Tenerife Norte - Fuerteventura	3.3	3.0	5.1	6.0
Tenerife Norte - El Hierro	3.3	3.0	3.9	4.0
Tenerife Norte - La Gomera	2.0	2.0	2.0	2.0
Tenerife Sur - Gran Canaria	1.0	2.0	1.0	2.0
Gran Canaria - Lanzarote	13.9	11.0	15.2	14.0
Gran Canaria - Fuerteventura	12.7	13.0	10.0	14.0
Gran Canaria - La Palma	2.3	2.0	2.6	3.0
Gran Canaria - El Hierro	1.0	1.0	1.0	2.0
Gran Canaria - La Gomera	0.0	2.0	0.0	2.0
La Palma - Lanzarote	0.0	0.0	0.0	0.4
Total	74.9	71.0	77.0	82.4

Tabla 4. Frecuencias aéreas regulares medias por día en la red interinsular canaria en el año 2015 y las exigidas por las obligaciones de servicio público de 2006 (solo ida)

Pero también está el problema de los horarios y ya hemos comentado que éstos son muy importantes para la accesibilidad interinsular dados los altos porcentajes de ciclos de ida y vuelta en el día. En efecto, en la Resolución de 30 de julio de 1998, se dice que “para los vuelos con origen en Gran Canaria o

Tenerife Norte, a excepción de los realizados con la isla de La Gomera, se garantizarán las comunicaciones en horarios con salida entre las siete y las ocho treinta horas y con regresos a última hora del día”. Esto no se ha venido cumpliendo -y de forma sistemática-, en las líneas Tenerife Norte - Fuerteventura y Gran Canaria - La Palma, aparte de que en el resto de líneas y en esta franja horaria, solo se respeta esta circunstancia en el sentido isla central - isla periférica, pero no en el sentido inverso (a excepción del sentido Lanzarote - Gran Canaria a las 08.15 horas), con el consiguiente agravio comparativo para los ciudadanos de estas últimas islas.

Por lo que respecta a los índices de ocupación, las obligaciones de servicio público argumentan que cada operador no podrá superar el 75% en un año. Pues bien, la realidad nos dice que, efectivamente, se ha descendido desde un factor de ocupación del 78% en 1999, a menos incluso del 70% en la actualidad, pero sobre todo a expensas de la competencia marítima y de la introducción de varios operadores en la red alternativos al operador dominante (*Islas Airways* entre 2003 y 2012 y *Canary Fly* desde 2012 hasta la actualidad).

5. Conclusiones

La *obligación de servicio público* en la red aérea interinsular de Canarias se puede considerar como un sistema de sostenibilidad de las operaciones aéreas entre las Islas, además de un instrumento de integración territorial, en el que partiendo de los necesarios márgenes de rentabilidad de los operadores, se alcanzan unos mínimos niveles de accesibilidad y oportunidades de movilidad de los ciudadanos.

Es evidente que la normativa en materia de *obligaciones de servicio público* en Canarias ha quedado desfasada, y el mercado ha regulado la demanda por sí sola, aunque ello no significa que la situación sea la ideal. Esta cuestión ha de ser el acicate para implantar unas nuevas *obligaciones de servicio público* aéreas acordes con la nueva realidad territorial, teniendo como base sobre todo los déficits de conectividad con las islas más occidentales de El Hierro y La Gomera.

En efecto, es conveniente revisar las *obligaciones de servicio público*, sobre todo partiendo de la base de la creciente demanda con algunas islas. Así, parece no tener mucho sentido que por ejemplo se estén realizando más operaciones entre las islas centrales de Tenerife y Gran Canaria que las exigidas, así como con las islas de Lanzarote y de La Palma, mientras que en otras como La Gomera y El Hierro las obligaciones no se cumplen. Todo ello, conjuntamente con los cuellos de botella producidos por los horarios, así como el bloqueo de la carga en las primeras horas de la mañana en algunos aeropuertos, sugiere la revisión de las citadas obligaciones con la perspectiva que nos dan los más de 15 años donde la red aérea interinsular ha estado sometida al régimen de las obligaciones de servicio público dentro del contexto que permite la legislación de la Unión Europea.

De cualquier manera y en líneas generales, el problema de las obligaciones de servicio público en Canarias no solo radica en la renovación de dichas obligaciones, sino también en la capacidad de los operadores aéreos para ofertar al menos dichas frecuencias, asientos, horarios y carga, especialmente con las islas donde no se cumplen estas obligaciones, sobre todo con aeronaves más acordes a la demanda más reducida que presentan estas islas. Es indudable que la exigencia de unas mínimas condiciones de calidad en el servicio están condicionadas por la importante cifra de viajeros entre Islas, pero sobre todo por la necesaria integración territorial que contribuya a amortiguar la fragmentación territorial, como factor limitador del desarrollo.

6. Referencias

- Bråthen, S., Halpern, N. (2012). Air transport service provision and management strategies to improve the economic benefits for remote regions. *Research in Transportation Business & Management*, 4, 3-12.
- Brookfield, H.C. (1980). The transport factor in island development. In Shand, R.T. (Ed.), *The Island States of the Pacific and Indian Oceans: Anatomy of Development* (201-238). Canberra: Australian National University.
- Çağrı Özcan, I. (2014a). A community evaluation of Essential Air Services. *Journal of Air Transport Management*, 36, 110-119.
- Çağrı Özcan, I. (2014b). Economic contribution of essential air service flights on small and remote communities. *Journal of Air Transport Management*, 34, 24-29.
- Calzada, J., Fageda, X. (2014). Competition and public service obligations in European aviation markets. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 70, 104-116.
- Coccosis, H., Nijkamp, P. (1995). *Overcoming isolation: information and transportation networks in development strategies for peripheral areas*. Berlín: Springer.
- Cross, M., Nutley, S. (1999). Insularity and Accessibility: the Small Island Communities of Western Ireland. *Journal of Rural Studies*, 15(3), 317-330.
- Di Francesco, A., Pagliari, R. (2012). The potential impact of removing public service obligation regulations on air fares between the Italian Mainland and the island of Sardinia. *Journal of Transport Geography*, 24, 332-339.
- Eurisles (1996). *Systems of transport in the islands*. París: L'Harmattan.
- Fundación Tomillo (2001). *Los costes de ultraperiferia de la economía canaria*. Santa Cruz de Tenerife: Consejería de Economía, Hacienda y Comercio.

- Gobierno de Canarias (1998). *Libro Blanco de los transportes en Canarias*. Las Palmas de Gran Canaria: Consejería de Turismo y Transportes.
- Grubestic, T. H., Wei, F. (2012). Evaluating the efficiency of the Essential Air Service program in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(10), 1562-1573.
- Grubestic, T.H., Wei, F. (2013). Essential Air Service: a local, geographic market perspective. *Journal of Transport Geography*, 30, 17-25.
- Hazledine, T., Collins, S. (2011). Paying the pilot? The economics of subsidising international air travel to small remote island nations with large diaspora. *Journal of Air Transport Management*, 17(3), 187-194.
- Hernández Luis, J.Á. (1994). *Transporte aéreo, integración territorial y desarrollo socioeconómico en Canarias*. Las Palmas de Gran Canaria: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de Las Palmas.
- Hernández Luis, J.Á. (2002). Temporal accessibility in archipelagos: inter-island shipping in the Canary Islands. *Journal of Transport Geography*, 10, 231-239.
- Hernández Luis, J. Á. (2004). The role of inter-island air transport in the Canary Islands. *Journal of Transport Geography*, 12(3), 235-244.
- Hoyle, B.S. (1999). Islands, transport and development. In Biagini, E., & Hoyle, B.S. (Eds.), *Insularity and development: international perspectives on islands*. London: Pinter.
- Lian, J.I. (2010). Network dependency and airline competition: Consequences for remote areas in Norway. *Journal of Air Transport Management*, 16(3), 137-143.
- Lian, J.I., Rønnevik, J. (2011). Airport competition: Regional airports losing ground to main airports. *Journal of Transport Geography*, 19(1), 85-92.
- Merkert, R., O'Fee, B. (2013). Efficient procurement of public air services—Lessons learned from European transport authorities' perspectives. *Transport Policy*, 29, 118-125.
- Merkert, R., Williams, W. (2013). Determinants of European PSO airline efficiency – Evidence from a semi-parametric approach. *Journal of Air Transport Management*, 29, 11-16.
- Minato, N., Morimoto R. (2011). Sustainable airline strategy using portfolio theory: A case study of remote islands in Japan. *Journal of Air Transport Management*, 17, 195-198.
- Pita, J.P., Adler, N., Antunes, A.P. (2014). Socially-oriented flight scheduling and fleet assignment model with an application to Norway. *Transportation Research Part B: Methodological*, 61, 17-32.

- Pita, J.P., Pais Antunes, A., Barnhart, C., Gomes de Menezes, A. (2013). Setting public service obligations in low-demand air transportation networks: Application to the Azores. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 54, 35-48.
- Ramos Pérez, D. (2001). *Transporte aéreo, territorio e insularidad en Canarias. Una aproximación en el umbral del siglo XXI*. Santa Cruz de La Palma: Tauro Producciones.
- Rigas, K. (2009). Boat or airplane? Passengers' perceptions of transport services to islands. The example of the Greek domestic leisure market. *Journal of Transport Geography*, 17(5), 396-401.
- Santana, I. (2009). Do Public Service Obligations hamper the cost competitiveness of regional airlines?. *Journal of Air Transport Management*, 15(6), 344-349.
- Smyth, A., Christodoulou, G., Dennis, N., AL-Azzawi, M., Campbell, J. (2012). Is air transport a necessity for social inclusion and economic development?. *Journal of Air Transport Management*, 22, 53-59.
- Tsekeris, T. (2009). Dynamic analysis of air travel demand in competitive island markets. *Journal of Air Transport Management*, 15(6), 267-273.
- Valido, J., Socorro, M. P., Hernández, A., Betancor, O. (2014). Air transport subsidies for resident passengers when carriers have market power. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 388-399.
- Williams, G., Pagliari, R. (2004). A comparative analysis of the application and use of public service obligations in air transport within the EU. *Transport Policy*, 11(1), 55-66.
- Yamaguchi, K. (2007). Inter-regional air transport accessibility and macro-economic performance in Japan. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(3), 247-258.

Los aeropuertos del estado de Oaxaca y sus relaciones con la organización territorial

Alfonso Herrera García, Jonatan Omar González Moreno, Miguel Ángel Backhoff Pohls

Instituto Mexicano del Transporte, México.

aherrera@imt.mx, jgonzalez@imt.mx, backhoff@imt.mx

Abstract

El objeto de este estudio es determinar el área de influencia de los aeropuertos del estado de Oaxaca y sus relaciones con la organización territorial.

En el estado de Oaxaca se presentan cuatro aeropuertos: Oaxaca, Puerto Escondido y Bahías de Huatulco, con operaciones comerciales actualmente; y el aeropuerto de Ixtepec, en el cual por ahora sólo se realizan operaciones militares. Sin embargo, se tiene planeado que maneje operaciones mixtas en el futuro.

Para determinar el área de influencia de los aeropuertos se utilizó el método de accesibilidad espacial, éste incorpora modelos digitales de elevación, así como las velocidades de desplazamiento y las características geométricas de la infraestructura carretera.

Se establecieron dos escenarios, el primero corresponde a la operación actual de los aeropuertos mexicanos (sin Ixtepec), y el segundo a la operación con el aeropuerto de Ixtepec.

Una forma de acercarse al conocimiento de las diferencias regionales debidas a privaciones que padece la población, es mediante el análisis del índice de marginación. Por ello, la distribución territorial de la incidencia de la marginación en el estado de Oaxaca se relacionó con las áreas de influencia de los aeropuertos considerados.

Se observó, en la situación actual, que un área importante del estado Oaxaca no es cubierta por los propios aeropuertos oaxaqueños. Sin embargo, cuando se consideró la operación del aeropuerto de Ixtepec, se advirtió que éste aeropuerto ofrecería servicio a una parte significativa del área señalada anteriormente e, incluso, podría atender a extensiones en otros estados que antes no eran servidas por los aeropuertos de Oaxaca. También, se observó que varios municipios cercanos al Istmo con grado de marginación media y todos los

de marginación baja y muy baja de esta región en Oaxaca, son ahora atendidos en forma más expedita por Ixtepec.

Palabras clave: accesibilidad espacial, aeropuerto, área de influencia, grado de marginación, isócrona de recorrido.

1. Generalidades

En estudios previos han sido evaluadas distintas alternativas para determinar el área de influencia de un aeropuerto (Herrera, et al., 2009), por ejemplo, mediante polígonos de Thiessen, polígonos de distancia media con base en puntos equidistantes en la traza carretera o el método de accesibilidad espacial. El método de accesibilidad espacial mejora la delimitación del área de influencia, debido a que, a diferencia de los otros no asume condiciones de espacio isotrópico, que evidentemente en el mundo real no se presentan. Esta alternativa incorpora modelos digitales de elevación, así como las velocidades de desplazamiento y las características geométricas de la infraestructura carretera.

2. Área de estudio y escenarios

Para determinar las áreas de influencia fue necesario considerar la accesibilidad de los aeropuertos circundantes (Figura 1) y a partir de ello, reconocer el área de estudio que incluye cada uno de los objetivos (aeropuertos de Oaxaca y circundantes). En todas las figuras siguientes se presentan mapas con proyección cónica conforme de Lambert y datum WGS84.



Figura 1. Aeropuertos del estado de Oaxaca y circundantes. (MGN del INEGI y de USIG/IMT, 2014)

En el estado de Oaxaca se presentan cuatro aeropuertos, Oaxaca, Puerto Escondido y Bahías de Huatulco, con operaciones comerciales actualmente; y el aeropuerto de Ixtepec (Aeropuerto en la Región del Istmo), en el cual por ahora sólo se realizan operaciones militares; sin embargo, se tiene planeado que

maneje en el futuro además operaciones comerciales. Por otro lado, se observa que los aeropuertos circundantes a los de Oaxaca son: hacia el norte Puebla, Tehuacán, Veracruz y Minatitlán; hacia el este Villahermosa y Tuxtla Gutiérrez; hacia el noroeste Cuernavaca; y hacia el oeste Acapulco.

Se establecieron dos escenarios para determinar las áreas de influencia, en función de los aeropuertos considerados en cada caso. Los dos escenarios incluyen a los aeropuertos con actividad comercial doméstica (servicio nacional). El escenario uno corresponde a la operación actual de los aeropuertos (sin Ixtepec), y el escenario dos a su operación junto con el aeropuerto de Ixtepec.

3. Isócronas de recorrido

En las Figuras 2 y 3 se muestran los mapas de las isócronas de recorrido, junto con los modelos digitales del terreno, para los dos escenarios establecidos. En cada caso fueron tomados como objetivos los aeropuertos del estado de Oaxaca, de acuerdo con las consideraciones de cada escenario. En estas figuras se ilustra en color verde el perímetro que se encuentra a menos de 30 minutos de desplazamiento, en color amarillo el área que indica hasta una hora de desplazamiento, similarmente, el área en color rojo representa hasta dos horas de desplazamiento. Pasando dicha área, en color morado se representa todo aquel territorio que necesita más de dos horas para su acceso.

Es evidente en todas estas figuras cómo la infraestructura carretera, la orografía y la ubicación de los aeropuertos determinan su accesibilidad. En general, por aquellas vías de comunicación con mayores especificaciones los desplazamientos son más rápidos. Sin embargo, las áreas con terreno accidentado generan impedancia para los flujos, incrementando los tiempos de recorrido. Por el contrario, las áreas llanas favorecen los movimientos de los flujos, permitiendo mayores velocidades de operación y por lo mismo mejoran la accesibilidad.

En los mapas de las Figuras 2 y 3, también, se han incluido como referencia las carreteras y las localidades con población mayor a 15,000 habitantes.

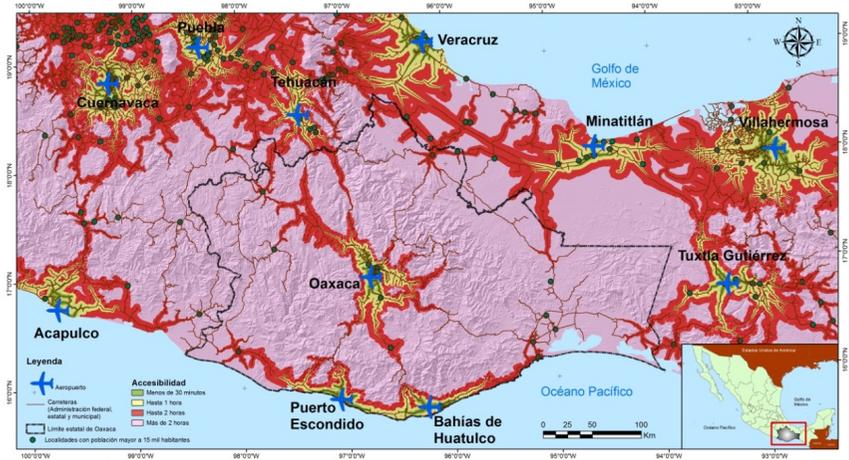


Figura 2. Escenario uno. Isócronas de recorrido de los aeropuertos del estado de Oaxaca y circundantes (servicio nacional, sin Ixtepec). (Con base en la metodología de accesibilidad espacial e información del MGN del INEGI, de USIG/IMT (2014) y del GDEM V2)

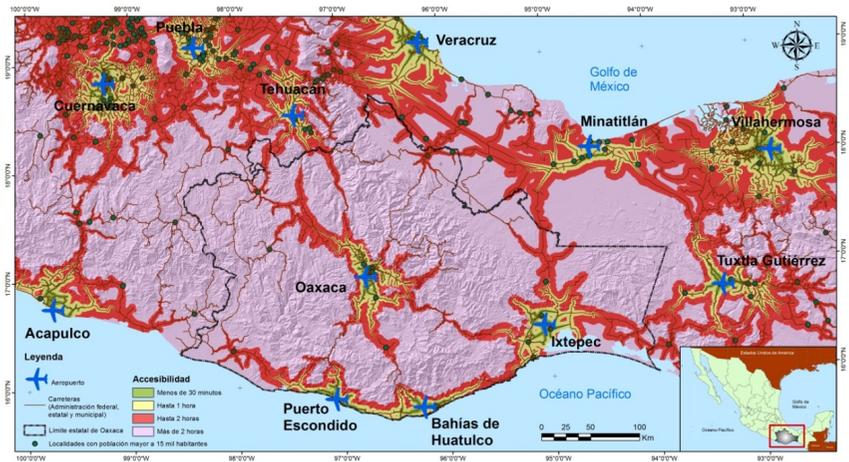


Figura 3. Escenario dos. Isócronas de recorrido de los aeropuertos del estado de Oaxaca y circundantes (servicio nacional, con Ixtepec). (Con base en la metodología de accesibilidad espacial e información del MGN del INEGI, de USIG/IMT (2014) y del GDEM V2)

4. Áreas de influencia de los aeropuertos de Oaxaca

Con base en el método de accesibilidad espacial se delimitó el área de influencia de los aeropuertos del estado de Oaxaca. En las Figuras 4 y 5 se presentan los resultados obtenidos para los escenarios considerados.



Figura 4. Escenario uno. Áreas de influencia de los aeropuertos del estado de Oaxaca y circundantes (servicio nacional, sin Ixtepec). (Con base en la metodología de accesibilidad espacial e información del MGN del INEGI, de USIG/IMT (2014) y del GDEM V2)



Figura 5. Escenario dos. Áreas de influencia de los aeropuertos del estado de Oaxaca y circundantes (servicio nacional, con Ixtepec). (Con base en la metodología de accesibilidad espacial e información del MGN del INEGI, de USIG/IMT (2014) y del GDEM V2)

Observe que estas áreas se representan mediante polígonos de distintos colores y que algunas zonas del estado de Oaxaca son cubiertas por áreas de influencia de aeropuertos ubicados fuera de este estado y que, a su vez, parte de las áreas de influencia de los aeropuertos oaxaqueños se extienden hacia otras entidades.

5. La marginación en las áreas de influencia del estado de Oaxaca y los servicios aéreos domésticos

El índice de marginación es una medida-resumen que permite diferenciar al país según el impacto global de las carencias que padece la población. El esquema conceptual de la marginación considera cuatro dimensiones socioeconómicas para determinar su magnitud: la educación, la vivienda, la distribución de la población y los ingresos monetarios. Para cuantificar la intensidad global de la marginación (índice) se utilizan nueve indicadores que miden la intensidad de exclusión. Este índice permite agrupar las áreas de interés en cinco conjuntos claramente diferenciados: grado de marginación muy bajo, bajo, medio, alto o muy alto (CONAPO, 2011).

La distribución territorial de la incidencia de la marginación en el estado de Oaxaca, por municipio, se presenta en los mapas de las Figuras 6 (escenario uno) y 7 (escenario dos). Observe que adicionalmente se ha sobrepuesto la capa del área de influencia de los servicios aéreos nacionales de los respectivos escenarios señalados.

Las figuras muestran la distribución del grado de marginación en un mosaico multicolor. Se hace evidente que la marginación tiende a agruparse en ciertos municipios y que por lo regular el cambio de su magnitud es gradual. Se observa en la Figura 6 que un área importante en el Este de Oaxaca no es cubierta por los aeropuertos oaxaqueños, pero sí por los aeropuertos de Minatitlán y Tuxtla Gutiérrez. Sin embargo, cuando se considera la operación del aeropuerto de Ixtepec (Figura 7), se advierte que este aeropuerto ofrece servicio a una parte significativa del área señalada anteriormente, e incluso puede atender a otras extensiones dentro de los estados de Veracruz y Chiapas, que antes no eran servidas por los aeropuertos de Oaxaca.

También, se observa que cuando se considera la operación del aeropuerto de Ixtepec (Figura 7), varios municipios cercanos al Istmo con grado de marginación media y todos los de marginación baja y muy baja de esta región en Oaxaca, son ahora atendidos en forma más expedita por Ixtepec.

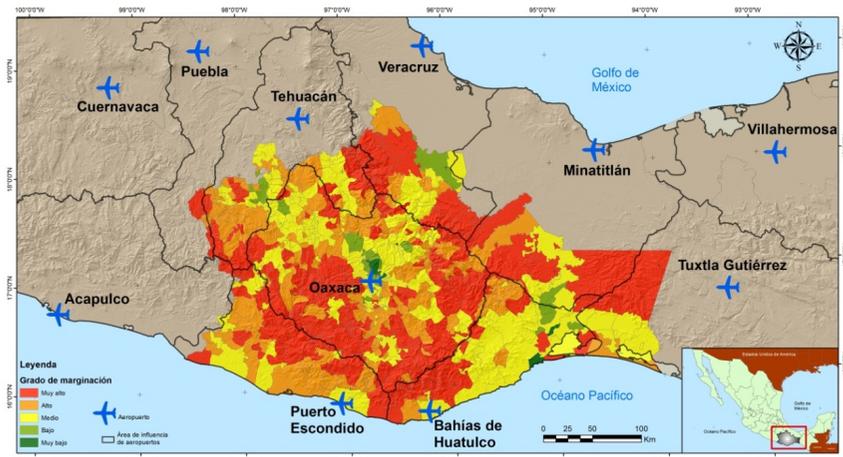


Figura 6. Escenario uno. Grados de marginación por municipio en el estado de Oaxaca y áreas de influencia de los aeropuertos en servicio nacional (sin Ixtepec).

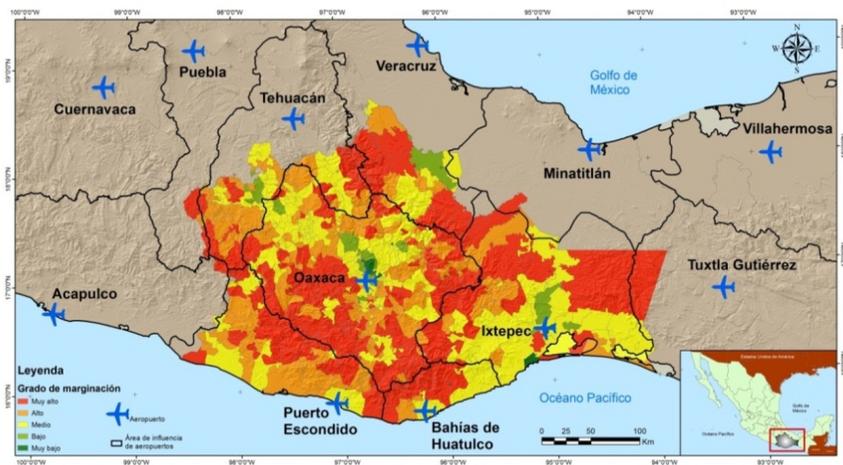


Figura 7. Escenario dos. Grados de marginación por municipio en el estado de Oaxaca y áreas de influencia de los aeropuertos en servicio nacional (con Ixtepec). (Con base en la metodología de accesibilidad espacial e información del MGN del INEGI, de USIG/IMT (2014) y de CONAPO (2011))

6. Algunas relaciones entre las áreas de influencia y la organización territorial de Oaxaca

6.1 Características del territorio y la población

En las Tablas 1 y 2 se resumen algunas características importantes, del territorio y la población, asociadas con las áreas de influencia de los aeropuertos de Oaxaca y circundantes, para los dos escenarios establecidos. De acuerdo con estas estimaciones, actualmente (Tabla 1) el área de influencia de los tres aeropuertos de Oaxaca incluye a 6,877 localidades (65.5%), 443 municipios (77.7%), 59,353 km² (63.2%) de su extensión territorial y una población de 2.68 millones de habitantes (70.63%). Los valores entre paréntesis indican porcentajes en relación con el total del estado de Oaxaca. Además, en estas áreas se observa el mayor número de habitantes de la población económicamente activa y ocupada, en ambos casos el 72.6% del total de la entidad.

Área de influencia del aeropuerto de	Número de localidades	Número de municipios	Extensión territorial (km ²)	Población (habitantes)	Grado promedio de escolaridad	Población económicamente activa (habitantes)	Población ocupada (habitantes)
Acapulco	15	4	232.32	7,407	2.4	1,573.00	1,556.00
Bahías de Huatulco	1,312	46	13,057.08	560,589	3.5	206,392.00	197,555.00
Minatitlán	800	10	10,269.18	194,239	2.5	68,325.00	66,608.00
Oaxaca	4,173	335	33,379.73	1,617,945	4.6	604,278.00	586,733.00
Puebla	48	9	601.16	13,527	2.5	2,804.00	2,768.00
Puerto Escondido	1,392	62	12,916.18	506,746	4.1	161,068.00	155,407.00
Tehuacán	1,114	74	9,055.53	347,288	3.9	109,461.00	105,763.00
Tuxtla Gutiérrez	344	11	5,788.01	71,797	2.0	24,741.00	23,854.00
Veracruz	1,298	19	8,494.12	482,424	3.8	159,692.00	153,295.00
Totales	10,496	570	93,793.30	3,801,962		1,338,335	1,293,539

Tabla 1. Escenario uno. Relaciones entre las áreas de influencia y la organización territorial del estado de Oaxaca (servicio nacional, sin Ixtepec). (Con base en la metodología de accesibilidad espacial y datos del Censo Nacional de Población 2010 (<http://www.inegi.org.mx/>))

Área de influencia del aeropuerto de	Número de localidades	Número de municipios	Extensión territorial (km ²)	Población (habitantes)	Grado promedio de escolaridad	Población económicamente activa (habitantes)	Población ocupada (habitantes)
Acapulco	15	4	232.32	7,407	2.4	1,574	1,556
Bahías de Huatulco	653	18	4,711.46	158,575	3.7	53,162	53,362
Ixtepec	1,601	49	24,455.40	646,365	3.0	236,032	226,687
Minatitlán	223	8	947.28	42,321	1.4	16,493	16,005
Oaxaca	4,097	324	30,566.81	1,592,153	4.6	595,077	577,753
Puebla	48	9	601.16	13,527	2.5	2,804	2,768
Puerto Escondido	1,392	62	12,916.18	506,746	4.1	161,068	155,407
Tehuacán	1,114	73	9,055.53	347,288	3.9	109,461	105,763
Tuxtla Gutiérrez	57	4	1,902.03	6,082	1.6	1,273	1,239
Veracruz	1,294	19	8,405.14	481,498	3.8	159,391	152,999
Totales	10,496	570	93,793.30	3,801,962		1,338,335	1,293,539

Tabla 2. Escenario dos. Relaciones entre las áreas de influencia y la organización territorial del estado de Oaxaca (servicio nacional, con Ixtepec). (Con base en la metodología de accesibilidad espacial y datos del Censo Nacional de Población 2010 (<http://www.inegi.org.mx/>))

Considerando ahora el escenario dos (Tabla 2), con la entrada en servicio del aeropuerto de Ixtepec, se estima que los cuatro aeropuertos oaxaqueños tendrían la siguiente participación: 7,745 localidades (73.8%), 453 municipios (79.4%), 72,650 km² (77.4%) de su extensión territorial y una población de 2.9

millones de habitantes (76.3%). Nuevamente, los porcentajes entre paréntesis indican los valores en relación con el total del estado de Oaxaca. Además, se observa que las áreas de influencia de los aeropuertos oaxaqueños ofrecerían servicio a un mayor porcentaje de la población económicamente activa y ocupada, 78.3% en ambos casos.

6.2 Grados de marginación

El grado de marginación puede servir para dar indicios del potencial de la actividad aérea. Una población con muy alta marginación difícilmente podrá acceder a estos servicios, por el contrario, una marginación muy baja se puede relacionar con la población que puede acceder a estos servicios regularmente. En las Tablas 3 y 4 se presenta un resumen de los resultados estimados del número de habitantes con los distintos grados de marginación en las áreas de influencia determinadas mediante la metodología de accesibilidad espacial, para los escenarios uno y dos respectivamente.

Área de influencia del aeropuerto de	Grado de marginación (habitantes)				
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Acapulco	8,531	0	0	0	0
Bahías de Huatulco	85,804	56,200	266,070	44,364	90,681
Minatitlán	60,413	22,356	103,335	13,608	0
Oaxaca	388,743	214,859	390,479	242,568	378,937
Puebla	4,788	1,447	0	0	0
Puerto Escondido	149,087	176,770	186,195	0	0
Tehuacán	161,300	76,106	55,413	69,839	0
Tuxtla Gutiérrez	6,608	7,232	60,852	0	0
Veracruz	201,953	65,700	55,967	155,766	0
Totales	1,067,227	620,661	1,118,311	526,145	469,618

Tabla 3. Escenario uno. Relación entre las áreas de influencia y el grado de marginación en el estado de Oaxaca (servicio nacional, sin Ixtepec). (Con base en la metodología de accesibilidad espacial y CONAPO, 2011)

Área de influencia del aeropuerto de	Grado de marginación (habitantes)				
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Acapulco	8,531	0	0	0	0
Bahías de Huatulco	46,074	43,860	52,138	0	0
Ixtepec	132,846	50,071	338,884	57,972	90,681
Minatitlán	0	0	41,535	0	0
Oaxaca	362,648	206,707	388,179	242,568	378,937
Puebla	4,788	1,447	0	0	0
Puerto Escondido	149,087	176,770	186,195	0	0
Tehuacán	161,300	76,106	55,413	69,839	0
Tuxtla Gutiérrez	0	0	0	0	0
Veracruz	201,953	65,700	55,967	155,766	0
Totales	1,067,227	620,661	1,118,311	526,145	469,618

Tabla 4. Escenario dos. Relación entre las áreas de influencia y el grado de marginación en el estado de Oaxaca (servicio nacional, con Ixtepec). (Con base en la metodología de accesibilidad espacial y CONAPO, 2011)

En general, se observa en estas Tablas que el grupo más numeroso de habitantes pertenece al grado de marginación medio, lo que representa aproximadamente el 29.4% de la población de Oaxaca, en seguida se ubican el grado muy alto (28%), el alto (16.3%), el bajo (13.8%) y por último el muy bajo (12.3%). Además, en particular a los aeropuertos oaxaqueños corresponde, en los dos escenarios, la totalidad de los habitantes con grado de marginación muy bajo. También se observa que la población con grado de marginación muy bajo es atendida actualmente por los aeropuertos de Oaxaca y Bahías Huatulco (Tabla 3). Sin embargo, al considerar la operación del aeropuerto de Ixtepec, la totalidad de la población con grado de marginación muy bajo de Bahías de Huatulco es transferida a Ixtepec (Tabla 4).

7. Conclusiones y recomendaciones

Mediante la metodología de accesibilidad espacial se determinó que algunas zonas del estado de Oaxaca son cubiertas por áreas de influencia de aeropuertos ubicados fuera de este estado, y que a su vez, parte de las áreas de influencia de los aeropuertos oaxaqueños se extienden hacia otras entidades. Dependiendo del escenario considerado los aeropuertos oaxaqueños cubren entre 63% (escenario uno) y 77% (escenario dos) de su extensión territorial.

Se determinó que en la situación actual, sin el aeropuerto de Ixtepec, un área importante en el Este de Oaxaca no es cubierta por los aeropuertos oaxaqueños, pero sí por los aeropuertos de Minatitlán y Tuxtla Gutiérrez. Sin embargo, cuando se consideró la operación del aeropuerto de Ixtepec, se advirtió que éste aeropuerto ofrecería servicio a una parte significativa del área señalada anteriormente, e incluso podría atender a otras extensiones dentro de los estados de Veracruz y Chiapas, que antes no eran servidas por los aeropuertos de Oaxaca.

Se estimó que bajo la condición actual los aeropuertos de Oaxaca ofrecen servicio a poco más del 70% de su población, pero en el caso de que entrara en servicio el aeropuerto de Ixtepec, este valor se podría incrementar en casi 6%, lo que representaría anualmente alrededor de 218 mil habitantes adicionales; y que los usuarios de muy baja marginación que eran atendidos antes por Bahías de Huatulco, reducirían a la mitad sus tiempos de desplazamiento para acceder a dichos servicios.

También, se determinó que las áreas de influencia de los aeropuertos oaxaqueños contienen al 100% de sus municipios con grado de marginación muy bajo, los cuales son los que tienen el mayor potencial para demandar los servicios aéreos.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

9. Referencias

Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2011). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. Primera edición. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio

Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM V2). Consultado el 29 de mayo de 2015, en el sitio: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>

Herrera García, A., Martínez, A.J.J., González Moreno, J.O. (2009). Determinación del potencial de carga aérea en aeropuertos alternos: Una propuesta metodológica. *Publicación Técnica No. 323*. México. Instituto Mexicano del Transporte.

Marco Geoestadístico Nacional (MGN) del INEGI. Consultado el 1 de junio de 2015, en el sitio:

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx

USIG/IMT. (2014). *Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (SIGET)*, versión 2.0, en edición. México. Instituto Mexicano del Transporte.

Análisis preliminar del comportamiento de las tarifas aéreas en México

Alfonso Herrera García¹, Luis Enrique Trejo Matías²

¹ Instituto Mexicano del Transporte, México.

² Universidad Tecnológica de Tula – Tepeji, México.

aherrera@imt.mx, luis_henry68@hotmail.com

Abstract

El objetivo de este estudio es determinar la variación que tienen las tarifas aéreas en función de la anticipación de la compra; de si son vuelos directos o con escalas; de los periodos vacacionales; y de las distintas clases de servicios. Así como, una estimación de los costos unitarios de las tarifas. También, se establece una clasificación de las aerolíneas en función de sus tarifas. El análisis incluye a las aerolíneas nacionales e internacionales que operan en el territorio mexicano en sus principales rutas. Se utiliza el buscador en internet despegar.com, debido a que presenta algunas ventajas sobre otros buscadores en línea, por ejemplo, rapidez en las búsquedas, anticipación de información hasta por seis meses, las tarifas incluyen impuestos y otros cargos, y considera tanto a las aerolíneas nacionales como internacionales en una misma búsqueda. La principal limitación de este estudio es que el registro de las tarifas sólo se limitó a tres meses. Sin embargo, con la metodología establecida se sistematizó la forma de procesar la información, por lo que en estudios futuros se puede aplicar para evaluar un periodo mayor.

Palabras clave: aerolínea, costo unitario, tarifa.

1. Introducción

El objetivo general es determinar la variación que tienen las tarifas aéreas en función de la anticipación de la compra (1), de si son vuelos directos o con escalas (2), de los periodos vacacionales (3) y de las distintas clases de servicios que ofrecen las aerolíneas (4). Así como, una estimación de los costos unitarios de las tarifas en función de la distancia de recorrido de cada ruta (5). También, se establece una clasificación de las aerolíneas en función de sus tarifas (6).

En el transcurso de febrero a abril de 2015 se dio seguimiento al comportamiento de las tarifas aéreas de las principales rutas aéreas en México, tanto de aerolíneas mexicanas como extranjeras. El trabajo se estructuró en tres fases, en donde la primera (A) se enfoca en la estimación de tarifas aéreas, la segunda (B) en los costos unitarios y la última (C) en la clasificación de las aerolíneas en función de sus tarifas (Tabla 1).

En la Tabla 1, la fecha de consulta se refiere a aquella fecha en que se realiza la cotización de un vuelo determinado y la fecha objetivo se refiere a aquella en que se planea realizar el viaje. Para el objetivo 5, adicionalmente a las tarifas se estima la distancia entre cada origen-destino, mediante un sistema de información geográfica (SIG). Con base en estos datos se estima el costo de cada kilómetro recorrido (costo unitario). Por último, para el objetivo 6, en donde se clasifican las aerolíneas en función de sus tarifas, se utiliza la información obtenida en el objetivo 5.

Fase	Objetivo	Fechas de consulta	Fechas objetivo	Tipo de vuelo	Escalas	Clase
A) Estimación de tarifas aéreas	1. En función de la fecha de compra	3, 9, 16 y 23 de febrero;	13 abril (salida) 14 abril (regreso)	Redondo (ida y vuelta).	Sin escala	Turista
	2. En vuelos directos o con escalas	2, 9, 17, 23 y 30 de marzo; y 6 abril			Sin escala y con escala	
	3. En periodos vacacionales	13 febrero	2, 9, 16, 19, 20, 23, 26, 27 y 30 de marzo; 2, 3, 9, 10, 16, 17, 18, 19, 24, 25 y 26 de abril; 1, 2, 3, 8, 9, 10, 15, 16 y 17 de mayo; 17, 18, 19, 24, 25, 26 y 31 octubre; y 1, 2, 7, 8, 9, 14, 15 y 16 noviembre	Redondo	Sin escala	Turista
	4. En las distintas clases de servicio	17 febrero	5 de marzo	Redondo	Sin escala	Turista, ejecutiva y primera clase
B) Costo unitario	5. Estimación de costos unitarios de las tarifas	18 febrero	25 de marzo	Redondo	Sin escala	Turista
C) Clasificación de las aerolíneas	6. Clasificación de las aerolíneas en función de sus tarifas	18 febrero	25 de marzo	Redondo	Sin escala	Turista

Tabla 1. Fases, objetivos y fechas para la investigación (año 2015)

Para la estimación de las tarifas se evaluaron distintos buscadores (vuelos.com, expedia.mx, edreams, despegar.com y baratos.com), de lo cual resultó que el sitio despegar.com fue que el que tuvo más ventajas, por lo tanto, éste fue el utilizado. Para las cotizaciones se considera el viaje redondo de un adulto en clase turista, excepto cuando se especifique lo contrario.

2. Estimación de las tarifas en función de la fecha de compra (objetivo 1)

Mediante el buscador se obtuvieron las tarifas de los servicios regular nacional e internacional y fletamento nacional e internacional, para diez semanas previas a la fecha de salida del vuelo requerido. Posteriormente, se estimaron las tarifas promedio para dichos servicios.

En general, se observa que conforme se acerca la fecha de salida del vuelo las tarifas tienden a incrementarse. Sin embargo, esta condición no fue evidente para el servicio regular internacional ($R^2 = 0.0072$). Para los otros tres servicios incluso esta correlación no fue muy alta ($R^2 = 0.51$, $R^2 = 0.27$ y $R^2 = 0.53$ respectivamente). En el mejor de los casos, para el servicio de fletamento internacional (Figura 2) se observó un $R^2 = 0.53$. Debido a esta tendencia general, las tarifas promedio en el caso del servicio regular nacional, en la semana 1 previa a la salida en comparación con la semana 10 son mayores un 82%; para el servicio regular internacional 8.1%; para el servicio de fletamento nacional 4.1%; y para el servicio de fletamento internacional 84.7%. En las figuras 1 y 2 se presentan los resultados para el servicio de fletamento internacional.

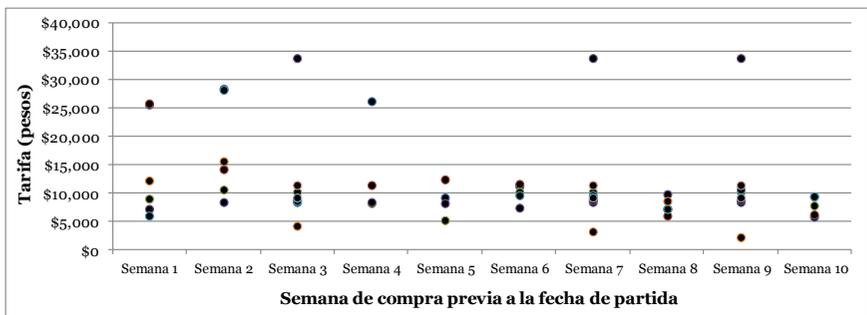


Figura 1. Tarifas del servicio de fletamento internacional considerando distintas semanas de compra previas a la fecha de partida

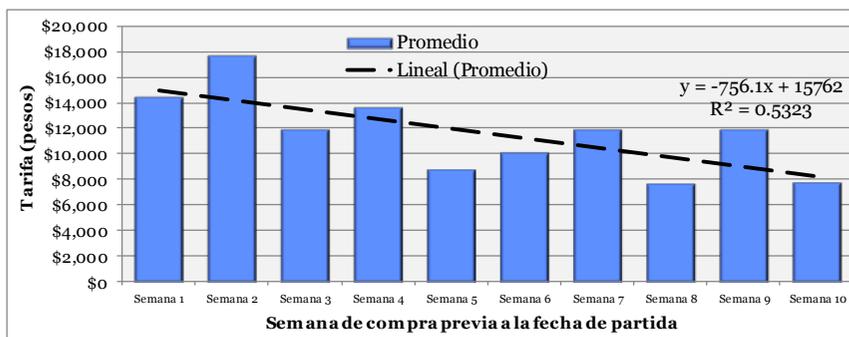


Figura 2. Tarifas promedio semanales de la compra previa a la fecha de partida del servicio de fletamento internacional

3. Estimación de las tarifas en vuelos directos o con escalas (objetivo 2)

Al ingresar al sitio web despegar.com y al buscar las tarifas entre pares de aeropuertos, el buscador automáticamente arroja los valores tanto de vuelos directos como con escalas.

En los servicios regular nacional, fletamento nacional e internacional se observó que las tarifas de los vuelos con escalas son generalmente mayores que las de los vuelos directos. En cambio, en el servicio regular internacional las tarifas de los vuelos directos son mayores que las de los vuelos con escalas.

En el caso del servicio regular nacional (Figura 3) las tarifas de los vuelos directos son menores entre un 0.29% y 45.21% respecto de las tarifas de los vuelos con escalas. En promedio, las tarifas de los vuelos directos son menores que la de los vuelos con escalas en 18.25%.

En el caso del servicio regular internacional las tarifas de los vuelos con escalas son menores entre un 3.3% y 59.7% respecto de las tarifas de los vuelos directos. En promedio, las tarifas de los vuelos con escalas son menores que la de los vuelos directos en 17.7%.

En el caso del servicio de fletamento nacional las tarifas de los vuelos directos son menores entre un 5.2% y 78.6% respecto de las tarifas de los vuelos con escalas. En promedio, las tarifas de los vuelos directos son menores que la de los vuelos con escalas en 28.8%.

En el caso del servicio de fletamento internacional las tarifas de los vuelos directos son menores entre un 7.02% y 42.4% respecto de las tarifas de los vuelos con escalas. En promedio, las tarifas de los vuelos directos son menores que la de los vuelos con escalas en 24.39%.

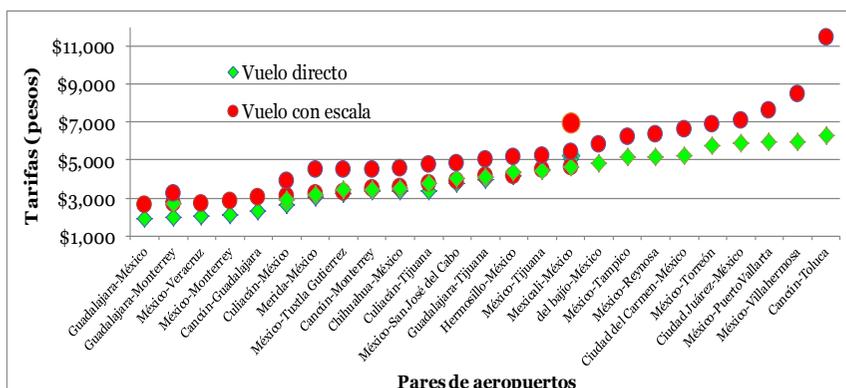


Figura 3. Servicio regular nacional vuelos directos o con escala

4. Estimación de las tarifas en periodos vacacionales (objetivo 3)

Se consideraron los periodos vacacionales del 16 de marzo; 2 y 3 de abril; 1, 2 y 3 de mayo; 31 de octubre y 1 y 2 de noviembre de 2015. Para efectos de comparación fueron considerados dos lapsos anteriores y dos posteriores a los periodos señalados.

En general, se observa que para los cuatro tipos de servicios en todos los casos el promedio de las tarifas vacacionales es mayor que el de los no vacacionales. La única excepción se presentó en la fecha del 1 de mayo en el servicio regular internacional.

Si se estiman los promedios para todas las fechas consideradas, se observa que las tarifas aéreas en los periodos vacacionales son entre 10.06 y 42.9% mayores que las de los periodos no vacacionales.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los resultados generales obtenidos, para los cuatro tipos de servicios, en donde se consignan las tarifas promedio, tanto para los periodos vacacionales como para los no vacacionales, y las relaciones entre éstas.

Tipo de servicio	Tarifa promedio (pesos)		Relacion de tarifas vacacionales/no vacacionales
	Periodo vacacional	Periodo no vacacional	
Regular nacional	\$2,466.18	\$2,023.30	121.89%
Regular internacional	\$6,897.45	\$6,267.07	110.06%
Fletamento nacional	\$3,279.57	\$2,652.67	123.63%
Fletamento internacional	\$2,455.16	\$1,718.11	142.90%
Promedio	\$3,774.59	\$3,165.29	124.62%

Tabla 2. Promedio general de tarifas para los cuatro servicios

5. Estimación de las tarifas en las distintas clases de servicios (objetivo 4)

En la Tabla 3 se muestran las tarifas promedio obtenidas para las distintas clases de servicios. En general, se observa que las tarifas para la clase turista son las más bajas y a la Primera clase corresponden las más altas. La clase ejecutiva presenta tarifas intermedias entre las dos anteriores.

Servicio	Tarifas promedio por clase		
	Turista	Ejecutiva	Primera clase
Regular nacional	\$1,827.50	\$3,308.97	\$4,536.12
Regular internacional	\$5,870.89	\$7,372.00	\$15,905.79
Fletamento nacional	\$1,981.63	\$3,188.08	\$4,756.46
Fletamento internacional	\$8,687.19	\$9,047.89	\$10,370.14
Promedio	\$4,591.80	\$5,729.23	\$8,892.13

Tabla 3. Tarifas promedio de las distintas clases de servicio

En términos relativos las tarifas promedio de la clase ejecutiva son casi 43% mayores que las de la clase turista, y las tarifas promedio de la Primera clase son casi un 120% mayores que las de la clase turista (Tabla 4).

Servicio	Relación entre:	
	Clase ejecutiva/clase turista	Primera clase/clase turista
Regular nacional	181.07%	248.21%
Regular internacional	125.57%	270.93%
Fletamento nacional	160.88%	240.03%
Fletamento internacional	104.15%	119.37%
Promedio	142.92%	219.64%

Tabla 4. Porcentaje de las clases de servicio

6. Estimación de los costos unitarios de las tarifas (objetivo 5)

Para este objetivo se registraron las tarifas por aerolínea de las principales rutas, de los servicios regular nacional e internacional y fletamento nacional e internacional. Además, se obtuvieron las distancias de las rutas, las tarifas promedio, los costos unitarios por aerolínea y los costos unitarios promedio. En las Tablas 5 y 6 se presenta el caso del servicio regular nacional.

En el caso del servicio regular nacional se observó que el costo unitario fluctúa entre 1.17 y 4.05 pesos/km, en el servicio regular internacional el mínimo es 0.21 y el máximo 2.86 pesos/km, en el servicio de fletamento nacional el

mínimo es 0.99 y el máximo 7.64 pesos/km, y en el servicio de fletamento internacional el mínimo es 0.50 y el máximo 4.26 pesos/km.

Regular nacional						
Ruta	Distancia (km)	Tarifas por aerolínea (pesos)				Tarifa promedio (pesos)
		Volaris	Aeroméxico	Interjet	Aeromar	
Cancún-México	1286.5	1146.0	1426.0	2522.0		1698.0
México-Monterrey	710.4	431.0	1156.0	1401.0		996.0
Guadalajara-México	467.5	675.0	994.0	1177.0		948.7
México-Tijuana	2300.3	2805.0	5400.0	4238.0		4147.7
Merida-México	997.4	850.0	1512.0	2231.0		1531.0
Guadalajara-Tijuana	1886.8	2347.0		3331.0		2839.0
México-Villahermosa	678.6		1398.0	1943.0		1670.5
México-Tuxtla Gutierrez	715.3		1562.0	2083.0		1822.5
Cancún-Monterrey	1450.4					
Hermosillo-México	1618.0		1999.0	3061.0		2530.0
México-Puerto Vallarta	661.2		1198.0	2291.0		1744.5
Chihuahua-México	1240.1	1076.0	1648.0	2207.0		1643.7
México-Veracruz	304.9		1031.0	1441.0	1798.0	1423.3
Guadalajara-Monterrey	667.5					
Culiacán-Tijuana	1265.9	1733.0				1733.0
Culiacán-México	1048.3					
México-San José del Cabo	1178.4		1382.0			1382.0
México-Tampico	340.4					
Cancún-Guadalajara	1711.3					
Bahías de Huatulco-México	503.4		981.0	1949.0		1465.0
México-Oaxaca	366.5					
Acapulco-México	305.7		787.0		2250.0	1518.5
Ciudad Juárez-México	1540.4					
México-Torreón	812.0					
Ciudad del Carmen-México	770.2		1405.0	2398.0		1901.5
México-Reynosa	773.8		1765.0	2126.0		1945.5
Mazatlán-México	853.5					
Mexicali-México	2176.2		4560.0			4560.0
Cancún-Toluca	1340.2					
Del bajo-México	305.4					

Tabla 5. Servicio regular nacional tarifas por aerolínea

Además, los costos unitarios versus las distancias de las rutas, para los distintos servicios fueron graficados. En estas gráficas se incorporó la tendencia lineal de los datos, la ecuación de esta línea y su coeficiente de determinación (R²). Como resultado se observó que en todos los casos la correlación entre el costo unitario y la distancia entre los aeropuertos involucrados es muy baja. Los valores de los coeficientes fluctuaron entre 0.07 y 0.34. En la Figura 4 se muestra el caso del servicio regular nacional.

Regular nacional					
Ruta	Costos unitarios por aerolínea (pesos/km)				Costo unitario promedio (pesos/km)
	Volaris	Aeroméxico	Interjet	Aeromar	
Cancún-México	\$0.89	\$1.11	\$1.96		\$1.32
México-Monterrey	\$0.61	\$1.63	\$1.97		\$1.40
Guadalajara-México	\$1.44	\$2.13	\$2.52		\$2.03
México-Tijuana	\$1.22	\$2.35	\$1.84		\$1.80
Merida-México	\$0.85	\$1.52	\$2.24		\$1.53
Guadalajara-Tijuana	\$1.24		\$1.77		\$1.50
Hermosillo-México		\$1.24	\$1.89		\$1.56
México-Puerto Vallarta		\$1.81	\$3.47		\$2.64
Chihuahua-México	\$0.87	\$1.33	\$1.78		\$1.33
México-Veracruz		\$3.38	\$4.73		\$4.05
Culiacán-Tijuana	\$1.37				\$1.37
México-San José del Cabo		\$1.17		\$1.53	\$1.17
Bahías de Huatulco-México		\$1.95	\$3.87		\$2.91
Acapulco-México		\$2.57			\$2.57
Ciudad del Carmen-México		\$1.82	\$3.11		\$2.47
México-Reynosa		\$2.28	\$2.75		\$2.51
Mexicali-México		\$2.10			\$2.10
Valor mínimo	\$0.61	\$1.11	\$1.77	\$1.53	\$1.17
Valor máximo	\$1.44	\$3.38	\$4.73	\$1.53	\$4.05

Tabla 6. Servicio regular nacional costos unitarios por aerolínea

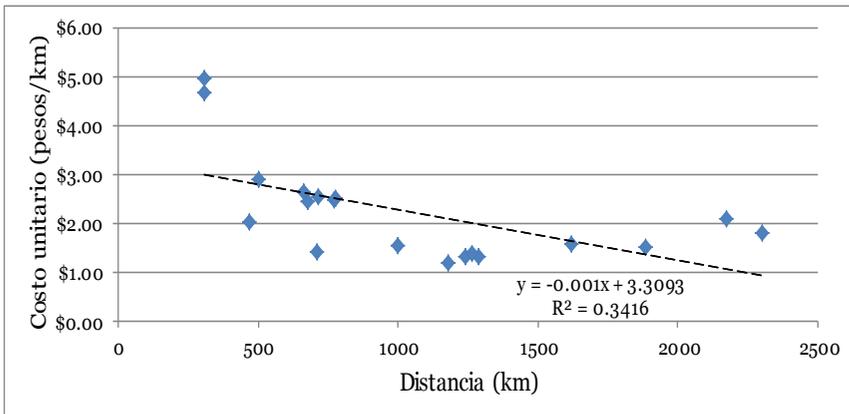


Figura 4. Correlación entre los costos unitarios y las distancias de los pares de aeropuertos en servicio regular nacional

7. Clasificación de las aerolíneas en función de sus tarifas (objetivo 6)

Inicialmente se obtuvieron las tarifas de los distintos pares de aeropuertos por aerolínea, para los servicios regular nacional e internacional y fletamento nacional e internacional; y después, se estimaron los valores promedio por aerolínea de las tarifas.

En relación con el servicio regular nacional se observó que Aeromar presenta la tarifa promedio más alta, seguida por Interjet, Aeroméxico y Volaris; la tarifa promedio más baja corresponde a VivaAerobus. En el caso del servicio regular internacional se observó que de las doce aerolíneas registradas, las primeras seis con las tarifas promedio más altas son extranjeras y están encabezadas por Air France. En las otras seis aerolíneas con las tarifas promedio más bajas, se ubican tres aerolíneas mexicanas y tres extranjeras. En particular, la tarifa promedio más baja corresponde a la aerolínea mexicana Volaris.

Por su parte, en el caso del servicio de fletamento nacional se observó que la tarifa promedio más alta corresponde a Aeromar, seguida de Interjet, Aeroméxico y VivaAerobus; la tarifa promedio más baja corresponde a Volaris. En relación con el servicio de fletamento internacional se observó que de las siete aerolíneas registradas, las cinco primeras con las tarifas promedio más altas corresponden a aerolíneas extranjeras, y que las tarifas promedio más bajas corresponden a las aerolíneas mexicanas Aeroméxico y Volaris.

Para clasificar a las aerolíneas se consideraron los valores de tarifas promedio tanto en servicio nacional (Tabla 7), como internacional (Tabla 8). En el caso del servicio nacional la clasificación en función de las tarifas promedio fue: Aeromar, Interjet, Aeroméxico, VivaAerobus y Volaris.

En la Tabla 9 se registran las relaciones entre la tarifa promedio más alta de este grupo, que corresponde a Aeromar, y cada tarifa individual. Se debe señalar que hay diferencias significativas en estas relaciones, por ejemplo, las tarifas promedio de Volaris son casi 40% más bajas que las de Aeromar. En la Tabla 10 se registran las relaciones entre la tarifa promedio más alta de los servicios internacionales, que corresponde en este caso a Air France, y cada tarifa individual. En este caso, se observan mayores diferencias significativas, por ejemplo, las tarifas promedio de Volaris son casi 85% más bajas que las de Air France. También, se debe señalar que las aerolíneas mexicanas presentan las tarifas promedio más bajas, en particular destacan Interjet y Volaris.

Aerolínea	Tarifa promedio (pesos)
Aeromar	\$2,944.60
Interjet	\$2,340.40
Aeroméxico	\$2,229.22
VivaAerobus	\$2,047.94
Volaris	\$1,758.01

Tabla 7. Tarifas promedio del servicio nacional (regular y fletamento)

Aerolínea	Tarifa promedio (pesos)
Air France	\$24,941.00
British Airways	\$24,531.00
Lan	\$20,436.00
Air Europa	\$20,161.00
Air Canada	\$13,533.50
Avianca	\$12,063.67
Copa	\$10,544.33
Delta	\$9,988.07
United Airlines	\$8,800.75
Aeroméxico	\$7,478.29
Alaska Airlines	\$6,849.00
Interjet	\$4,282.00
Volaris	\$3,717.25

Tabla 8. Tarifas promedio del servicio internacional (regular y fletamento)

Aerolínea	Porcentaje
Aeromar	100.00%
Interjet	79.48%
Aeroméxico	75.71%
VivaAerobus	69.55%
Volaris	59.70%

Tabla 9. Relación de la tarifa promedio más alta y la tarifa promedio individual, para los servicios nacionales

Aerolínea	Porcentaje
Air France	100.00%
British Airways	98.36%
Lan	81.94%
Air Europa	80.83%
Air Canada	54.26%
Avianca	48.37%
Copa	42.28%
Delta	40.05%
United Airlines	35.29%
Aeroméxico	29.98%
Alaska Airlines	27.46%
Interjet	17.17%
Volaris	14.90%

Tabla 10. Relación de la tarifa promedio más alta y la tarifa promedio individual, para los servicios internacionales

8. Conclusiones

En cuanto a la estimación de las tarifas en función de la fecha de compra, se concluye en general, que conforme se acerca la fecha de salida las tarifas tienden a incrementar su valor entre un 4.1% y 84.7%.

Al analizar las tarifas de los vuelos directos y con escalas, para los servicios regular nacional y fletamento nacional e internacional, se concluye que en promedio las tarifas de los vuelos directos son menores que la de los vuelos con escalas, entre 18.2% y 28.8%.

Las tarifas en los periodos vacacionales son más altas que las de los periodos no vacacionales, en un rango de entre 10% y 42.9%.

Para el análisis comparativo de tarifas en las distintas clases de servicios se concluye que las correspondientes a la clase turista son las más bajas; a la primera clase corresponden las tarifas más altas (120% mayores que las de clase turista); y la clase ejecutiva presenta tarifas intermedias entre las dos anteriores (43% mayores que las de clase turista).

En la estimación de los costos unitarios de las tarifas, se concluye que en general conforme se incrementa la distancia de cada ruta, los costos unitarios disminuyen.

Por último, al clasificar las aerolíneas mexicanas en función de sus tarifas (de mayor a menor), se observa que en el servicio nacional se presenta el siguiente orden: Aeromar, Interjet, Aeroméxico, VivaAerobus y Volaris; y en el caso del servicio internacional Aeroméxico, Interjet y Volaris.

Debido a que este estudio preliminar sólo abarcó un periodo de tres meses, se recomienda realizar un análisis posterior que incluya al menos un intervalo de un año para tener una muestra de mayor tamaño.

9. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y la Universidad Tecnológica de Tula - Tepeji.

10. Referencias

www.baratos.com.mx; consultado en febrero de 2015.

www.despegar.com.mx/; consultado entre febrero y abril de 2015.

www.edreams.es/ofertas/vuelos/aerolinea/; consultado en febrero de 2015.

www.expedia.mx/vuelos; consultado en febrero de 2015.

www.vuelos.com/mx/vuelos_avion; consultado en febrero de 2015.

Cálculo e capacidade de pista nos aeroportos brasileiros: Métodos e parâmetros utilizados

Pâmela Martins dos Santos, Cláudio Jorge Pinto Alves, Carlos Müller

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Civil, Brasil.

Pamela.bct@gmail.com, claudio@ita.br, muller@ita.br

Abstract

Objeto: Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre o método utilizado para o cálculo da capacidade de pista dos aeroportos brasileiros e o método utilizado pela FAA.

Diseño/metodología/enfoque: Os aeroportos considerados nesta análise estão na região de maior movimento de tráfego aéreo do país – Terminal de Área São Paulo (TMA-SP), com 731.729 movimentos registrados em 2014. São eles: Aeroporto Internacional de Viracopos/Campinas – SBKP, Aeroporto de Congonhas/São Paulo – SBSP e Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – SBGR.

Aportaciones y Originalidad: Tais aeroportos são considerados estratégicos, pois podem gerar enorme impacto em todo o sistema do transporte aéreo, uma vez que tenham suas capacidades afetadas.

Valor añadido: A capacidade de pista é o subsistema de maior importância e relevância na capacidade aeroportuária, que por sua vez, influencia a capacidade do espaço aéreo e do sistema de tráfego aéreo como um todo. Essa análise comparativa pode auxiliar na identificação de limitações e melhorias para o caso brasileiro.

Palavras-chave: capacidade de pista dos aeroportos brasileiros; análise de métodos; cálculo de capacidade de pista.

1. Introdução

A aviação mundial tem apresentado forte crescimento desde a introdução dos modernos jatos a partir da década de 1950. Previsões e projeções econômicas no setor vislumbram um crescimento anual médio de 5% que, ao longo de 45 anos, resultaria em quase 10 vezes um maior nível de demanda (Evans & Schäfer, 2014). As empresas aéreas responderiam a esse crescimento através do aumento de operações – pousos e decolagens – e tamanho das aeronaves. Porém, tal crescimento também causaria impactos para o tráfego aéreo, incluindo congestionamento dos aeroportos e do espaço aéreo (Evans & Schäfer, 2014). Nesse sentido, é necessário que a capacidade do sistema de tráfego aéreo acompanhe à demanda crescente, ou que esteja acima desta, a fim de poder absorver tal crescimento mesmo em situações de diminuição temporária da capacidade devido a fatores adversos.

A capacidade aeroportuária tem grande impacto na eficiência das operações do sistema de tráfego aéreo, por se tratar de um “gargalo” desse sistema (Zou, Xiang et al., 2014). Quando ocorre alguma interdição e impraticabilidade de pátios, *taxiways* ou pista, ou ainda, na ocorrência de mau tempo, a capacidade do aeroporto diminui. Tal queda na capacidade do aeroporto reflete em atrasos e congestionamentos para o sistema e até mesmo em cancelamentos de voos. Assim, a capacidade aeroportuária influencia diretamente na capacidade do espaço aéreo e do sistema de tráfego como um todo. Segundo Zou et al. (2014) alguns subsistemas influenciam a capacidade de um aeroporto, tais como os sistemas de pistas, táxis e de pátios; a capacidade de pista, por sua vez, é o subsistema que mais influencia na capacidade do aeroporto.

No contexto brasileiro, o Centro de Controle de Aproximação São Paulo, conhecido também como Controle São Paulo – APP-SP, é responsável por uma aérea de jurisdição com o maior fluxo de tráfego aéreo do país, com 731.729 movimentos de aeronaves em 2014 e 718.783 movimentos em 2013, segundo Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo (DECEA, 2014). Nesta região, estão presentes alguns dos principais e maiores aeroportos do Brasil em termos de fluxo de voo. Por se tratar da região mais movimentada do país, qualquer restrição operacional pode gerar impactos em todo o sistema de transporte aéreo brasileiro, não se limitando à região de São Paulo.

Este trabalho pretende fazer uma análise comparativa entre o método utilizado para determinar a capacidade de pista dos aeroportos brasileiros (DECEA, 2015) e o método utilizado pela FAA para os aeroportos norte-americanos (FAA, 1983), utilizando como estudo de caso os seguintes aeroportos: Aeroporto Internacional de Viracopos/Campinas – SBKP, Aeroporto de Congonhas/São Paulo – SBSP e Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – SBGR.

2. Capacidade de Pista

A capacidade de pista é o subsistema mais importante e decisivo que gera impacto na capacidade aeroportuária e alguns fatores que interferem naquela capacidade devem ser considerados (ZOU, Xiang et al., 2014): condição meteorológica (visibilidade, teto de nuvens e chuva); separações entre aviões de acordo com regras de tráfego aéreo; estado e desempenho do sistema de gerenciamento de tráfego aéreo; disposição geométrica da pista; mix da frota de aeronaves e desempenho; e, carga de trabalho do controlador de voo. Tais fatores foram citados pelos autores como capazes de determinar o comportamento das chegadas/partidas dos voos e foram considerados “atributos-chave” no cálculo da capacidade de pista.

2.1 Conceituação

Existem algumas definições na literatura para o conceito de capacidade de pista. Capacidade prática, capacidade máxima (FAA, 1983) – Figura 1 – e o conceito de capacidade teórica de pista (DECEA, 2015).

2.2 Capacidade Prática

Número de operações (pouso e decolagem) de aeronaves durante um intervalo específico de tempo que corresponde a um nível aceitável de atraso médio.

2.3 Capacidade Máxima

Número máximo de operações que o aeroporto pode acomodar durante certo intervalo de tempo quando sujeito à demanda contínua.

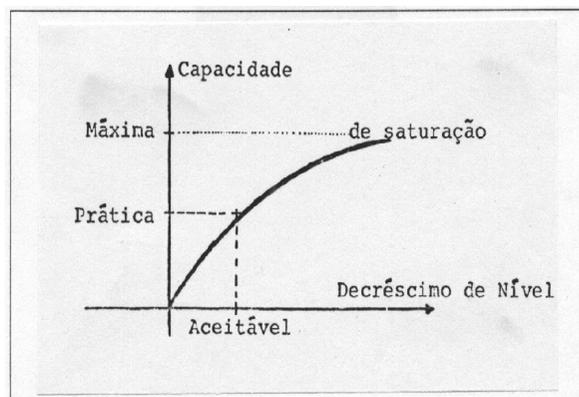


Figura 1 . Gráfico de Capacidade X Decréscimo de Nível de Serviço.

Notas de aula (Alves, 2014)

2.4 Capacidade Teórica

Capacidade do sistema de pistas de um aeródromo, calculada para um intervalo de 60 minutos, em função do tempo médio de ocupação de pista, separação regulamentar entre aviões, bem como normas e procedimentos específicos aplicáveis ao tráfego aéreo da localidade considerada.

3. Métodos para Cálculo de Capacidade de Pista

3.1 Método FAA

A FAA (*Federal Aviation Administration*) é um órgão norte-americano subordinado ao USDOT (Departamento de Transportes) engajado e responsável pelo desenvolvimento de iniciativas e projetos sustentáveis com o objetivo de oferecer um sistema aeroespacial mais seguro e eficiente no mundo. O método utilizado para o cálculo da capacidade aeroportuária derivou de modelos computacionais utilizados por esse órgão e estão baseados em dados obtidos dos aeroportos dos E.U.A. Segundo o método, o cálculo da capacidade horária aeroportuária é necessário para planejar e avaliar projetos de melhoria e desenvolvimento de aeroportos e a capacidade horária dos componentes aeroportuários pode variar ao longo do dia em função da pista em uso, mix de aeronaves, regras ATC, entre outros. (FAA, 1983).

Os dados considerados para o cálculo da capacidade horária de pista são: tipo de operação (IFR ou VFR); configuração do sistema de pista e pista em uso; composição da frota operante (mix); percentual de chegadas na hora-pico; percentual de toque e arremetida; quantidade, localização e configuração das saídas de pista (*taxiways*).

3.1.2 Mix de aeronaves

É a porcentagem relativa de operações realizadas por cada tipo das 4 classes (A, B, C e D) de aeronaves existentes – Tabela 1. Essas classes estão relacionadas com o peso máximo de decolagem.

Classe	Peso máximo de Decolagem (Kg)	Quantidade de Motores	Esteira de Turbulência
A	5.700 ou menos	monomotor	Small
B	5.700 ou menos	multimotor	Small
C	Entre 5.700 e 136.000	multimotor	Large
D	Mais que 136.000	multimotor	Heavy

Tabela 1. Classificação quanto ao peso máximo de decolagem. (FAA, 1983)

3.1.2 Índice-mix

É uma expressão matemática que indica o percentual de aeronaves de classe C somado a 3 vezes o percentual de aeronaves de classe D que operam no aeroporto:

$$\%(C + 3D)$$

3.1.3 Quantidade de operações de toque e arremetida – Fator T

Considerado para aeroportos que possuem operações visuais, o fator de toque e arremetida – fator T é obtido em função do índice-mix e da porcentagem das operações de toque-arremetida no período horário analisado, conforme Tabela 2. Para os aeroportos que operam somente IFR, o fator T será 1.00.

Porcentagem de Operações de Toque e Arremetida	Índice-Mix	Fator T
0	Entre 0 e 180	1.00
Entre 1 e 10	Entre 0 e 70	1.02
Entre 11 e 20	Entre 0 e 70	1.04
Entre 21 e 30	Entre 0 e 40	1.08
Entre 31 e 40	Entre 0 e 10	1.13
Entre 41 e 50	Entre 0 e 10	1.17

Tabela 2. Determinação do Fator T. ábaco 3-6 (FAA, 1983).

3.1.4 Quantidade de saídas de pistas efetiva – Fator E

De acordo com o índice-mix encontrado para o aeroporto em estudo, determina-se uma range, a partir da cabeceira em uso, em que as saídas de pista que se encontram dentro desse limite serão consideradas como saídas efetivas de pista e serão computadas. Se existir mais de uma saída nesta range, somente será considerada para cômputo se houver separação de no mínimo 750 pés entre as taxiways. É considerado também o percentual de chegada para o período analisado, conforme Tabela 3.

Índice-Mix	Distância a partir da cabeceira em uso (mil pés)	Fator E								
		40% de chegadas			50% de chegadas			60% de chegadas		
		n=0	n=1 ou 3	n=2	n=0	n=1	n=2 ou 3	n=0	n=1	n=2 ou 3
0 - 20	2 - 4	0,62	0,79	0,90	0,62	0,79	0,90	0,62	0,79	0,90
21 - 50	3 - 5,5	0,72	0,83	0,93	0,72	0,83	0,91	0,72	0,83	0,93
51 - 80	3,5 - 6,5	0,75	0,84	0,92	0,75	0,84	0,92	0,74	0,85	0,92
81 - 120	5 - 7	0,80	0,87	0,94	0,80	0,87	0,94	0,80	0,87	0,94
121 - 180	5,5 - 7,5	0,83	0,93	0,97	0,83	0,93	0,97	0,83	0,91	0,97

Tabela 3. Determinação do Fator E. ábaco 3-6 (FAA, 1983)

3.1.5 Capacidade horária básica – C*

A metodologia fornece valores de capacidade horária básica, obtidos a partir de ábacos que variam em função do sistema de pistas (pista única, pistas paralelas, pistas cruzadas, etc.). Esse valor dependerá também do índice-mix e do percentual de chegadas para o período analisado, de acordo com a Figura 2.

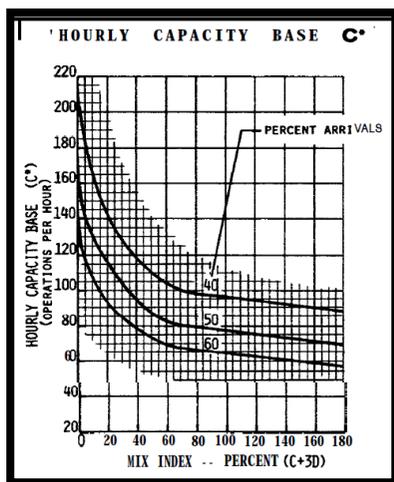


Figura 2. Ábaco de Determinação da Capacidade Horária Básica – C*. ábaco 3-6 (FAA, 1983)

3.1.6 Capacidade horária de pista

A capacidade horária de pista é calculada a partir dos itens mencionados anteriormente e é dada pela equação $C^* x T x E$.

3.2 Método CGNA

A metodologia utilizada para o cálculo da capacidade de pista dos aeroportos brasileiros foi desenvolvida pelo CGNA (Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea), órgão subordinado ao DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), que é uma organização militar do Comando da Aeronáutica responsável pelo planejamento e gerenciamento de atividades e projetos relacionados ao controle do espaço aéreo no Brasil.

O manual estabelece alguns procedimentos que devem ser empregados no cálculo da capacidade do sistema de pistas e considera fatores que interferem na determinação deste número. Tais condicionantes são: fatores de planejamento e fatores relativos às operações de pouso e decolagem (DECEA, 2015).

3.2.1 Procedimentos empregados no cálculo da capacidade

São hipóteses e considerações necessárias para padronização do procedimento de coleta de dados e determinação da capacidade do sistema de pista:

- Considera o percentual de 50% para chegadas e partidas em um período de uma hora, para qualquer aeródromo;
- tempo médio de ocupação de pista será calculado para cada cabeceira, visto que cada pista tem sua própria configuração;
- percentual por categoria de aeronaves (mix) será calculado a partir do movimento total diário.

3.2.2 Fatores de planejamento

São hipóteses e elementos utilizados para a simplificação dos modelos matemáticos ou dos aspectos operacionais, tais como: condições ideais de sequenciamento e de coordenação de tráfego aéreo; uniformidade na capacitação e desempenho operacional das equipes envolvidas; operacionalidade e confiabilidade nos equipamentos de radionavegação, de auxílios visuais e de comunicações (VHF/telefonia).

3.2.3. Fatores relativos às operações de pouso e decolagem

São alguns dos parâmetros utilizados para o cálculo da capacidade teórica de pista, tais como: tempos médios de ocupação de pista; mix de aeronaves; percentual de utilização das cabeceiras; comprimento do segmento de aproximação final; separação mínima regulamentar de aeronaves; configuração das pistas de pouso e de táxi; velocidade de aproximação final; utilização ou não de equipamento radar.

3.2.4 Mix de aeronaves

É a distribuição percentual da frota em operação no aeroporto estudado. O CGNA utiliza a subdivisão de categorias definida pelo DOC 8168 (OACI, 2006) quanto à velocidade de cruzamento da cabeceira de pista. São 5 categorias, conforme Tabela 4.

Categoria	Velocidade
A	Menor que 90 KT
B	Entre 91 e 120 KT
C	Entre 121 e 140 KT
D	Entre 141 e 165 KT
E	Entre 166 e 210 KT

Tabela 4. Categoria quanto à velocidade de cruzamento de cabeceira. (OACI, 2006)

3.2.5 Tempos coletados e tempos médios calculados

São os tempos coletados, por categoria de aeronave, junto à localidade analisada. Tais tempos são cronometrados a partir da torre de controle do aeródromo.

- Tempo de ocupação de pista na decolagem (TOPD): tempo gasto pela aeronave durante a decolagem, contado desde o momento em que abandona o ponto de espera até o cruzamento da cabeceira oposta.
- Tempo de ocupação de pista no pouso (TOPP): tempo gasto pela aeronave durante o pouso, contado desde o momento em que a aeronave cruza a cabeceira até o momento em que abandona a pista.
- Tempo do marcador externo até o cruzamento da cabeceira (T): tempo gasto pela aeronave durante a fase de aproximação final, desde o momento em que ela passa sobre o marcador externo até o cruzamento da cabeceira da pista ou, na ausência de um marcador externo, quando inicia o segmento de aproximação final até o cruzamento da cabeceira da pista.

- Média aritmética dos tempos de ocupação de pista por categoria de aeronave (MATOP): é a média, por categoria, entre o tempo de ocupação de decolagem (TOPD) e o tempo de ocupação do pouso (TOPP), conforme Figura 3.

$$\begin{aligned}
 MATOP_A &= \frac{TOPD_A + TOPP_A}{2} & MATOP_B &= \frac{TOPD_B + TOPP_B}{2} \\
 MATOP_C &= \frac{TOPD_C + TOPP_C}{2} & MATOP_D &= \frac{TOPD_D + TOPP_D}{2} \\
 MATOP_E &= \frac{TOPD_E + TOPP_E}{2}
 \end{aligned}$$

Figura 3. Equações para determinar MATOP. (DECEA, 2015)

- Tempo médio ponderado de ocupação de pista (TMOP): é a média ponderada entres os MATOPs, utilizando o mix de aeronaves como fator de correção, conforme Figura 4.

$$TMOP = \frac{MIX_A * TOP_A + MIX_B * TOP_B + MIX_C * TOP_C + MIX_D * TOP_D + MIX_E * TOP_E}{\sum MIX}$$

Figura 4. Equação para determinar TMOP. (DECEA, 2015) *os valores de TOP são os valores calculados de MATOP

- Tempo médio ponderado entre dois pousos consecutivos (TMST): é o tempo gasto para percorrer a separação total entre dois pousos consecutivos (ST) (item 3.2.7). É obtido dividindo-se essa distância pela velocidade média ponderada (VMP) do mix de aeronaves, conforme Figura 5.

$$TMST = \frac{ST}{VM}$$

Figura 5. Equação para determinar TMST.
(DECEA, 2015) *os valores de VM são os valores calculados de VMP (item 3.2.6)

3.2.6 Velocidades calculadas

- Velocidade de aproximação final (VA): velocidade necessária para percorrer o segmento de aproximação final (SAF) para pouso. Essa velocidade é o resultado da divisão do comprimento do segmento de aproximação final pelo tempo de voo entre o marcador externo e a cabeceira da pista (T) e será calculada para cada categoria, conforme Figura 6.

$$\begin{aligned}
 VA_A &= \frac{SAF}{T_A} \\
 VA_B &= \frac{SAF}{T_B} \\
 VA_C &= \frac{SAF}{T_C} \\
 VA_D &= \frac{SAF}{T_D} \\
 VA_E &= \frac{SAF}{T_E}
 \end{aligned}$$

Figura 6. Equação para determinar VA. (DECEA, 2015)

- Velocidade média ponderada na aproximação final (VMP): é a média ponderada, entre as VAs, considerando o mix de aeronaves, conforme Figura 7.

$$VMP = \frac{MIX_A * VA_A + MIX_B * VA_B + MIX_C * VA_C + MIX_D * VA_D + MIX_E * VA_E}{100}$$

Figura 7. Equação para determinar VMP. (DECEA, 2015)

3.2.7 Determinação das separações

O método prevê a possibilidade de ocorrer uma decolagem entre dois pousos consecutivos, porém, sem ferir a separação mínima regulamentar (SMR) entre as aeronaves pousando e decolando. Com esse objetivo, é necessário calcular uma distância de segurança a ser somada à separação mínima regulamentar, entre as aeronaves em aproximação, de forma a viabilizar a decolagem de uma aeronave, logo após o pouso da primeira, sem comprometer a sua separação regulamentar com a segunda aeronave em aproximação.

- Separação de segurança (SS): é obtida calculando-se a distância percorrida na aproximação final pela segunda aeronave, considerando o tempo em que a pista permanece ocupada. Para este cálculo é utilizada a velocidade média ponderada na final (VMP) e o tempo médio ponderado de ocupação de pista (TMOP).

$$SS = VMP \times TMOP$$

* Existem casos em que a SS pode ser desconsiderada. Normalmente, isso pode ocorrer em aeródromos que possuem duas ou mais pistas

- Separação total entre dois pousos consecutivos (ST): somando-se a separação de segurança (SS) com a separação regulamentar mínima (SMR) adotada, obtêm-se a separação necessária entre dois pousos consecutivos.

$$ST = SS + SMR$$

3.2.8 Determinação da capacidade teórica de pista

Para se determinar a capacidade do sistema de pistas, basta somar o número de pousos encontrados com o número de decolagens, conforme equação abaixo:

$$CTP = P + D$$

- Determinação do número de pousos (P): valor considerado para o intervalo de uma hora. Ao dividir o período considerado (em segundos) pelo tempo médio ponderado entre dois pousos consecutivos (TMST) encontra-se o número de pousos possíveis com a separação proposta no intervalo proposto, conforme equação abaixo:

$$P = \frac{3600}{TMST}$$

- Determinação do número de decolagens (D): aplicando-se a separação total encontrada é possível intercalar uma decolagem entre dois pousos consecutivos. Ao subtrair uma aeronave do total de pousos, encontra-se o número possível de decolagens, no intervalo de tempo considerado, conforme equação abaixo:

$$D = P - 1$$

4. Análise e Resultados

Tanto o método da FAA, quanto do CGNA utilizam e consideram parâmetros semelhantes que impactam no cálculo de capacidade de pista. Contudo, alguns parâmetros observados pelo CGNA não são contemplados no modelo da FAA e vice-versa. Um estudo do transporte aéreo brasileiro apresentou valores de capacidade de pista para os 20 principais aeroportos do país (McKinsey & Company, 2010), porém, tais números foram maiores que os valores de capacidade de pista declarados pelo CGNA. A capacidade de pista declarada pelo CGNA para os aeroportos brasileiros corresponde a 80% da capacidade teórica calculada (Alves & Fraga, 2012). Ademais, a maior parte dos aeroportos brasileiros não possui um mix de aeronaves homogêneo na operação, o que influencia nos cálculos de índice mix e no tempo de ocupação de pista. Os aeroportos de Campinas e Guarulhos podem ser citados como exemplo, pois neles operam desde AT72 a B747. As diferenças existentes entre os métodos, principalmente quanto aos critérios considerados, podem explicar as divergências de valores. Na Tabela 5 estão indicados os valores de capacidade de pista declarados pelo CGNA para os anos de 2009, 2011 e 2015 e os valores calculados pelo método FAA, segundo McKinsey & Company (2010), para os aeroportos de SBKP, SBGR e SBSP.

Aeroportos	2009	2011	2015	FAA (2010)
SBKP	31	26	31	46
SBSP	34	34	41	50
SBGR	49	45	47	58

Tabela 5. Valores de capacidade de pista. (Alves & Fraga, 2012) e (CGNA)

É possível observar, a partir da Tabela 5, que o método do CGNA indica capacidades diferentes em anos distintos para o mesmo aeroporto. O aeroporto de SBKP, por exemplo, apresentou uma capacidade de 31 movimentos/h em 2009 e 2015, porém, em 2011 esse número foi de 26 movimentos/h. O aeroporto de SBSP apresentou uma capacidade de 34 movimentos/h em 2009 e 2011, contudo, em 2015 a capacidade foi de 41 movimentos/h. Já o aeroporto de SBGR apresentou capacidades de 49, 45 e 47 movimentos/h para os anos de 2009, 2011 e 2015, respectivamente.

Alguns fatores podem explicar a diferença entre esses resultados. Por exemplo, o método do CGNA é empírico, logo a coleta de dados para o cálculo da capacidade é realizada periodicamente. Nesse sentido, o pesquisador que obteve os dados em 2009 pode ter encontrado uma amostra diferente daquela utilizada para o mesmo cálculo nos anos de 2011 e 2015; tais diferenças podem estar ligadas à cabeceira de pista, pista molhada ou seca, número de arremetidas no período coletado, entre outros. Apesar de ser uma limitação do método, tal fato indica que a capacidade de pista pode ter certa flexibilidade.

Outra hipótese que pode explicar tais diferenças é a questão dos aeroportos brasileiros apresentarem um mix heterogêneo na operação (aviões a pistão, turbo-hélices, jatos, helicópteros) e isso influencia diretamente no tempo médio de ocupação de pista e no índice mix.

Já as diferentes capacidades encontradas pelos métodos (CGNA e FAA) podem ser explicadas principalmente pelo fato deles utilizarem alguns critérios distintos para o cálculo, como dito anteriormente. O método da FAA, por exemplo, determina o índice mix considerando classificação da aeronave quanto ao peso máximo de decolagem (Tabela 1), o CGNA, por outro lado, considera a categoria da aeronave quanto à velocidade de cruzamento de cabeceira (Tabela 4) e esta velocidade está ligada ao peso durante o pouso.

Além disso, o modelo da FAA foi desenvolvido para a realidade dos E.U.A, assim como o método do CGNA foi para a realidade brasileira; as regras de tráfego aéreo aplicadas nestes países são diferentes e, por consequência, as separações entre aeronaves no pouso e/ou decolagem são distintas.

Outro fator relevante é que o método do CGNA simplifica o modelo, considerando um percentual de chegadas de 50% para qualquer aeroporto. Ou seja, o número de pousos será igual ao número de decolagens. Já o método da FAA considera percentuais de 40%, 50% e 60% para chegadas (Figura 2) que influencia sensivelmente na capacidade horária.

Como conclusão, pode-se destacar que, apesar dos modelos serem distintos e utilizarem critérios diferentes, a análise comparativa poderia auxiliar na identificação de limitações e melhorias para o caso brasileiro. Por exemplo, um estudo acerca da viabilidade de transformar os aeroportos brasileiros com capacidade saturada em aeroportos vocacionados (mix homogêneo), ou estudar meios de incentivar as companhias aéreas para que mantenham sua frota homogênea.

5. Referências

- Alves, C.J. (2014). <http://www.civil.ita.br/~claudioj/cappis.pdf> Acesso em 7 de Julho de 2015, disponível em Divisão de Engenharia Civil – ITA.
- Alves, C.J., Fraga, R. (2012). Capacidade do lado aéreo dos aeroportos brasileiros. *Journal of Transport Literature*, 178-189.
- CGNA. (s.d.). *Aeroportos*. Acesso em 8 de Julho de 2015, disponível em Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea: http://www.cgna.gov.br/?page_id=8
- DECEA. (2014). Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Acesso em 7 de Julho de 2015, disponível em Departamento de Controle do Espaço Aéreo: http://issuu.com/aeroespaco/docs/anuario_2014_def_internet_/1?e=1430959/13583871
- DECEA. (2015). *Capacidade do Sistema de Pistas*. MCA 100-14. Brasil: COMAER.

De Los Ríos, G.A.B., Alves, C.J.P. A Simulation model for runway analysis applied to the Sao Paulo airport. *Organização do VIII SITRAER Comitê Científico*, 25.

de Oliveira, G.L.F., Alves, C.J.P. Estudo da capacidade aeroportuária da grande Sao Paulo.

Evans, A., Schäfer, A.W. (2014). Simulating airline operational responses to airport capacity constraints. *Transport Policy*, 34, 5-13.

FAA. (1983). *Airport Capacity and Delay. Advisory Circular 150/5060-5*. Estados Unidos da América: FAA.

McKinsey & Company (2010). *Estudo do setor de transporte aéreo do Brasil: Relatório consolidado*. Rio de Janeiro.

OACI. (2006). *Aircraft Operations - DOC 8168*. Flight Procedures. OACI.

Zou, X., Cheng, P., Cheng, N. (2014, October). A simulation model for airport runway capacity estimation. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2014 IEEE 17th International Conference on* (pp. 2669-2674). IEEE.

La distribución como factor de concentración

Daniel Montero Ferreiro

Investigador independiente, Argentina.

dmonteroferreiro@gmail.com

Abstract

Objeto: Demostrar que la actual construcción del futuro de la distribución, puede ser un factor clave en la concentración del mercado de transporte aéreo; y que la eficacia que se pretende, no necesariamente hará más eficiente ni transparente la experiencia de compra de los pasajeros.

Diseño/metodología/enfoque: Son ponderadas la Resolución 787 de la IATA, la tarea de los GDS, la del resto de quienes intervienen en la cadena de valor; y el contraste con la competencia perfecta que se pretende desde las políticas de cielos abiertos.

El argumento de que el XML democratiza la información de compra disponible para el pasajero, es abordado desde los antecedentes que se evidencian objetivamente en los procesos de compra de otros servicios turísticos.

Con una metodología de trabajo clara y definida, se analiza la expansión mundial del NDC prevista para el año 2016 y su relación frente a las OTA'S y Metabuscadore, y frente a las agencias de viaje tradicionales.

Se profundiza en que muchas líneas aéreas creen que el NDC permitirá incrementar la facturación por ancillaries, ampliando los mismos a la venta de servicios que los pasajeros necesitan en los destinos que viajan. Algunas confían, incluso, que podrán desplazar a los tour operadores en el armado de la cadena de valor de los viajes.

Aportaciones y Originalidad: El presente trabajo se centra en el estudio del avance de las tic's en la distribución de las aerolíneas y cómo esto puede contribuir a la concentración de empresas de transporte aéreo y a la multinacionalidad de la actividad, sobre todo en lo que hace al transporte aéreo internacional de pasajeros.

Implicaciones prácticas: Es menester reconocer el desafío profesional de los agentes de viaje, para demostrar que aseguran la comparación de precio y servicio de las aerolíneas, en una crisis que se constituye en una verdadera oportunidad.

Valor añadido: El impacto de la distribución del transporte aéreo es comprobable mediante este trabajo, elevando conclusiones sobre el diagnóstico, las tendencias analizadas y el futuro del negocio, para evitar que esta problemática sea un limitante en su desarrollo.

Palabras clave: distribución, concentración, NDC, GDS, IATA, xml, TIC's, ancillaries, agencias de viaje, OTA's

1. Introducción

Cuando el libro blanco de los ingleses durante los debates de la Convención de Chicago de 1944 impuso un freno sobre las aspiraciones estadounidenses de liberar el transporte aéreo internacional, solo evitó la concentración de la oferta del transporte aéreo internacional. Pero, las empresas que en más de siete décadas lo intentaron y las que lo siguen haciendo, debieron afrontar concentraciones oligopólicas que afectaron su negocio: fabricantes de aeronaves, de motores, centros de mantenimiento, de servicios de abordaje, de rampa, de combustibles, comunicaciones, etc.

Claro, como muchos Estados se ufanan acerca de la necesidad de constituir empresas nacionales, esos costos fueron afrontados por ellos; en detrimento de la infraestructura necesaria para las operaciones aéreas. Esto se observa sobre todo en Latinoamérica.

En materia de distribución del transporte aéreo de pasajeros, hace apenas 20 años los clientes sólo tenían dos opciones para comprar un pasaje de avión:

- Llamar o concurrir a una agencia de viajes conectada a un sistema de reservación informatizado.
- Llamar o concurrir a la oficina de ventas de una línea aérea conectada a un sistema de reservación informatizado.

Como sea, el estándar de la época ya era el sistema de reservación informatizado, llamado CRS (Computer Reservation System) primero, GDS (Global Distribution System) después. En ese avance de las tecnologías de información y comunicación (TIC's) se distinguen cinco características de los GDS:

- La concentración.
- La expansión fomentada por la difusión geográfica y por la creciente oposición a tarifas tipo: se desarrolla el yield management.
- La extensión a otros sectores de esparcimiento y viajes.
- Las ofertas públicas de valores iniciales y desaparición del vínculo con las empresas de transporte matrices.
- La erosión de la función predominante de emitir los billetes de transporte aéreo, con la diversificación en otras actividades realizadas por vía electrónica en relación con los viajes

Y, como en tantos otros costos para las líneas aéreas, nuevamente la concentración les afectó. Sin embargo, las tres empresas que actualmente se distribuyen la torta (Amadeus, Sabre y Worldspan) fueron creadas por compañías aéreas, las que corrieron con enorme ventaja competitiva,

obteniendo ingresos adicionales, como también los hacían por otros servicios como el mantenimiento o las comidas de abordó.

Hubo dos hechos que transformaron el escenario. El Deregulation Act en los Estados Unidos, que catapultó definitivamente a Southwest Airlines como la línea aérea que abrió el camino a las demás para obtener beneficios, e inventó el modelo *low cost*.

El otro sucedió varios años después, justo hace 20 años, con el tercer paquete de medidas de la Unión Europea para el transporte aéreo comunitario, que permitió que empresas como Ryan Air, Easy Jet y otras; se erijan en las Southwest europeas.

Hacia el año 2000, Southwest ya vendía más del 30% de sus pasajes por Internet, al tiempo que la mitad de las aerolíneas aún no lo hacían. Las LCC (*Low Cost Carrier*) fueron las pioneras en utilizar los servicios de reserva por Internet.

Por esos años, los GDS dejaron ser propiedad de las líneas aéreas, quienes aprovecharon la burbuja de las punto com para obtener ingresos formidables que les permitió paliar la realidad *low cost* que debían enfrentar. (Doganis, 2005)

Claro, ya no existió más el interés en que los GDS cobren mucho por sus servicios.

Y allí está el paradigma, en franco cambio, con las aerolíneas congregadas en IATA, dispuestas a recuperar el control de la distribución, por ahora como factor para abaratar costos. El NDC (New Distribution Capability) es una realidad que transformará la forma de comercializar el servicio de transporte aéreo y que no sería posible si las TIC's no hubieran evolucionado tan rápidamente en los últimos años.

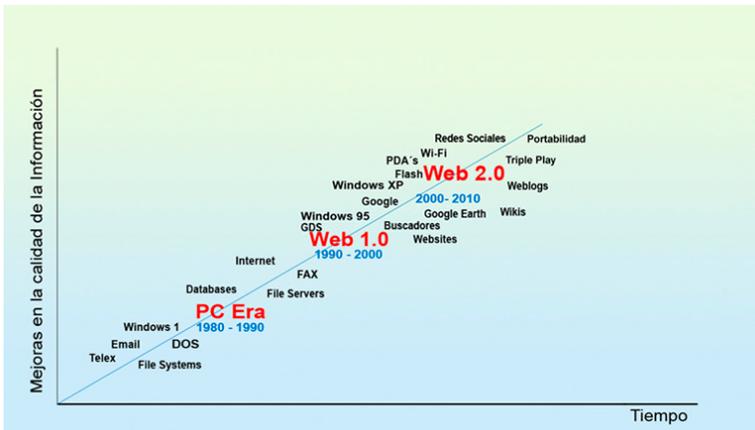


Figura 1. Historiando la evolución de las TIC's

2. Las Agencias de Viaje

Hace 20 años, la relación de los agentes de viaje con las aerolíneas tomó un giro inesperado para las primeras: el recorte gradual de las comisiones que perciben por la venta de los billetes de pasaje. Por consiguiente, esa búsqueda de ahorro en los costos de distribución de las aerolíneas, tuvo su propia dicotomía: hasta la venta de los GDS por parte de sus aerolíneas dueño, el costo que pagaban las aerolíneas por cada reserva no paraba de crecer. Paradójicamente, eran años de resultados negativos en la industria, mientras los GDS obtenían ganancias siderales (Doganis, 2005).

Al tiempo que las agencias obtenían menores ingresos por la venta de los pasajes aéreos, comenzaron a recibirlos por elegir a algún GDS sobre otro, en función de los incentivos económicos que recibían a cambio. Hoy en día, esto aún continúa.

En la puja con las LCC, las aerolíneas de red enfocaron la reducción de sus costos en tres áreas: laborales, eficiencia en la red / flota, y en la venta y distribución.

Hasta hace diez años atrás, la distribución implicaba un 15% de los costos operativos para una compañía aérea de red (Doganis, 2005). A esa altura, el electronic ticket o e-ticket ya estaba implementado en un 100% y comienza una creciente desintermediación en la distribución de las aerolíneas, sobrepasando a los agentes de viaje en la comercialización directa de los pasajes aéreos, pero también de otros servicios turísticos.

Es que en los viejos tiempos, fue el boleto de papel lo que se distribuía físicamente. Pero ahora... ¿Qué hace falta distribuir? (Taneja, 2014).

Para el año 2005, los esfuerzos individuales de las aerolíneas de red en I + D para la distribución, no pudieron hacer frente a las OTA'S (On Line Travel Agencies) que ya habían nacido. Travelocity, Expedia, Despegar, son ejemplos de empresas que han tomado posiciones casi dominantes en varios de los mercados que operan, en desmedro de los agentes de viaje tradicionales.

Actualmente se discute y rivaliza entre ambos modelos de negocio. En el último Congreso Argentino de Agentes de Viaje celebrado en Mendoza en Junio 2015, se debatió en los paneles acerca de agentes de viaje regidos por los sistemas de información para vender a cómo de lugar, contra aquellos agentes de viaje que deben valerse de los sistemas de información para ser más profesionales y asesorar mejor a clientes que ya disponen de fluida información.

Maroto (2014) dice que "el enorme crecimiento de las tecnologías móviles, el comercio electrónico, las redes sociales y el contenido generado por el usuario ha transformado para siempre el panorama de los viajes. El viajero ha pasado de ser un mero consumidor de información a convertirse ahora en un importante actor del sector".

Pero, como la industria aérea ha sido la pionera en materia de cooperación empresaria a través de la IATA (Montero Ferreiro, 2015), han encarado conjuntamente y con el consiguiente ahorro de costos un plan para desbancar a los GDS en la distribución.

3. New Distribution Capability

El NDC está diseñado bajo un modelo que reconoce que las aerolíneas y sus clientes necesitan una interacción dinámica en tiempo real entre todas las partes: aerolíneas, distribuidores y agentes de viaje que puedan ofrecer respuestas inteligentes sobre los productos, en base a quién consulta.

El programa fue puesto en marcha en el año 2012 cuando la IATA elaboró la Resolución 787. Allí describe los procesos y requisitos principales para la creación de un motor de compra estándar.

Según las aerolíneas, una de las ventajas del NDC es que ante el caso que los pasajeros estén dispuestos a compartir información personal con ellas para obtener ofertas personalizadas, los actuales sistemas utilizados por los agentes de viaje no proporcionan fácilmente la capacidad de obtener y transferir información por parte del comprador al vendedor. La aerolínea se beneficiará claramente por ser capaz de diferenciar sus productos y servicios de sus competidores (Taneja, 2014).

Ahora que las aerolíneas no son las dueñas de los GDS, es evidente que el NDC se trata de un plan para ahorrar costos de distribución por parte de las aerolíneas.

El costo promedio que pagan las aerolíneas a los GDS por cada boleto emitido asciende a los 12 dólares (Belobaba, 2012).

El lenguaje de comunicación para los sistemas que utiliza la IATA, el XML, ya es el estándar utilizado con éxito por diversos motores de búsqueda de información, desde hace más de un lustro y en todo el globo.

El XML permite la compatibilidad entre sistemas para compartir la información de una manera segura, fácil y fiable.

Actualmente, los viajeros visitan en promedio 22 sitios web antes de reservar un pasaje de avión. Ya no es suficiente tener sólo información sobre el horario y la tarifa. Los consumidores también quieren información sobre las características del producto tales como la configuración de asientos, las comidas abordo, entretenimiento disponible, wi-fi, acceso a salas vip en los aeropuertos. Los sitios web de las aerolíneas proporcionan información sobre los atributos del producto. Sin embargo, los pasajeros que compran a través de agencias de viaje tradicionales, que representan un 60% del total a nivel mundial, no son capaces de ver toda esta información a través de los GDS. Los sistemas de distribución

4. Distribución como factor de Concentración

La distribución es el acto de hacer que los productos estén disponibles para los clientes, mientras que la concentración es la reducción de empresas participantes en un mercado.

En la economía en general, la evolución de los sistemas de distribución, es decir, la forma en que los consumidores acceden a los productos que desean adquirir, viene sufriendo una profunda modificación, impulsada por Internet como medio de comunicación.

Si pensamos en un ciclo de vida del comercio, que décadas anteriores duraba treinta o cuarenta años, hoy éste es sustancialmente más corto, porque los nuevos sistemas de distribución son rápidamente suplantados por sistemas comerciales más eficientes y tecnológicamente más avanzados. (Dvoskin, 2011)

Se requiere contemplar la problemática de la distribución desde tres perspectivas:

- La perspectiva de la empresa, vista desde la tendencia cada vez más creciente a la concentración de la distribución.
- La perspectiva del consumidor, evaluando los aspectos positivos y negativos de esta concentración.
- La perspectiva del marco en el cual se lleva a cabo este intercambio.

Ese marco está dado por el rol que ejerce el Estado, para que ni las empresas aéreas ni los pasajeros queden sujetos a los intereses de los distribuidores.

Pero esto venía marchando bien hasta hace una década. Todos los mercados tenían absolutamente atomizada la venta de pasajes aéreos, con múltiples distribuidores, generalmente agencias de viaje tradicionales. Las OTA'S, beneficiadas por la rápida penetración de Internet en los hogares como medio de comunicación, se han apoderado de los mercados de una manera jamás antes vista.

Otros actores que conforman el armado del producto turístico, están padeciendo esa concentración en los mercados.

En marzo de 2015, en Alemania, se llevó a cabo el encuentro llamado Think Tank organizado por la Organización Mundial de Turismo (OMT) y la International Hotel & Restaurant Association (IH&RA). Allí se analizó la relación entre la hotelería y las OTA's y coincidieron en señalar que los poderes públicos de los distintos países tienen la responsabilidad de proteger a los ciudadanos y, por extensión, procurar a través de organismos independientes que se cumplan las reglas de competencia en las actividades económicas.

Es que en el momento en que la actividad hotelera estaba en aumento y había buenas condiciones de mercado, el sector hotelero cedió el manejo de la oferta a las OTA's (Busquets, 2015).

Roza la excepción Europa, donde allí funciona un sistema de buenas prácticas, respecto a que en el resto del mundo la hotelería se siente extorsionada por las OTA's y pagan costos de distribución mayores que hace diez años atrás.

Existe la posibilidad de que la IATA esté tomando nota de esto que ocurre en la hotelería, un servicio tan perecedero como el transporte y condiciones de demanda igualmente elástica.

Pero debiera tener en cuenta que hay empresas ajenas a la industria que, ante el avance de las tecnologías de información, pueden llegar a comprender más el mercado que las propias aerolíneas o agentes de viaje. Son empresas que manipulan grandes conjuntos de datos: el Big Data.

Los deseos, expectativas y necesidades del público objetivo están conformando los perfiles de los consumidores, lo que implica establecer quién te compra, en qué temporadas y por qué. Los perfiles se dividen en dos dimensiones: la demográfica (dónde viven, qué edad tienen, si son hombres o mujeres, solteros o casados, etc.) y la psicográfica (que busca comprender qué motiva a la persona a pagar por el servicio de transporte).

Por el avance de las TIC's, la mejor definición de estos perfiles puede ser un factor más de concentración del mercado. Según Kotler (2009) estos perfiles bien definidos permiten hacer campañas mejor dirigidas, esfuerzos de generación de demanda con mayor enfoque y una mayor probabilidad de cerrar la venta.

5. ¿El futuro de la distribución ayuda a un escenario de competencia perfecta?

En el actual escenario donde las empresas y los gobiernos de Estados Unidos, Francia y Alemania confrontan con las aerolíneas del Golfo (Emirates Airlines, Qatar Airways y Etihad), está comprobándose qué sucede cuando las políticas de cielos abiertos no favorecen a los primeros, ya que las del Golfo se han valido de esos acuerdos para ir sacando poco a poco la cuota de mercado a las compañías europeas y estadounidenses que hasta ahora controlaban el mercado intercontinental.

Las acusaciones cruzadas de uno y otro lado acerca de que reciben subsidios directos e indirectos están demostrando que el principio de competencia perfecta corre peligro, cuando los intereses de quienes la pregonan se ven amenazados.

Tanto el desarrollo de las TIC's como las mejoras de transporte expanden los mercados y brindan oportunidades de desarrollo económico, pero no de modo

uniforme. Las inequidades de la economía global se reflejan en la organización espacial y de los sistemas de transporte, manteniendo una concentración de los flujos e intensificando fuertes y desequilibradas interdependencias (Rodrigue et al., 2006).

En este contexto, la nueva distribución de la oferta de los asientos disponibles jugará un rol clave en la continua consolidación del negocio a través de las alianzas de aerolíneas existentes.

Las aerolíneas podrían estar perdiendo el eje, queriendo pasar a ser además de empresas de transporte, retailers, explotando las posibilidades que brinda el big data.

La reciente decisión del grupo Lufthansa de impulsar la venta directa a través de su web, cobrando un recargo de 16 euros a cada billete emitido a través de agencias conectadas a un GDS, es una muestra por la que creen que es el momento de modernizarse, que llevan tres décadas con el mismo sistema de venta y que hay mucha gente haciendo mucho dinero a costa de las aerolíneas (Spohr, 2015).

6. Conclusiones

La expansión mundial del NDC prevista en los próximos dos años, le otorgará en el corto plazo un mayor impulso a las OTA'S y Metabuscadore por sobre todo otro canal de distribución de los viajes aéreos.

Muchas aerolíneas creen que el NDC permitirá incrementar la facturación por ancillaries (servicios auxiliares), diversificándolos y ampliando los mismos a la venta de servicios que los pasajeros necesitan en los destinos que viajan. Algunas confían incluso, que podrán desplazar a los tour operadores en el armado de la cadena de valor de los viajes.

Para la próxima década, el NDC será el facilitador de la aparición de nuevos jugadores en la distribución de los viajes aéreos que, sin compartir la información con el estándar del XML, no hubiera sido posible.

Quien más información disponga del cliente o del cliente potencial, contará con las mejores herramientas para generar la venta. Así, a mediano plazo el NDC será terreno para Google, Apple, Facebook, Ebay, Mercado Libre o Amazon, por encima de cualquier OTA, Metabuscadore, GDS o las propias aerolíneas.

Y eso también supondrá costos para las aerolíneas. El empoderamiento que esas empresas tendrán, puede hacer que los costos sean inclusive mayores que los que hoy pagan las aerolíneas por la distribución, considerando lo que ha ocurrido con la hotelería.

En esta línea de pensamiento, se puede sostener que el NDC será un factor más para la consolidación de empresas de transporte aéreo y para la

multinacionalidad de la actividad. Habrá mayor concentración, una distribución más eficaz, pero no necesariamente más eficiente ni transparente de cara a los pasajeros.

Las agencias de viaje tradicionales deben centrar sus esfuerzos en asegurar la comparación de precio y servicio, por su rol profesional fundamentalmente.

También deben buscar ante IATA a que limiten quienes serán los intermediarios de la interfaz.

Respecto a esto, las autoridades de los gobiernos que regulan la competencia tendrán la última palabra.

La reciente medida de Lufthansa no es buen augurio, pareciera que el big data desvía la atención principal al servicio de transporte.

Es hora de que los gobiernos consideren al comercio electrónico como una amenaza contra la competencia para ciertos productos y servicios; dictando un marco regulatorio adecuado.

Si esto ocurre, los agentes de viaje tendrán una nueva oportunidad en su rol profesional y la tendencia es que los GDS están apostando a por ello.

7. Referencias

- Belobaba, P. (2012). *The Global Airline Industry*. Wiley Publisher, Londres.
- Busquets, J. (2014). *Hoteleros ven en las comisiones de las OTA uno de sus mayores problemas*. Hosteltur LATAM. Recuperado 30 de agosto de 2015 de http://www.hosteltur.com.uy/139350_hoteleros-ven-comisiones-ota-uno-sus-mayores-problemas.html
- Doganis, R. (2005). *The Airline Business*. Routledge. Taylor & Francis Group, Londres.
- Dvoskin, R. (2011). *La problemática de la concentración de la distribución en los mercados emergentes*. Universidad de San Andrés, Buenos Aires.
- IATA (2014). *New Distribution Capability (NDC): Facilitating air retailing*. Strategy paper V1.0, International Air Transport Association, Ginebra.
- Kotler, P. (2009). *Dirección de Marketing*. Pearson Educación, México D.F.
- Maroto, L. (2014). *Presentación de nuestro concepto de ecosistema de viajes global, abierto e inteligente*. Amadeus, pp 4-5
- Montero Ferreiro, D. (2015). LATAM y el Cooperativismo del Transporte Aéreo. Aerolatin News. Recuperado el 30 de agosto de 2015 desde <http://aerolatinnews.com/2015/01/06/latam-y-el-cooperativismo-del-transporte-aereo/>

Rodrigue, J.-P., Comtois, C., Slack, B. (2006). *The Geography of Transport Systems*. Routledge. Taylor & Francis Group, Londres.

Spoehr, C. (2015). Lufthansa mantiene el órdago a Amadeus. Expansión. Recuperado el 30 de agosto de 2015 desde <http://www.expansion.com/empresas/transporte/2015/06/09/5576d91746163f20198b4597.html>

Taneja, N. (2014). *Designing Future-Oriented Airline Business*. Ashgate, Surrey.

Model-based evaluation of B-787 disruption in the performance of a low-cost airport

Miguel Mujica Mota, Paolo Scala, Nico de Bock

Aviation Academy, Amsterdam University of Applied Sciences, The Netherlands.

m.mujica.mota@hva.nl, p.m.scala@hva.nl, nico.de.bokck@hva.nl

Abstract

One of the most challenge activity in the Aviation field is the scheduling of aircraft at airports, since airports are considered by some researchers one of the main bottlenecks in the global air transportation. Nowadays, due to increase of passenger demand and the scarcity of resources, evaluating the capacity of an airport and identifying the elements that hinder the efficient management of traffic becomes crucial in order to manage the air traffic that can be accommodated.

In this paper an analysis performed for the simulation model of the Terminal Manoeuvring Area together with the Airside of the airport of Lelystad is presented. Lelystad airport is a general aviation airport in the Netherlands that will be upgraded in order to handle commercial traffic. The commercial traffic handled by the airport will in turn release capacity from Schiphol Airport.

This work analyses the future performance using a model-based approach of the system. It takes into account different restrictions of the system. The model is used to evaluate airport future performance in terms of capacity and the level of congestion that could be reached in the airspace and in the airside. Focus is put in the impact of B-787 in a low-cost airport.

Keywords: simulation, model-based analysis, airport performance.

1. Introduction

The air mode carries out most part of the global transport, in 2014, the number of flights in Europe has increased by 1.7% compared to 2013 (Eurocontrol 2015) and the number of passengers grew by 5,4% compared to 2013 reaching 3,3 billion of passengers (IATA 2014).

According to these trends, an increment in volume of flights and number of passengers for the next coming years is expected. This situation is translated into a massive use of resources of both air and ground; therefore, in the future it is likely to encounter congestion in many airports worldwide.

In order to avoid as much as possible congestion problems the improvement of capacity has become a hard challenge to deal with, therefore many factors must be taken into account during the planning phase of new or improved facilities. In particular Airports have been reported as the main bottleneck of air transportation (ACI, 2005), when the system is at the edge of congestion. During this situation, the airspace could be seen as a buffer in which aircraft are waiting for landing and other facilities when properly handled could help the efficient management of the demand during peak times.

This work deals with the case of a regional airport that will be developed in the Netherlands as a result of intensive studies performed by the government (Alders 2014). In addition, the current paper presents a stochastic model of the future airport in order to get a better understanding of the potential issues that will be faced by the airport during the different phases of the development. In particular the final phase is expected to handle an important amount of traffic and we were also interested to understand what the impact would be with the introduction of the Boeing 787 in the future operations of the airport.

1.1 The Netherlands airport system

Amsterdam Schiphol (AMS) is the main airport in the Netherlands and it was the fifth busiest airport in Europe in 2014 in terms of passenger traffic (ACI, 2014). Furthermore AMS is also the main hub for KLM, which provided 54% of the seats available at the airport in 2013, and a major airport for the SkyTeam alliance, whose members – including KLM – are responsible for 66.3% of the airport traffic in terms of ATM (Schiphol Mag,2014). Its role as a hub, called “Mainport” by airport management and government, is central to the airport strategy, especially considering the small size of the domestic market in the Netherlands and the airport’s role as economic engine for the region. However due to environmental reasons, the capacity at AMS is limited to 510,000 air traffic movements per year. In 2014 there were 438,296 movements at the airport, 86% of the imposed cap. Since the operation is approaching to its limit, Schiphol Group, the airport owner and operator, would like to support the “Mainport” strategy by redistributing non hub-related traffic to other airports in

the Netherlands in order to relieve capacity at Schiphol. The preferred alternative is to upgrade Lelystad Airport (LEY) to attract flights to European cities and regions, putting focus on tourist destinations.

In recent years LCCs in Europe have focused on short-haul point-to-point leisure traffic, although more recently they have been targeting business travellers more actively, and some of them even offer interline connectivity using simple hub structures. This means that the development process at Lelystad should consider not only the type of passengers and airlines that are desired but also the performance parameters the airport should have in order to become attractive. For this reason is important to have tools that provide insight of what the future performance indicators will be so that Schiphol group is aware of what are the right possibilities for the success of the project.

Lelystad is the largest airport for general aviation traffic in the Netherlands. It is located 56 km from central Amsterdam, about 45 minutes by car to the east. The airport is fully owned by the Schiphol Group, which also owns Rotterdam airport (RTM) and a 51% stake in the Eindhoven airport (EIN), both will be part together with Lelystad and Schiphol of what has been called the Amsterdam Multi-Airport System (see Figure 1).

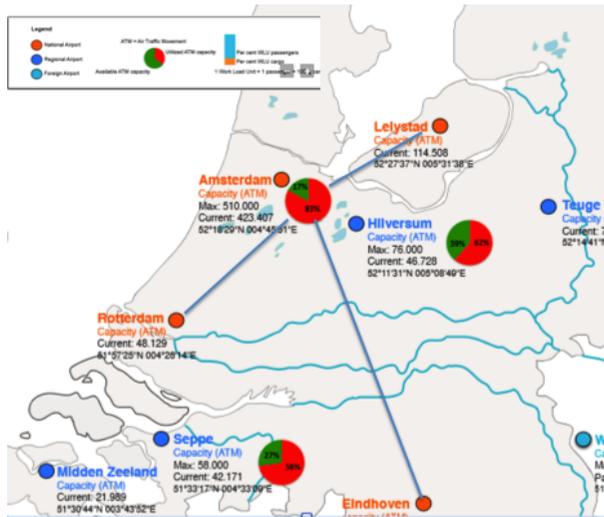


Figure 1. The multi-airport system of The Netherlands

The ambition to divert short-haul non-hub traffic, “with focus on tourism destinations”, to Lelystad implies a stronger focus on the airlines that are able to deliver such type of traffic. The LCCs have been identified as the type of traffic that most likely would use the airport facilities, however in order to make the airport attractive for these types of airlines it is necessary to have the following differentiation factors: availability of slots; low aeronautical charges; incentive programs; and quick aircraft turnaround (Jimenez 2014). At Lelystad the availability of slots can be hampered by the remaining general aviation traffic after the upgrading has been finalized and the possible conflicts with air traffic in approach and departure trajectories at Schiphol. For this reason, short turnaround times (TAT) will be important to achieve in order to attract the right traffic otherwise there is high risk of ending with another unsuccessful project of an European airport network (ECA, 2014) . The aim of the current work is to have a better insight about the future TAT among other parameters and to identify the potential problems that the airport will have once the upgrading has been performed.

2. Methodology

Nowadays, simulation techniques are used in industry to deal with the decision making activity by searching optimal or feasible solutions to real problems. The use of simulation techniques for analysis facilitates the design and assessment of strategies reducing the risk of poor outcomes. In addition simulation models have proved to be useful for examining the performance of different system configurations and/or alternative operating procedures for complex logistic or manufacturing systems, among many applications (Longo 2013). However its use in the aviation industry is not common practice but it is an approach that some players and researchers are actively exploring (Mujica, 2015, Mujica et al. 2014, Zuniga et al. 2011).

The advantages and potential of simulation techniques are increasingly recognized in a wide range of activities. Basically, simulation provides an environment to study the dynamic behaviour of a system when stochasticity plays an important role in the outcome of the system under study. Simulation approaches range from continuous, discrete to hybrid models to represent the actual system (Banks et al. 2010).

There are different modelling approaches such as system dynamics, agent technology or discrete-event systems (DES). The former is used in systems in which the state variables change continuously in time such as the level in a tank, agent technology is a relatively novel approach in which the power of computers are used to calculate independent behaviour of the entities within a system (Becu et al. 2003), while DES are suitable for analysing systems in which the state variables change at particular instants of time. As it has been mentioned, the states in DES do not change continuously but, rather due to the

occurrence of events. This makes the resulting models be asynchronous, inherently concurrent, and nonlinear, rendering their modelling and simulation different from that used in traditional approaches such as analytical models.

2.1 Model Characteristics

For the study of the case of LEY, a DES simulation model was adopted since it allows developing through a bottom-up approach a dynamic model. The developed model has the characteristic that is dynamic, stochastic, and asynchronous. These features allow identifying the potential problems of the future airside of the airport as well as the so-called emergent dynamics.

In order to understand the potential problems for the airport in the future, it is necessary to use the model for evaluate what the response for the different inputs (internal and external) is. Among different parameters, one particular configuration was evaluated which is known as the taxi-in taxi-out configuration. This configuration has the advantage that it makes the TAT short since the aircraft uses their own engines to perform the taxi-in and out to the apron. In addition the non-use of push-back trucks implies that the aeronautical charges would also be less than in an airport that uses the pushback trucks to help the operation. The next figure illustrates the approach for evaluating the model response.

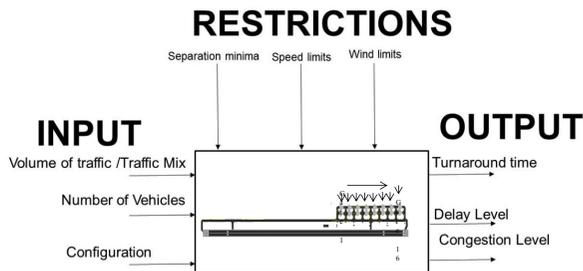


Figure 2. Taxi In-Out model

In this case we evaluated different performance parameters for one of the configurations under the reported traffic figures: 45 k annual movements (Schiphol 2014).

Different combinations of the number of ground *handling* vehicles were used for evaluating the capacity limitations of the future facilities. In the case of the ground *handling* operations, the vehicles that were included for performing the TAT were:

- 1 fueling truck
- 1 bus boarding
- 1 bus for deboarding
- 2 stairs (for dual boarding)
- 1 water truck
- 1 cleaning truck
- 1 baggage cart for baggage in and out

All the scenarios were based on the original design reported in Ondernemingsplan Lelystad (Schiphol, 2014).

The simulation module was developed under a bottom-up approach in which different elements were developed independently and then at some point put together and synchronized so that the final model worked as one model. The following is the example of the module developed for the operations at the stand in particular all related to the turnaround process.

Stand Module

The stand module simulates the ground operations performed at any stand in the airport. For the particular case of this airport only some operations from the ones that are common to perform in a full service carrier will be performed, namely fuelling, passenger boarding/deboarding, baggage loading/unloading, water service, cleaning. Figure 3 illustrates the physical aspect of the module used for the stand.

The different nodes in the figure are the nodes of the route that the aircraft must follow. All the logic for the turnaround is implemented in the module and it has been done general enough to adapt it for a different configuration and/or type of aircraft. The values used for the operation of this module are presented in Table 1.

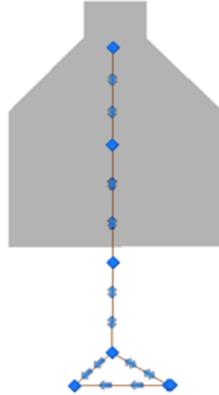


Figure 3. Module of the operations at the stands

Process	Distribution	Time
positioning stairs	Random triangular	90, 120 150 (sec)
De-boarding	Random triangular	3, 4, 5 (min)
Luggage out	Random triangular	5, 7, 11 (min)
positioning*	Random triangular	40, 60, 80. 9 (sec)
Luggage in	Random triangular	5, 7, 9 (min)
positioning*	Random triangular	40, 60, 80. 9 (sec)
Fuelling	Random triangular	7, 8, 9 (min)
Positioning*	Random triangular	4, 5, 9 (min)
Cleaning	Random triangular	8, 13, 16 (min)
positioning*	Random triangular	1, 2, 3 (min)
Water service	Random triangular	4, 5, 6 (min)
Positioning	Random triangular	1, 2, 3 (min)
Boarding	Random triangular	4, 5, 6 (min)
Headcount	Random triangular	90, 120 ,130 (sec)

Table 1. Simulation Parameters

Network Module

Once the first module is developed it is necessary to connect all the instances of the model through a network that represents the taxiways and the runway. Figure 4 illustrates the network that is used for modelling the airside of the airport.



Figure 4. Airport model

The model is composed by 16 instantiations of the stand model. This figure represents only one of the different possible configurations analysed in the study. The model is completed with the network used by the entities which in this case will represent the aircraft. The network represents the runway and also the taxi-ways.

The logic implemented for this model assumes that the turnaround processes start as soon as the aircraft has blocked in. The vehicles that perform the ground operations are located in depots at one extreme of the apron.

3. Experimental Design

The experimental design was developed to get insight about the future performance of the airport under this configuration and also to identify what the potential problems would be once it is at its final phase.

The following table illustrates the different scenarios that were analysed for this configuration. It was also interesting for the authors to investigate not only the effect of all the elements in the system but also other particular ones which might gain importance during the operation such as the number of vehicles or the use of Boeing 787s during the operation.

Input	Description	Assumptions
Airside configuration:	A) Linear with taxi-in taxi-out apron configuration. 16 stands B) Linear with taxi-in taxi-out apron configuration. 8 stands, 2 dedicated stands for the operation of the B-787	Scenarios created, accordingly to the latest <i>Ondernemingsplan</i> (Schiphol Group 2014)
Traffic mix	a) 737 series + A320 series (narrow-body) b) 737 series + A320 series (narrow-body) and two 787-series (wide body)	Schedule developed based on Eindhoven operations.
vehicle numbers	Base number reduced to evaluate the capacity limits of the ground operations.	1. 6 vehicle sets for each operation 1. 5 vehicle sets for each operation 1. 4 vehicle sets for each operation 1. 3 vehicle sets for each operation 1. 2 vehicle sets for each operation
Traffic limit	2. Neutral scenario 45,000 flight movements annually	1. Based on the <i>Ondernemingsplan</i> (Schiphol Group 2014).
Stand Allocation	Allocation 1. Left-right	The allocation is performed from left to right based on the dominant RWY use.

Table 2. Experimental configuration

4. Results

The simulation was run and the most relevant results obtained can be summarized in the Table 3.

The simulation-based analysis was performed in order to identify the moment when the behaviour of the system turned into unstable (exponential delay) decreasing the number of vehicles that performed the operation at the airport. Figure 5 illustrates the evolution of the system when the number of available stands was reduced to 8 which apparently would be enough to support the expected peak-hour operation of 6 aircraft during 1 hour.

Vehicle Sets	Avg_total Gate Time	Avg_Total Gate time w/B787	Max_Total Gate time	Max_Total Gate time w/B787	Avg_TAT	Avg_TAT w/787	Max_TAT	Max TAT w/B787
6	33.91	36.61	58.43	57.81	31.69	34.41	56.24	55.64
5	33.84	37.09	58.12	57.78	31.64	34.87	55.88	55.56
4	34.38	37.37	58.52	58.35	32.17	35.18	56.31	56.18
3	36.46	38.6	61.55	60.67	34.24	36.39	59.34	58.49
2	44.87	46.17	68.09	66.53	42.67	43.95	65.95	64.32

Table 3. Experimental Results (mins)

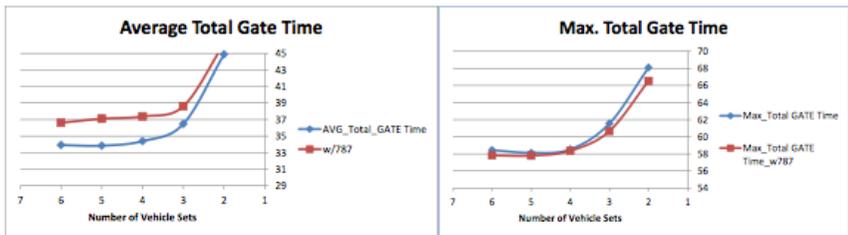


Figure 5. Total Gate Time

In the figure it can be appreciated that the system is able to manage the operation with 4 sets of vehicles giving an average of total gate time of less the 35 minutes. It can also be appreciated that when the traffic includes the operation of Boeing 787 the average total gate time will be increased in about 3 minutes. This might be relevant since it is expected that in the final phase of the airport some of the expected airline operating from Lelystad will use the B-787 and it might affect the average TAT.

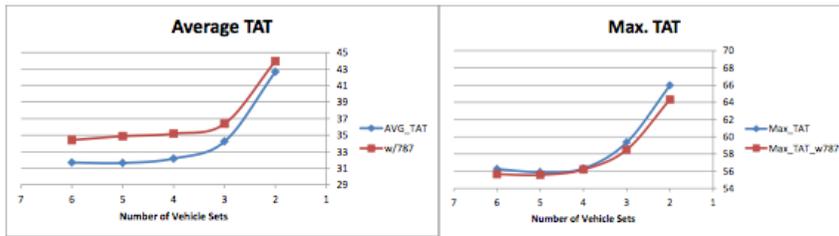


Figure 6. Turnaround Time

On the other hand if we pay attention to the numbers of the values for the extreme values (TABLE3 or Figure 5 and 6) we can appreciate that the impact of the B787 is not as significant as with the average values. This is due that the impact of the B787 is higher in only particular stands while the delays suffered by the system might depend on other causes besides the B787s.

The previous statements were verified through a t-test in which the correspondent values resulted significant for the case of the average total time and for the average TAT. However the impact of the B-787 was not significant for the case of the Maximum values.

5. Conclusions

The analysis performed with a simulation model has been conducted. Using this approach it was possible to assess the future performance of one of the configurations of Lelystad airport. An analysis was conducted in order to understand the impact of the vehicles and the potential disruption impact that the operation of two B-787 would have in the daily operation of the airport. We identify on the one hand that for the case of an airport with the amount of expected traffic (45k ATM/year) the number of vehicle sets that are able to support the operation are about 4 or 5 with the type of expected traffic. On the other hand we identified that the inclusion of two B-787s during the operation of a day impacted significantly in the average performance of the aircraft in the Apron. However concerning the maximum values for the total times, the inclusion of the B-787 were not significant which means that the maximum delay was caused by other operations than the one from the B.787s. These causes should be further investigated in order to reduce the total gate times and in turn the turnaround times which are considered key for attracting traffic in the new airport.

6. Acknowledgments

The authors would like to thank the Aviation Academy of the Amsterdam University of Applied Sciences for the support of this research.

7. References

- ACI, (2014). web page: <https://www.aci-europe.org/component/content/article/29-article/103-world-airport-traffic-data.html>
- Airport Council International (2005). A Vision for European aviation.
- Alders H. (2014). *Presentatie en toelichting van de in het MER te onderzoeken routevarianten*. Informatiebijeenkomst voor bewoners in de regio Gelderland/Overijssel en bewoners van Flevoland 13 en 15 januari 2014.
- Banks, J., Carson J.S., Nelson, B., Nicol, D.M. (2010). *Discrete-Even system Simulation*. 5th edition, Pearson.
- Becu, N., Bousquet, F., Barreteau, O., Perez, P., Walker, A. (2003). A methodology for eliciting and modelling stakeholders' representations with agent based modeling. *Multi-Agent-Based Simulation III*, Springer.
- Eurocontrol (2015). *Industry monitor*, Issue N.169, 30/01/15.
- European Court of Auditors (2014). EU-funded airport infrastructure: poor value for money, pursuant to art287(4).
- IATA (2014). *Fact sheet: Industry Statistics*. December 2014.
- Jimenez E. (2014). *Airport strategic planning in the context of low-cost carriers ascendancy: Insights from the European experienc.*, PhD thesis, Universidad do Porto.
- Longo F. (2013). On the short period production planning in Industrial Plants: A real Case Study. *International Journal of Simulation & Process Modelling*, 8, 17-28.
- Mujica, M.M. (2015). Check-in allocation improvements through the use of a simulation–optimization approach. *Transportation Research Part A*, 77, 320-335.
- Mujica, M.M., Scala, P., Boosten, G. (2014). Simulation-based capacity analysis for a future airport. *Computer Aided System Engineering (APCASE)*, 2014 Asia-Pacific Conference, pp. 97-101. IEEE. February 10-12, Bali, Indonesia.
- Schiphol Magazine (2014). <http://trafficreview2014.schipholmagazines.nl>
- Schiphol Group, (2014). *Ondernemingsplan Lelystad Airport*.

Zuniga C., Delahaye D., Piera M., (2011), Integrating and Sequencing Flows in Terminal Maneuvering Area by Evolutionary Algorithms, DASC 2011, 30th IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference, Seattle: United States.

Modelo de elección de terminal aérea en regiones multi-aeropuertos: Modelo Logit multinomial aplicado a la elección de aeropuerto

Claudia Helena Muñoz Hoyos, Jorge Eliecer Córdoba Maquilón, Iván Reinaldo Sarmiento Ordosgoitia

Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

chmunozh@unal.edu.co, jecordob@unal.edu.co, irsarmie@unal.edu.co

Abstract

El análisis de las elecciones de viaje de los usuarios del transporte aéreo en regiones multi-aeropuertos, es un componente crucial en la planificación y en las políticas de distribución de pasajeros. El objetivo de esta investigación es encontrar una función de utilidad que permita conocer las variables que influyen en la elección de cada uno de los aeropuertos en las rutas a las principales ciudades del territorio Colombiano.

En la investigación desarrollada, se genera un modelo logit multinomial (MNL), el cual está basado en la teoría de maximización de la utilidad y es originado a partir de datos obtenidos de encuestas de preferencias reveladas y declaradas, realizadas a 200 usuarios del modo aéreo que residen en el área metropolitana del Valle de Aburra (Colombia); esta zona es la única en el territorio Colombiano que posee dos aeropuertos cercanos para realizar viajes domésticos; las terminales aeroportuarias que intervienen en el proceso de modelación son el Aeropuerto Enrique Olaya Herrera (EOH) y el José María Córdoba (JMC). Se probaron varias estructuras de modelos, demostrando ser el MNL el de mayor significancia, revelando que, las variables comunes que influyen en la elección del aeropuerto son el costo del tiquete, costo de acceso y tiempo de viaje al aeropuerto; así, el modelo obtenido para el aeropuerto EOH revela además que los viajeros de negocios, son menos sensibles a los aumentos de tarifas, comparados con los que viajan por placer; además, están dispuestos a pagar un precio más alto del tiquete por la disminución de tiempo de acceso, respecto a los viajeros de ocio. En el modelo encontrado para el aeropuerto JMC, se tiene que cuando el tiempo de reserva del tiquete es menor a 5 días, se genera una mayor utilidad en los usuarios que utilizan este aeropuerto, debido a que encontrarían tarifas menores comparadas con el EOH.

El modelo de elección de aeropuerto generado; corresponde a una herramienta válida y potente en el cálculo de la probabilidad de que cada aeropuerto

analizado sea elegido para realizar vuelos desde el área metropolitana del valle de Aburra hacia las principales ciudades del territorio Colombiano, teniendo en cuenta las características particulares de cada uno de los atributos que están contenidos en la función de utilidad y con estas probabilidades poder calcular las cuotas futuras de mercado de las dos terminales aeroportuarias consideradas, generando así un instrumento de apoyo en las políticas de marketing de los aeropuertos y por consiguiente de las compañías aéreas

Palabras Claves: Modelo de elección, Logit Multinomial, Cuota del mercado.

1. Introducción

Los modelos de elección discreta, basados en la teoría de la utilidad aleatoria, se han utilizado ampliamente en el análisis de situaciones de elección en diferentes modos de transporte, con el objetivo de realizar un desplazamiento; en esta investigación el escenario de elección es la terminal aeroportuaria en regiones multi – aeropuerto, de donde el usuario inicia el viaje hacia las principales ciudades del territorio Colombiano. Así, conocer las variables que tiene en cuenta el pasajero al momento de elegir por cual terminal realizar su viaje, se convierte en un componente crucial de la planeación de transporte y este ha sido un tema que en los últimos años ha cobrado importancia para los planificadores aeroportuarios. En este artículo se avanza en el estado del arte de la modelación en el área de elección de aeropuertos mediante el uso de modelos logit multinomial (MNL), los cuales permite capturar las variables que son estadísticamente significativas y que permiten analizar el comportamiento de los individuos ante las alternativas disponibles.

La recolección de datos se realiza para los habitantes del área metropolitana del Valle de Aburra, la cual incluye el municipio de Medellín, segunda ciudad principal de Colombia y es la única que es servida por dos aeropuertos. Los resultados del análisis revelan una influencia significativa de las variables costo del tiquete, costo de acceder al aeropuerto, tiempo de acceso, entre otras; en la elección de aeropuerto que realizan los usuarios del modo aéreo. Durante el proceso de modelación se generaron varios modelos MNL y modelos logit mixto (ML) y mediante los elementos estadísticos que permiten realizar un ranking de los modelos, se llegó a elección del modelo MNL como el mejor en este caso de estudio.

Los aeropuertos disponibles para el desarrollo de la investigación son el aeropuerto Enrique Olaya Herrera y el José María Córdova, los cuales están ubicados en el área metropolitana del valle de Aburra y los trayectos comunes para las dos terminales son Medellín-Bogotá y Medellín-Cali.

2. Marco Teórico

Un área que es de especial interés es el análisis de las decisiones tomadas por los pasajeros que parten de regiones que poseen varios aeropuertos, modelar tales elecciones es atractivo desde una perspectiva de investigación, debido a la complejidad del proceso de elección, así como también es de gran importancia en las políticas de expansión para los aeropuertos y aerolíneas (Jung & Yoo, 2014). De hecho, el aumento del transporte aéreo ha dado lugar a importantes problemas de congestión, en regiones de varios aeropuertos, lo que lleva al urgente aumento de capacidad. (Hess & Polak, 2006)

En los modelos de elección discreta, también denominados modelos de respuesta cualitativa, se relaciona la probabilidad condicional de una elección

con una serie de factores explicativos, que recogen las características de los individuos que toman las decisiones, así como los atributos de las alternativas, y permiten calcular la probabilidad de que un individuo con determinadas características haga una elección dada. Estos modelos de transporte representan el núcleo de los procesos de planeación de una región y permiten cuantificar cualquier escenario futuro que se pueda pensar por los tomadores de decisiones. En tal sentido, es necesario que esta herramienta sea muy transparente y que inspire confianza en los resultados para que la toma de decisiones sea la más adecuada para la ciudad.

2.1 Los modelos de elección discreta

Los modelos de elección discreta basados en la teoría de utilidad aleatoria, se fundamentan en el que la probabilidad de que el individuo q elija la alternativa j , es función de sus características socio-económicas y de variables asociadas a la opción de elección (Ortúzar & Willumsen, 2011). La idea detrás de la teoría es que mientras la utilidad de cada alternativa de elección podría ser conocida por el individuo durante el proceso de toma de decisión, no es totalmente conocida por el observador o modelador y por lo tanto esta incertidumbre debe ser tenida en cuenta. Aunque se han desarrollado modelos de demanda de transporte desde enfoques agregados, ya es práctica común el uso de modelos desagregados de elección discreta para la calibración de los modelos de elección. El enfoque establece que la utilidad indirecta de la alternativa j para un individuo q , U_{jq} , está representada por la suma de un término conocido por el modelador V_{jq} y otro aleatorio ε_{jq} (Domencich & McFadden, 1975) así:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (1)$$

Ecuación 1. Función de utilidad

Para cada alternativa, que en el caso del estudio será los dos aeropuertos disponibles para el área metropolitana del Valle de Aburrá, la componente determinística V_{jq} de la utilidad es especificada como una función de los atributos X , tales como tiempo de viaje y costo del viaje, así como características del individuo (edad, motivo de viaje, ocupación, entre otros). Así la componente determinística llamada también sistemática está descrita en la ecuación (2) como función de X_{ikq} , que representa el valor del atributo k de la alternativa j para el individuo q .

$$V_{jq} = \sum \theta_{ikq} X_{ikq} \quad (2)$$

Ecuación 2. Componente Determinística

El término aleatorio ε_{jq} contenido en la función de utilidad U_{jq} de la ecuación (1) refleja los errores de medida y observación del modelador y son variables aleatorias con media cero y una distribución de probabilidad a especificar, el modelo a utilizar depende del tipo de distribución. El individuo q escoge la alternativa de máxima utilidad, esto es, escoge la alternativa j si y sólo si se cumple la desigualdad de la ecuación (3)

$$U_{jq} \geq U_{iq} \quad \forall A_i \in A(q) \quad (3)$$

Ecuación 3. Alternativa de mayor utilidad

El modelo logit multinomial (MNL) es una generalización del modelo logit binario y se utiliza para describir cómo un individuo elige entre un número finito de alternativas (Domencich & McFadden, 1975), este modelo es usado en esta investigación y ha sido el modelo de elección discreta más usado en los estudios de elección de aeropuertos. Este modelo se obtiene a partir del supuesto que los términos de la ecuación (1) están distribuidos de forma independiente e idénticamente distribuidos (iid) y siguen una distribución Gumbel, así la probabilidad de que un individuo q escoja la alternativa j , está dada por la ecuación (4) (Domencich & McFadden, 1975).

$$P_{jq} = \frac{\exp(V_{jq})}{\sum_{A_i \in A(q)} \exp(V_{iq})} \quad (4)$$

Ecuación 4. Probabilidad de elección

2.2 La modelación de la demanda en la elección de aeropuerto

La aplicación de los modelos econométricos en la elección de aeropuerto, han proporcionado herramientas válidas y potentes para encontrar la cuota de mercado futura de pasajeros, conocer las decisiones de elección se convierte en un factor que cobra cada vez más importancia en las políticas de marketing de los aeropuertos y por consiguiente de las compañías aéreas. (Pels, Nijkamp & Rietveld, 2003; Loo, 2008; Marcucci & Gatta, 2011; Fuellhart, O'Connor, & Woltemade, 2013; Yang, Lu, & Hsu, 2014).

Los primeros estudios en elección de aeropuertos fueron realizados por Skinner (1976), quien uso un modelo logit multinomial (MNL) para describir el comportamiento en la elección de aeropuerto en el cual se tenían tres terminales disponibles. Los resultados revelan un efecto de las frecuencias y las condiciones de accesibilidad. Los estudios de Windle y Dresner (1995) concluyen

que los efectos del tiempo de acceso a la terminal de pasajeros y la frecuencia de vuelo son estadísticamente significativos en el modelo de elección.

En el área de la bahía de San Francisco se han realizado varios estudios de elección de aeropuerto. Harvey (1987) encontró que para los diferentes motivos de viaje que tienen los usuarios, la frecuencia de vuelo y el tiempo de acceso son variables significativas en el modelo MNL para la elección de aeropuerto. Basar y Bhat (2002, 2004) establecen un modelo logit multinomial para los viajeros de negocio que residen en el área de la bahía y encuentran que el tiempo de acceso y las frecuencias son variables significativas en la elección de aeropuerto. Los estudios recientes realizados por, Hess y Polak (2006) analizan la elección aeropuerto en la zona de la Bahía de San Francisco utilizando un modelo logit mixto (ML), el cual tiene mejor ajuste comparado con los modelos MNL generados, al igual que en los estudios anteriores, la variable tiempo de acceso es estadísticamente significativa dentro del modelo. Ishii, Jun y Van Dender (2009) generaron modelos Logit Mixto para el trayecto San Francisco – Los Ángeles teniendo en cuenta las variables tiempo de acceso al aeropuerto, retrasos en el aeropuerto, la frecuencia de vuelos, entre otras; además, se generaron modelos para los dos grupos de viajeros : ocio y de negocios.

En el Reino Unido (UK) se han realizado estudios de elección de aeropuerto, Ashford y Bencheman (1987) generan modelos MNL para describir la elección de aeropuerto en Inglaterra, teniendo en cuenta la disponibilidad de cinco terminales, incluyendo dos aeropuertos de Londres; en los modelos generados se encontró que el tiempo de acceso y las frecuencias son factores importante al momento de elegir por cual terminal realizar el viaje, además en costo del tiquete resultó una variable estadísticamente significativa para los viajes domésticos, mientras que para los viajeros por negocios en viajes internacionales no resultó estadísticamente significativa. Los modelos de elección discreta son también utilizados en situaciones hipotéticas de elección, Thompson y Cuevas (1993) utilizan el modelo MNL para pronosticar la cuota de mercado de un nuevo aeropuerto en el norte de Inglaterra; el tiempo de acceso, la frecuencia de vuelos y el tamaño de las aeronaves son variables significativas dentro del modelo.

Un primer acercamiento a la aplicación de modelos de elección de aeropuertos en el territorio Colombiano fue la investigación realizada por Muñoz et al., (2014), en la cual se obtiene un modelo por trayecto, la presente investigación realiza un aporte valioso en el área de elección de terminal aérea, comenzando con la definición de un mercado específico y avanzando en la generación de modelos generales que permitan ser adoptados hacia trayectos similares a los encontrados por Muñoz et al., (2014).

3. Descripción de los datos y escenario de elección

El área metropolitana del Valle de Aburrá conformada por los municipios de Medellín como ciudad núcleo, Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Itagüí, La Estrella, Sabaneta y Caldas; es el único sitio en Colombia que tiene dos aeropuertos disponibles para realizar viajes domésticos de pasajeros, así el escenario de elección en el que se desarrolla la investigación es el Aeropuerto Enrique Olaya Herrera (EOH) y el Aeropuerto José María Córdova (JMC). El Aeropuerto EOH es un aeropuerto Colombiano ubicado en el sur-occidente de la ciudad de Medellín, el cual atiende vuelos regionales y nacionales, tal como se observa en la Figura 1, la otra terminal aérea de pasajeros disponible es el Aeropuerto Internacional JMC y está ubicado en el municipio de Rionegro a 29 km de Medellín; este aeropuerto es el más importante en el departamento de Antioquia y, en términos de infraestructura, segundo después del Aeropuerto Internacional El Dorado de Bogotá. Entre los dos aeropuertos de área metropolitana, se movilizan más de 6,5 millones de pasajeros al año, lo que la convierte en la segunda ciudad con más tráfico doméstico de pasajeros de Colombia, después de Bogotá, que moviliza más de 19 millones de pasajeros, a 2014 (Aerocivil, 2015).



Figura 1. Ubicación aeropuertos EOH y JMC en el área metropolitana del Valle de Aburrá

El Objetivo de la investigación es encontrar una función de utilidad que permita conocer las cuotas del mercado de cada uno de los aeropuertos en las rutas a ciudades principales del territorio Colombiano; para iniciar el proceso de modelación, es necesario realizar la recolección de información, para esto se realizaron encuestas de preferencias reveladas (PR) y de preferencias declaradas (PD), permitiendo estas últimas, indagar acerca de las decisiones que

eventualmente tomarían los individuos sobre la elección de determinada alternativa, bajo una serie de atributos ficticios, propuestos por el investigador de acuerdo a sus objetivos (Ortúzar & Willumsen, 2011). En esta investigación se indagó sobre distintas situaciones para realizar un viaje por alguno de los dos aeropuertos que sirven a la ciudad de Medellín y sus municipios cercanos, dichas situaciones son generadas a partir de la variación de los valores de los atributos que se investigan; como son el costo del tiquete (CT), el costo del desplazamiento al aeropuerto (CD), y el tiempo de viaje de acceso al aeropuerto (TV).

La encuesta se aplicó a 200 usuarios de los dos aeropuertos, y permitió obtener información socioeconómica del mismo, la cual es útil para explicar por qué se elige el aeropuerto EOH o el JMC para inicio de viaje. Esta información se complementó con una encuesta de preferencias declaradas, en la que los individuos debían seleccionar la alternativa que le fuera más atractiva dentro de un grupo de 2 posibles (EOH o JMC) en un juego de 9 casos por encuestado, dando como resultado un total 1800 observaciones, que constituyeron la información primaria para generar los modelos de elección.

4. Metodología y especificación del modelo

El modelo a estimar tomará en cuenta las utilidades asignadas por los usuarios a los dos aeropuertos disponibles. Dicha utilidad en términos generales tendrá la estructura básica descrita en la ecuación (5).

$$U_j = \beta + \theta_{costotiquete}CT_j + \theta_{costodesplazamiento}CD_j + \theta_{tiempoviaje}TV_j \quad (5)$$

Ecuación 5. Estructura básica de la función de utilidad

La base de datos contiene atributos propios de cada terminal, así como variables socioeconómicas, las cuales están listadas en la Tabla 1 y a su vez están contenidas en la función de utilidad de cada aeropuerto.

Se probaron varios modelos con distintas especificaciones, estos modelos difieren en el número de atributos estimados y fueron estimados mediante el software Biogeme utilizado comúnmente en la modelación de transporte. Inicialmente se calibra el modelo para los datos obtenidos de las encuestas de preferencias declaradas en los trayectos Medellín-Bogotá y Medellín-Cali, se probó diversas expresiones para la función de utilidad, donde en varias de ellas, los atributos no fueron estadísticamente significativos al 95% de confianza. Se probaron modelos MNL y ML, encontrándose que en estos últimos, los atributos no son significativos. Después de generar algunos modelos MNL se establece un ranking entre ellos, con el fin de determinar cuál es el mejor modelo.

Variable	Descripción
CT	Costo del tiquete aéreo
CD	Costo de desplazamiento al aeropuerto
TV	Tiempo de acceso al aeropuerto
SEX	Género (0 Hombre, 1 Mujer)
LU	Aeropuerto por donde se inició el último viaje realizado (0 EOH, 1 JMC)
AVI1	Tipo de Avión en los que se prefiere es < 100 pasajeros (Pax)
TR1	Tiempo de reserva del tiquete
MOT1	Si el motivo de la mayoría de los viajes aéreos es por trabajos o negocios
OC	Ocupación (1 Empleado, 0 otro (Estudio, Pensionado, ama de casa)
DV	Persona que escoge el aeropuerto por donde se va a realizar el viaje. (1. El encuestado, 0 otro)
MT	Medio de transporte empleado para llegar al aeropuerto (1 Particular, 0 público)
ES	Estratos socioeconómico (1. Medio-bajos, 0 Medio-alto)

Tabla 1. Descripción de Atributos

5. Resultados de la modelación

El modelo generado y descrito en la Tabla 2, establece que los signos de las variables corresponde con lo esperado; además al realizar la prueba estadística test- t, se encuentra que todas las variables son estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Atributo	Parámetro	Valor	Test-T
	B_{JMC}	Fijo	Fijo
	B_{EOH}	1.36	4.50
CT	θ_{CT}	-0.0000124	10.30
CD	θ_{CD}	-0.0000169	-6.20
TV	θ_{TV}	-0.0191	-3.26
SEX	θ_{SEX}	0.334	2.69
LU	θ_{LU}	1.09	8.13
AVI1	θ_{AVI1}	0.273	2.06
TR1	θ_{TR1}	0.379	3.08
MOT1	θ_{MOT1}	0.332	2.16
OC	θ_{OC}	0.373	2.41
DV	θ_{DV}	0.536	4.27
MT	θ_{MT}	0.650	5.15
ES	θ_{ES}	0.266	2.23

Tabla 2. Modelo MNL para elección de aeropuerto.

Con base en los valores de los parámetros generados en el modelo MNL, se construyen las funciones de utilidad para cada terminal aérea, así para el aeropuerto JMC, las variables que integran dicha función están descrita en las

ecuación (6), junto con los valores de los parámetros, los cuales permiten conocer el peso de cada uno de los atributos dentro de la función de utilidad

$$U_{JMC} = -0,0000124CT_{JMC} - 0,0000169CD_{JMC} - 0,0191TV_{JMC} + 0,334SEX + 0,266ES + 1,09LU + 0,536DV + 0,379TR1 \quad (6)$$

Ecuación 6. Función de utilidad para el aeropuerto JMC

A su vez para el aeropuerto EOH la función de utilidad representada en la ecuación (7); permitirá junto con la función de utilidad del JMC, calcular las probabilidades de elección de cada una de las terminales.

$$U_{EOH} = 1,36 - 0,0000124CT_{EOH} - 0,0000169CD_{EOH} - 0,0191TV_{EOH} + 0,65MT + 0,373OC + 0,332MOT1 + 0,273AV11 \quad (7)$$

Ecuación 7. Función de utilidad para el aeropuerto EOH

El modelo estimado proporcionará una herramienta para el cálculo de las cuotas de mercado de las dos terminales aeroportuarias consideradas, es decir, la probabilidad de que cada aeropuerto analizado sea elegido para realizar vuelos desde el área metropolitana del valle de Aburra hacia las principales ciudades del territorio Colombiano, teniendo en cuenta las características particulares para cada uno de los atributos que están contenidos en la función de utilidad.

6. Conclusiones

En este artículo se ha realizado un acercamiento a los modelos de elección discreta en el área de transporte aéreo de pasajeros desde y hacia ciudades capitales en el territorio Colombiano, y constituye un aporte en el campo de investigación; además abre la puerta a próximas aplicaciones, no sólo en el área de transporte aéreo sino en otros campos de interés.

A partir de la información recolectada en la encuesta de preferencias declaradas, se formularon una serie de modelos tipo logit multinomial y logit mixto, al evaluarlos todos y compararlos, se pudo observar que el modelo que presenta mejor ajuste es el MNL y en este modelo se evidencian cuáles son los atributos que el usuario tiene en cuenta al momento de elegir la terminal aérea para iniciar un viaje desde el área metropolitana del Valle de aburra, hacia alguna de las ciudades capitales.

En el modelo encontrado para trayectos hacia ciudades principales en el territorio Colombiano, se encuentra que las variables que influyen en la elección del aeropuerto son el costo del tiquete (CT), el costo de acceder a cada terminal aérea (CD), el tiempo de viaje al aeropuerto (TV), coincidiendo con las variables encontradas en modelos de elección de aeropuerto en investigaciones

realizadas diferentes ciudades del mundo; además la función de utilidad obtenida para el aeropuerto JMC, permite concluir que viajar por el JMC representa mayor utilidad para los usuarios con las siguientes características: usuarios de género femenino, que realicen reserva del tiquete en menos de 5 días antes del viaje, quienes realizaron el último viaje por este aeropuerto y para viajeros con estratos socioeconómicos medios- bajos, atributo que está relacionado con el nivel de ingresos.

La función de utilidad generada para el aeropuerto EOH permite inferir que viajar por este aeropuerto representa mayor utilidad para los usuarios cuyo motivo de viaje es trabajo o negocios y que pueden acceder a la terminal aérea en un medio de transporte particular, adicionalmente para los usuarios que prefieren viajar en aeronaves pequeñas representa mayor utilidad realizarlo por esta terminal.

Estos modelos representan una valiosa herramienta para conocer las decisiones de los usuarios del transporte aéreo, permitiendo calcular las probabilidades de elección de cada terminal aérea disponible e interviniendo en las políticas de distribución de pasajeros, para los trayectos a ciudades principales del territorio colombiano.

7. Referencias

Aerocivil. (2015). Serie anual pasajeros y carga – origen-destino 1992-2014 web. Colombia. Retrieved from:

<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Estadisticas/TAereo/EOperacionales/BolPubA nte/Paginas/SeriesHistoricas.aspx>

Ashford, N., Bencheman, M. (1987). Passengers' choice of airport: An application of the multinomial logit model. *Transportation Research Record*, 1147, 1-5.

Basar, G., Bhat, C.R. (2002). *A parameterized consideration set model for airport choice: An application to the San Francisco Bay area*. Technical paper. Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin.

Basar, G., Bhat, C. (2004). A parameterized consideration set model for airport choice: An application to the San Francisco Bay Area. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(10), 889–904.

Domencich, T., McFadden, D. (1975). *Urban travel demand: A behavioral analysis*. Ed. North_Holland. Amsterdam.

Fuellhart, K., O'Connor, K., Woltemade, C. (2013). Route-level passenger variation within three multi-airport regions in the USA. *Journal of Transport Geography*, 31, 171–180.

- Harvey, G., (1987). Airport choice in a multiple airport region. *Transportation Research*, 21A(6), 439-449.
- Hess, S., Polak, J.W. (2006). Exploring the potential for cross-nesting structures in airport-choice analysis: A case-study of the Greater London area. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42, 63-81.
- Ishii, J., Jun, S., Van Dender, K. (2009). Air travel choices in multi-airport markets. *Journal of Urban Economics*, 65(2), 216-227.
- Jung, S.Y., Yoo, K.E. (2014). Passenger airline choice behavior for domestic short-haul travel in South Korea. *Journal of Air Transport Management*, 38, 43-47.
- Loo, B.P.Y. (2008). Passengers' airport choice within multi-airport regions (MARs): some insights from a stated preference survey at Hong Kong International Airport. *Journal of Transport Geography*, 16(2), 117-125.
- Marcucci, E., Gatta, V. (2011). Regional airport choice: Consumer behaviour and policy implications. *Journal of Transport Geography*, 19(1), 70-84.
- Muñoz, C., Sarmiento, I., Córdoba, J. (2014). Airport terminal choice model. *Dyna*, 81(187), 144-151.
- Ortúzar, J.D.D., Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport*.
- Pels, E., Nijkamp, P., Rietveld, P. (2003). Access to and competition between airports: A case study for the San Francisco Bay area. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(1), 71-83.
- Skinner Jr.R.E. (1976). Airport choice: an empirical study. *Transportation Engineering Journal* 102, 871-883.
- Thompson, A., Caves, R. (1993). The projected market share for a new small airport in the North of England. *Regional Studies* 27, 137-147.
- Windle, R., Dresner, M. (1995). Airport choice in multi-airport regions. *Journal of Transportation Engineering* 121, 332-337.
- Yang, C.W., Lu, J.L., & Hsu, C.Y. (2014). Modeling joint airport and route choice behavior for international and metropolitan airports. *Journal of Air Transport Management*, 39, 89-95.

Estudio sobre la viabilidad de la implementación de criterios medioambientales en la operación de ascenso continuo

Javier A. Pérez-Castán, Rosar Arnaldo Valdés, V.Fernando Gómez Comendador, David Carrera Mate

UPM-GINA, España.

Javier.perez.castan@alumnos.upm.es, rosamaria.arnaldo@upm.es,
fernando.gcomendador@upm.es, dcmate22@gmail.com

Abstract

Objeto: El objetivo de esta investigación es el de analizar las distintas metodologías utilizadas actualmente en la evaluación medioambiental de las operaciones aeronáuticas, particularizando su estudio en las operaciones de ascenso continuo y su integración en una optimización multiobjetivo.

Diseño/metodología/enfoque: Para alcanzar el objetivo anterior es necesario realizar un análisis de las diferentes herramientas que se utilizan en la actualidad evaluando todos los aspectos que sean interesantes y condicionantes para su utilización tanto en operaciones individuales como en un conjunto diario. Posteriormente, la forma en la que se definan estos conceptos medioambientales dentro de una optimización multiobjetivo, en un escenario concreto, determinará su utilización como criterios a optimizar o como restricciones a imponer a lo largo de la trayectoria de ascenso.

Aportaciones y Originalidad: La originalidad de este estudio radica en el análisis de las diferentes metodologías de emisión de ruido y contaminantes con el fin de integrarlas conjuntamente en la evaluación de una operación de ascenso continuo eligiendo las que mejores características presenten.

Limitaciones: El estudio se encuentra en una fase preliminar de la investigación por lo que solamente se ha evaluado cualitativamente las características de las distintas metodologías y su integración en una optimización multiobjetivo, además, tampoco se presentan los resultados de las simulaciones de un ascenso continuo.

Implicaciones prácticas: La selección de una metodología adecuada para la evaluación de ruido y otra para la emisión de contaminantes servirá para realizar un correcto análisis de sus emisiones a lo largo de un ascenso continuo y

facilitará la normalización de los procedimientos a definir durante la fase de ascenso.

Implicaciones sociales: La reducción de emisiones contaminantes y acústicas es un factor primordial en el desarrollo de una aviación más verde y sostenible, siendo éste uno de los objetivos prioritarios de esta investigación.

Valor añadido: La evaluación de las emisiones contaminantes durante la fase de ascenso y su integración en operaciones de ascenso continuo es un tema de actualidad en el que compañías aéreas, operadores, controladores y proveedores de servicios de navegación aérea están muy interesados con el fin de obtener una gestión del tráfico aéreo más eficiente y sostenible.

Palabras clave: Operaciones de ascenso continuo, Crecimiento sostenible, Optimización multicriterio

1. Introducción

Actualmente, el transporte aéreo se corresponde con uno de los medios de transporte más importantes del mundo, ello conlleva a su vez un crecimiento de su impacto sobre el medio que lo rodea. Al producirse este incremento de vuelos en el espacio aéreo no solo ha de tenerse en cuenta la mejora de la seguridad, la eficiencia o la capacidad del transporte aéreo sino que también se debe buscar el crecimiento sostenible. Para ello, resulta necesario disminuir el impacto medioambiental del transporte aéreo que actualmente supone en torno a un 3% del total de los gases de efecto invernadero emitidos en Europa, (SESAR & Environmental-European Commission, 2010). Dicho objetivo se pretende lograr mediante la utilización de nuevas tecnologías (SESAR, 2011) y la introducción de procedimientos más eficientes como Continuous Climb Operations (CCO) and Descent Approximation (CDA).

En 2012, los vuelos de todo el mundo produjeron 689 millones de toneladas de CO₂ (OACI, 2013). Además de estas emisiones a nivel global, las operaciones de las aeronaves en los aeropuertos y sus cercanías afectan a la calidad del aire local a través de los contaminantes emitidos durante las distintas fases de la operación. El segundo factor medioambiental adverso en las proximidades del aeropuerto es el ruido generado por las aeronaves durante el despegue y el aterrizaje. El impacto del ruido puede reducirse debido a que estas emisiones son debidas principalmente a la planta motora y la configuración aerodinámica de la aeronave. Sin embargo, debido a la naturaleza subjetiva del ruido, se han desarrollado distintas herramientas y metodologías, encontrándose soluciones empíricas (Hough & Weir, 1996), lógica fuzzy (Prats et al., 2010) y numéricas (ICAO, 2008).

La investigación sobre la optimización de la trayectoria de una aeronave ha sido ampliamente analizada de acuerdo a diferentes criterios operativos como el consumo de combustible (Jin, Cao & Sun, 2013) y la emisión de ruido (Visser, 2005) y, aunque muchos estudios se han realizado respecto a la implementación de los conceptos medioambientales en las CDAs, poco ha sido investigado en el campo de las CCOs (Mitchell et al., 2012). No obstante, la mayoría de las investigaciones se han centrado en evaluar un único criterio de optimización y muy poca bibliografía se puede encontrar respecto a la optimización multiobjetivo de criterios medioambientales (Visser & Hartjes, 2013).

El objetivo de este trabajo abarca la recopilación y el análisis de diversas metodologías empleadas en la actualidad para el cálculo de las emisiones contaminantes y sonoras de las aeronaves, y su posterior comparación para encontrar aquéllas que mejor se adapten al estudio de una operación singular. Además, se analiza la viabilidad sobre la implementación de técnicas de optimización multiobjetivo respecto a los principales criterios medioambientales en una operación de ascenso continuo, presentando y definiendo un escenario de aplicación con las restricciones que se deben tener en cuenta para la aplicación de técnicas de control óptimo.

2. Conceptos medioambientales

La optimización en términos medioambientales de una trayectoria de vuelo parte de un estudio preciso y razonado de combustible, emisiones y ruido, lo que permite hacerse una idea aproximada de la mejor elección a la hora de escoger una trayectoria en base a altitudes, consumo de combustible, configuración de la aeronave e incluso factores meteorológicos.

2.1 Consumo de combustible

Desde los años 70 con el efecto de las crisis petrolíferas se ha trabajado para conseguir una menor dependencia de los combustibles fósiles en el ámbito aeronáutico. Esta dependencia es uno de los factores claves a la hora de realizar un vuelo, puesto que cerca de la mitad de los costes de operación son debidos al precio del combustible. Actualmente se han llevado a cabo gran cantidad de esfuerzos en múltiples proyectos internacionales hasta lograr mejorar un 70% la eficiencia energética de los reactores en los últimos 50 años. El principal modelo de negocio está basado en la reducción del consumo de combustible de modo que en la realización de una operación aérea se consuma el mínimo combustible posible. Este objetivo adquiere mayor relevancia al internarnos en el concepto 4DT (posición + tiempo) en el cual las compañías aéreas dispondrán de una información plena de la trayectoria a realizar ajustando los márgenes a las previsiones. El concepto operativo se define como:

$$\text{flujo fuel} = f(\text{Consumo}_{\text{fuel}}) * \text{Empuje} \quad (1)$$

$$\text{Consumo}_{\text{fuel}} = g(\text{Velocidad}) \quad (2)$$

2.2 Emisión de contaminantes

Las emisiones pueden clasificarse en globales o locales, se consideran emisiones globales aquellos gases y partículas emitidos directamente en la alta troposfera o baja estratosfera y que tienen repercusión sobre la composición atmosférica, CO₂, NO_x, etc. Además de estas emisiones a nivel global, las operaciones de las aeronaves en los aeropuertos y sus cercanías afectan a la calidad del aire local a través de los contaminantes emitidos durante las distintas fases de la operación: el aterrizaje, el despegue, la rodadura, el almacenamiento de combustible, las pruebas de motores, el uso de APUs, etc. Entre ellas se incluyen óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), hidrocarburos (HC) y diferentes humos y partículas en suspensión. Los gases NO_x cuentan con dos efectos indirectos contradictorios sobre el clima: inducen

la producción del ozono bajo la influencia de la luz solar y reducen la concentración atmosférica de metano.

Los fabricantes han realizado diversos estudios para determinar las emisiones producidas por la gran mayoría de los motores disponibles en la actualidad, una vez que han sido admitidos estos ensayos por la autoridad pertinente y su posterior publicación por parte de la OACI (ICAO, 2015) En la gran mayoría de los casos la emisión de los contaminantes son considerados como un factor de emisión respecto del flujo de combustible:

$$\text{Emisión (g)} = \text{Fuel quemado (kg)} \times \text{Factor de emisión (g/kg fuel quemado)} \quad (3)$$

2.3 Emisión de ruido

El ruido se puede definir como toda clase de sonido no deseado, molesto y que pueda ser medido con precisión. No obstante, la naturaleza subjetiva y altamente compleja del ruido está implícita en su propia medición y más aún en el caso de las cercanías de un aeropuerto. La metodología más utilizada para la medición del ruido está basada en las denominadas huellas de ruido, Figura 1, las cuales muestran el impacto del ruido en las comunidades cercanas al aeropuerto y ofrece información sobre cómo variables operativas (configuración del avión, procedimiento de vuelo o nuevas tecnologías) afectan al tamaño y a la forma de la huella.

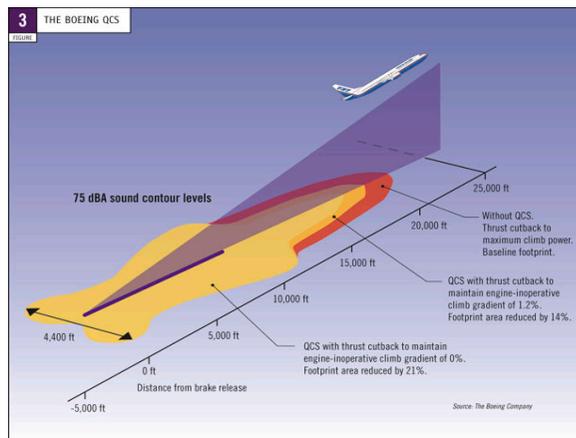


Figura 1. Representación huella acústica en un despegue (BOEING, 2003)

El ruido que genera una aeronave al despegar depende de distintas variables, configuración de la aeronave, tipo de aeronave, distancia entre el emisor y el

receptor y su ángulo y la potencia del motor. Los principales modelos no proporcionan resultados individuales si no unos niveles promedio por día, para calcular el nivel de presión sonora se divide la trayectoria en varios segmentos en función de la malla en la que se quiere evaluar el ruido, mediante cálculos matemáticos se obtiene la energía de exposición sonora para cada segmento y a partir de todos los segmentos el de cada vuelo.

3. Análisis comparativo de la metodología existente

En este trabajo se ha realizado una recopilación de diferentes metodologías y modelos empleados en el cálculo tanto de emisiones contaminantes como acústicas, utilizados por diferentes entidades mundiales para sus estudios y proyectos. Para las más destacables de las metodologías de cada ámbito se muestran sus características principales, su facilidad de uso, los algoritmos empleados, su precisión, etc., con el objetivo de recaudar información suficiente para realizar una comparación razonada y obtener así unas conclusiones de qué método o métodos resultan más apropiados de ser utilizados según los requisitos para un estudio en particular.

3.1 Herramientas para evaluar la emisión de contaminantes

	Base de datos (OACI)	Base de datos EMD (FAA)	EMTM Australia (NEPC)	Estudio en Viena (Wiener Gasse 146)	BOEING Method 2 (BOEING)	Intergovernmental Panel on Climate Change (EEA)		
						NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
Tipo de motor /aeronave	SI/NO	CIENTOS DE COMBINACIONES	SI/SI	35 COMBINACIONES	NO/NO	NO/SI	NO/SI	NO/SI
Consumo de combustible	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Uso de factores de emisión	SI	SI	SÍ	SÍ	SÍ	SI	SI	SI
Distinción fases LTO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI
Nº motores	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO
Parámetros del motor (empuje, velocidad del rotor...)	SI	-	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Emisiones de CO ₂ /NO _x /SO _x	SI/SI/NO	SI/SI/SI	NO/SI/SI	SI/SI/SI	NO/SI/NO	SI/SI/SI	SI/SI/SI	SI/SI/SI
Emisiones de "humo de carbón"	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Precisión del método	MEDIA	MEDIA	MEDIA/BAJA	BAJA	MEDIA/ALTA	BAJA	MEDIA	ALTA

Tabla 1. Análisis de las características de las diferentes herramientas existentes para evaluar las emisiones

3.2 Herramientas para evaluar la emisión de ruido

	INM (FAA)	ECAC.CEAC Doc 29 ()	IMMI (Grupo Wölfel)	AEM (FAA)	ANOPP (NASA)	NNI (CAA)	NEF (FAA)
Tipo de modelo	Gráfico y numérico	Gráfico y numérico	Gráfico	Gráfico	Numérico	Numérico	Numérico
Operaciones diurnas/nocturnas	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ
Tipo aeronave/motor	SÍ/NO	SÍ/NO	SÍ/NO	SÍ/NO	NO/SI	NO/SI	NO/NO
Operación singular	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Algoritmia de optimización propia	SÍ	SÍ	NO	NO/SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Basado en ley de exposición de ruido	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO
Ecuaciones conocidas	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Máxima altitud aproximaciones / llegadas	6000 ft /10000 ft	6000 ft /10000 ft	6000 ft /10000 ft	3000 ft	NO DEFINIDAS (ESTIMACIONES)		
Uso en la optimización de una trayectoria	POSIBLE	POSIBLE	NO POSIBLE	NO POSIBLE	NO RECOMENDABLE	POSIBLE, PERO INSUFICIENTE	POSIBLE, PERO INSUFICIENTE
Precisión	MEDIA	MEDIA /ALTA	BAJA /MEDIA	MEDIA	ALTA	MEDIA	MEDIA

Tabla 2. Análisis de las características de las diferentes herramientas existentes para evaluar el ruido

4. Impacto en la optimización multiobjetivo

El análisis del impacto de la optimización de las trayectorias de aeronaves de acuerdo a un único criterio medioambiental ya ha sido múltiples veces realizado y con resultados satisfactorios. El siguiente paso es obtener una trayectoria que posibilite la elección de una senda que responda a la optimización de diversos criterios simultáneamente, sin embargo, la enorme diferencia entre los criterios a considerar por las compañías inhibe la posibilidad de introducir libremente factores operativos y medioambientales.

4.1 Definición del escenario

Debido al fuerte incremento del tráfico aéreo en todo el mundo, se han desarrollado procedimientos de salida y de llegadas ineficientes desde el punto de vista operativo, pero muy necesarios para asegurar un tráfico ordenado y con los mínimos riesgos de sufrir un accidente. En la última década se han realizado proyectos para estudiar la viabilidad de la implementación de CDAs en los aeropuertos y, en los últimos años, de los CCOs, dentro de este último se encuentra englobado este proyecto.

Las fases de despegue y ascenso son las más complejas y peligrosas por lo que se encuentran altamente restringidas. Estas limitaciones provienen de los distintos agentes involucrados:

- Fabricante: En la fase de despegue restringe las características operativas de las aeronaves en los distintos segmentos a realizar.
- Diseño de procedimientos: Cada salida de un aeropuerto puede estar limitada por distintos factores que limitan el gradiente de subida o la velocidad, montañas, edificios, vientos, etc.
- Control de tráfico aéreo: Al encargarse de la operación en tiempo real tienen en cuenta potenciales conflictos con otros tráficos circundantes, por lo que son ellos los que determinan si se debe realizar nivelaciones y a qué altura.

La implementación de una CCO significaría la eliminación de estas nivelaciones y que cada aeronave alcanzase su altitud de crucero de acuerdo al criterio operativo preferente por cada compañía aérea. No obstante, esto también tiene otros aspectos negativos como una mayor incertidumbre en la planificación de las, una disminución de la capacidad aeroportuaria y del espacio aéreo para garantizar la suficiente seguridad operacional entre otras.

4.2 Optimización multiobjetivo

La optimización multiobjetivo busca obtener la mejor solución evaluando distintos factores y considerando una interacción entre ellos, siendo un procedimiento utilizado habitualmente y muy complejo debido a la naturaleza no continua. El objetivo de este apartado no es el de definir una metodología para el problema de las CCOs, si no de analizar la integración de los distintos criterios medioambientales en ella.

El principal problema de la optimización multicriterio es que en muchos casos resulta imposible valorar adecuadamente factores de distinta naturaleza, por ejemplo como puede ser el caso en el que se busca minimizar la emisión de ruido de las operaciones aeroportuarias y el tiempo entre operaciones: como el ruido depende de la potencia motora se buscará minimizarla dentro de unos rangos admisibles, pero por el otro lado, para minimizar el tiempo entre operaciones las aeronaves deben dejar la trayectoria en común lo más rápidamente posible lo cual supone operar con restricciones a la velocidad.

En el caso de introducir la emisión de contaminantes como factor, se debe considerar que es un factor de emisión respecto al consumo de combustible a lo largo de la trayectoria. Cómo este factor de emisión se considera constante a lo largo del ascenso, la optimización deriva en la optimización del consumo de combustible. Por otro lado, debido a normativas cada vez más restrictivas, la

emisión de contaminantes se recomienda considerarla como una restricción de la función multiobjetivo:

$$Emisión(g) \leq R_{emisión}(g) \quad (4)$$

$$R_{emisión}(g) = R_{fuel}(kg) \times Factor\ de\ emisión\ (g/kg\ fuel\ quemado) \quad (5)$$

Si una aeronave realiza un despegue por una salida normalizada, como ocurre en la mayoría de los escenarios de alta densidad, los factores como la configuración de la aeronave y la distancia al emisor se encuentran restringidos por los procedimientos a cumplimentar, por lo cual, para optimizar el ruido, se debe minimizar el empuje del motor. Además, si se quiere introducir el ruido como variable dentro de un proceso de optimización multicriterio se debe tener en cuenta la complejidad del análisis de ruido en tiempo real así como que la normativa no está dirigida individualmente a cada despegue si no al conjunto diario. Por estos motivos se considera que introducir el ruido como factor dentro de una función multiobjetivo no resultaría adecuado, aunque sí que se debería considerar el ruido como una restricción a imponer durante el proceso de optimización:

$$R_{ruido}(65\ dB) \rightarrow Empuje(65\ dB) \quad (6)$$

Lo que significa una restricción al empuje para cada salida normalizada, simplificando el proceso de optimización y asegurando el cumplimiento de la normativa de ruido en cada aeropuerto.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un análisis de las capacidades de diferentes metodologías y modelos empleados en el cálculo tanto de emisiones contaminantes como acústicas utilizados por diferentes entidades mundiales. Centrándose en el estudio de las emisiones contaminantes emitidas en una operación CCO, existen varias opciones válidas a la hora de escoger metodología; sin embargo, se puede considerar el Boeing Method 2 como uno de los más adecuados debido a su relación precisión-disponibilidad de datos. Además, su no dependencia de ninguna base de datos y su validez para todas y cada una de las fases de vuelo (incluido crucero) hacen que su disponibilidad y utilidad sea total en todo momento. Su único inconveniente reside en el cálculo de emisiones de CO₂, para el cual habría que recurrir al método establecido por

OACI al no existir datos específicos de factores de emisión del mismo. En el caso de emisiones acústicas, la variedad de modelos también es muy elevada, aunque la mayoría de ellos no permiten realizar un cálculo específico para una operación en concreto. Por lo tanto, la recomendación final remarca el uso de uno de los dos grandes software INM o ECAC.CEAC, el resto de modelos quedan descartados por razones como complejidad o indeterminación en los márgenes de medida. Por último, se recomienda considerar la emisión de contaminantes como una restricción y no como un factor a optimizar puesto que al ser función del combustible consumido estaría duplicándose este criterio, por otro lado, la emisión de ruido se puede considerar un criterio a optimizar pero su complejidad numérica de análisis desaconseja su utilización en un proceso de optimización en tiempo real.

6. Agradecimientos

Este proyecto ha sido desarrollado bajo el Plan estatal de Innovación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016, Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad “Procedimientos de despegue y ascenso para un transporte aéreo más inteligente, sostenible e integrado”.

7. Referencias

- BOEING (2003). *Quiet Climb*. Technology/Product Development, AERO.
- Hough, J.H., Weir, D.S. (1996). *Aircraft Noise Prediction program (ANOPP) Fan Noise Prediction for Small Engines*. NASA Langley Research Centre, AlliedSignal Engines.
- ICAO (2008). *Recommended method for computing noise contours around airports*. Doc 9911. 1st edition, Montréal, Canada.
- ICAO (2015). *ICAO Aircraft Engine Emissions Databank*. <http://easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>
- Jin, L., Cao, Y., Sun, D. (2013). Investigation of Potential Fuel Savings Due to Continuous-Descent Approach. *J. of Aircraft*, 50(3), 807-815.
- Mitchell, D., Ekstrand, H., Prats, X., Grönstedt, T. (2012). An environmental assessment of air traffic speed constraints in the departure phase of flight: A case study at Gothenburg Landvetter Airport, Sweden. *Transportation Research Part D*, 17, 610-618.
- OACI (2013). *Medidas relativas a la emisión de CO2 de la aviación*. Comité ejecutivo Asamblea A38-WP/68.

- Prats, X., Puig, V., Quevedo, J., Nejari, F. (2010). Multi-objective optimization for aircraft departure trajectories minimising noise annoyance. *Transportation Research Part C*, 18, 975-989.
- SESAR J.U. (2011). *Lot 2-Terminal –Down wind optimization- Final report*. Direction des Services de la Navigation Aérienne.
- SESAR J.U., Environment-European Commission (2010). *SESAR and the Environment*.
- Visser, H.G. (2005). Generic and site-specific criteria in the optimization of noise abatement trajectories. *Transportation Research Part D*, 10, 405-419.
- Visser, H.G., Hartjes, S. (2013). Economic and environmental optimization of flight trajectories connecting a city-pair. *Proc IMechE Part G: J. of Aerospace engineering*, 228(6), 980-993.

As recentes concessões aeroportuárias no Brasil:

Infraestrutura e gestão

Diogo Quintilhano

Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo e Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

Diogo_qui@hotmail.com

Abstract

O artigo tem como objetivo compreender o processo de concessão dos principais aeroportos do Brasil e identificar os ganhos em modernização da infraestrutura e da gestão, bem como os avanços na eficiência do transporte de cargas e passageiros. A metodologia utilizada envolve além da pesquisa bibliográfica de livros, artigos e revistas científicas acerca da proposta, a análise dos Anuários Estatísticos desenvolvidos pelo Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), nos quais, constam os dados de movimentação de cargas aéreas e de passageiros, seus fluxos (origens e destinos) e a representatividade de cada aeroporto no cenário nacional; as análises levam em consideração a intensidade e direção dos fluxos aéreos de cargas e passageiros e qualidade das infraestruturas aeroportuárias. Este estudo visa contribuir para análise do desempenho da gestão aeroportuária (pública e privada) no Brasil e seus impactos no transporte de cargas e passageiros pelo modal aéreo. No Brasil, até o ano de 2012, a gestão dos aeroportos públicos era praticada exclusivamente pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO. Após 20 anos de estagnação dos investimentos no setor e com o aumento do uso do modal aéreo nos últimos doze anos no Brasil, em que, a média mundial de crescimento foi de 40%, de 2003 a 2010 e no Brasil foi de 118%. A partir do governo Dilma Rousseff (2008), iniciou-se o processo de modernização e renovação da gestão dos principais aeroportos do país via processos de concessões dos aeroportos à iniciativa privada. Na primeira rodada de licitações, foram concedidos os aeroportos de Guarulhos/SP, Viracopos/SP, Galeão/RJ, Confins/MG, Brasília/DF. Neste processo, a iniciativa privada detém 51% e a INFRAERO fica com 49% da gestão destes aeroportos. O intuito do governo brasileiro é de estimular a concorrência entre os aeroportos, além de buscar a redução de custos e o fomentar o aumento de receitas oriundas do setor aéreo. Os resultados preliminares apontam que, dos cinco aeroportos concedidos, todos demonstraram novos investimentos e melhorias infraestruturais, principalmente, para o transporte de cargas tipicamente movimentadas pelo modal aéreo.

Palavras chaves: Concessões; Transporte Aéreo; Infraestrutura; Brasil.

1. Introdução

Os primeiros voos e a consolidação da aviação civil no Brasil (institucionalmente ocorrida em 1926) foram aportados a partir de capital estrangeiro, sobretudo, alemão, francês e estadunidense. Levando em consideração a insuficiência de conhecimento técnico e infraestrutural do Brasil no que se refere à aviação, estes capitais atuaram de diversas maneiras, tais como: investimentos em oficinas para manutenção de aviões (almejando o mercado sul-americano para vendas de peças); construção de campos e pistas de pousos e pequenas infraestruturas aeroportuárias, como foi o caso do aeroporto internacional de Hercílio Luz, em Florianópolis/SC², entre outros na costa litorânea brasileira.

Mesmo com a entrada desses capitais estrangeiros, o governo brasileiro “garantia a permanência das empresas aéreas nacionais, por meio de reservas de mercado e políticas que conduziam a maior participação dessas” (Pereira, 2014, p.266), prevalecendo o capital nacional e equalizando a presença das companhias aéreas estrangeiras.

O Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA) de 1986 (que substituiu o Código de Ar) restringe a participação de no máximo 20% de capital estrangeiro das companhias aéreas nacionais. Mediante esta discussão, o setor corporativo da aviação defende a permanência de 100% de capitais estrangeiros. Autores como Salgado (2009) e Espírito Santo Jr. (2006) seguem o mesmo raciocínio, isto é, da autonomia e da livre concorrência entre as companhias aéreas nacionais e internacionais, alegando ser anacrônica a restrição a participação de capital estrangeiro. Algumas entidades do setor aéreo, sobretudo, as companhias aéreas, argumentam a necessidade de rever a legislação (Pereira, 2014).

A restrição imposta pelo CBA não impede que o capital estrangeiro se manifeste de forma efetiva na aviação civil brasileira, via acordos de cooperação, alianças, associações, fusões etc. Portanto, o capital estrangeiro consegue se perpetuar na aviação civil brasileira mediante estratégias que possibilitam a forte atuação de empresas e grupos transnacionais.

No que tange ao Estado, a regulação da aviação civil no Brasil, em seus primórdios, foi subordinada a gestões e organizações militares comandadas pelo Ministério da Aeronáutica (1941). O principal órgão envolvido foi o Departamento de Aviação Civil – DAC, e suas atribuições passavam por questões de segurança operacional, registro de aeronaves, segurança de voos, estudos e pesquisas etc.³ (BARAT, 2012). Em 1973 é criada a INFRAERO, uma empresa

² Em Santa Catarina, durante a década de 1920, o correio aéreo francês instalou no local um campo de pouso utilizado para o reabastecimento dos voos entre Paris e Buenos Aires. O comandante Saint-Exupéry teria chamado o lugar de *champ de pêche* (campo de pesca), de onde derivaria o nome Campeche (DA ROS, 2011).

³ A atuação do DAC era apoiada pelos estudos e pesquisa do Instituto de Aviação Civil (IAC), bem como pela negociação de acordos internacionais realizadas pela Comissão de Navegação Aérea Internacional (CERNAI). A Comissão do Transporte Aéreo (COTAC) auxiliava na formação de políticas

pública e que tinha como um dos seus principais objetivos criar estratégias para transformar os aeroportos brasileiros em eficientes bases para a operação de aeronaves comerciais⁴; em 1999, a aviação civil começou a contar com o Ministério da Defesa, o qual atribuiu as funções de gestão da aviação civil ao Comando da Aeronáutica.

Desta maneira, o objetivo declarado pelo governo era alterar o modelo burocrático de administração pública, implantado no Brasil durante a “Era Vargas”, para um modelo de administração gerencial, fortalecendo os órgãos da administração indireta (autarquias e fundações). Neste sentido, cria-se também, em 2005, a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, como uma autarquia especial de caráter autônomo, e que tem como finalidade a regulação de toda a aviação civil brasileira, além de substituir o DAC. Assim, o intuito do artigo é de compreender como se desenvolveu a regulação e as instituições de gestão aeroportuária no Brasil, bem como os impactos para o setor aéreo cargueiro. Para tanto, o artigo se divide em duas partes: a primeira trata das principais reformulações normativas dos últimos 25 anos no Brasil e a segunda discorre sobre a importância do modal aéreo para o transporte de cargas.

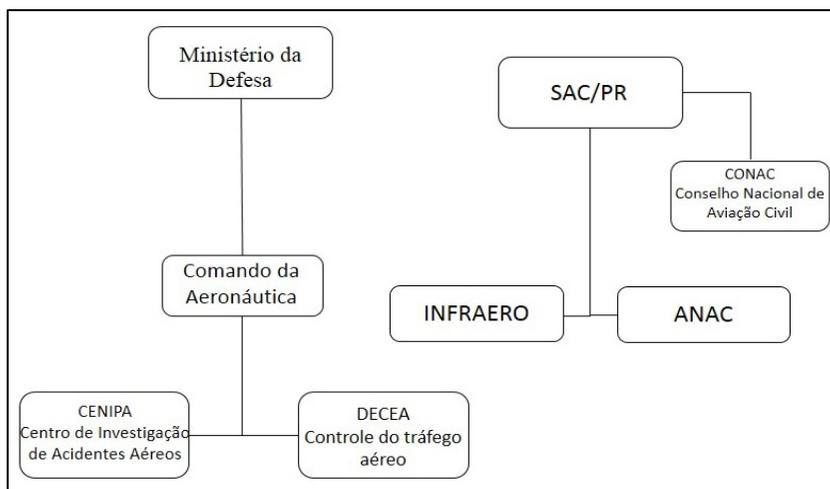
2. Reformulações normativas do setor aéreo: as instituições de planejamento e fiscalização da aviação civil brasileira ao longo dos últimos 25 anos

Dada a mudança de governo, a partir de 2003, com presidente Luiz Inácio Lula da Silva, surgem algumas sugestões e alterações no que se refere às Agências reguladoras. Lula passou a defender propostas para a criação de um contrato de gestão a ser assinado entre as agências e os respectivos ministérios setoriais, a implantação de uma ouvidoria em cada agência para facilitar a comunicação da população com as agências, a adequação dos mandatos das diretorias das agências em quatro anos (Nunes, 2007). Algumas Agências reguladoras ainda se mantêm com suas estruturas originais, isto é, “terceirizadas” e autônomas, no entanto, para o caso da aviação civil algumas alternativas foram criadas, sobretudo, o início das atividades, em 2011, da Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República – SAC/PR, que visa coordenar e supervisionar ações voltadas para o desenvolvimento estratégico do setor da aviação civil e da infraestrutura aeroportuária e aeronáutica no Brasil. Deste modo, as atribuições estratégicas, tais como investimentos em infraestrutura, concessões, gestão,

e prioridades. As atividades relacionadas com os acidentes aéreos eram realizados pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes (CENIPA) e o controle do tráfego aéreo e proteção do espaço aéreo para a aviação militar e civil era de responsabilidade do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) (BARAT, 2012, p. 203).

⁴ A INFRAERO tinha como sua subsidiária a ARSA (Aeroportos do Rio de Janeiro Sociedade Anônima), que era responsável pela administração do aeroporto do Galeão, do Santos Dumont e do aeroporto de Jacarepaguá, além de fiscalizar a construção de novos aeroportos (PEIXOTO, 1977).

entre outras, não estão direcionadas exclusivamente a ANAC, que, a partir de 2011, atua na regulação das operações, certificações, pesquisas etc., conforme segue expresso no Organograma 1:



Organograma 1. Perfil institucional e administrativo da aviação civil no Brasil (BARAT, 2012)

Ressalta-se a importância, como destaca Barat (2012, p. 198), de que “embora os segmentos da aviação civil sejam regulamentados e sujeitos a regras técnicas definidas, é necessária a regulação econômica do transporte aéreo em benefício dos usuários”, na tentativa de eliminar monopólio ou duopólios como, por exemplo, a GOL e a TAM, além de manter igualdades (jurídicas e concorrenciais, entre outras) entre as companhias aéreas entrantes de menor porte, em especial, nacionais.

Ademais, as mudanças propostas pela Secretaria da Aviação Civil da Presidência (SAC/PR), no final de 2011, na gestão aeroportuária no Brasil, assemelham-se às ocorridas em alguns países da Europa e de países como Estados Unidos, Canadá e Austrália, em que parte da gestão e dos investimentos ficam a cargo do setor privado e a fiscalização e uma parte da administração ficam sob responsabilidade do ente público. Outra similaridade é que cada empresa (no caso do Brasil chamadas de consórcios) realiza a administração de forma individualizada em cada infraestrutura aeroportuária, isto é, não é permitido o mesmo consórcio administrar dois aeroportos no Brasil.

Até o ano de 2011, a INFRAERO operava 97% dos aeroportos públicos no Brasil, gerindo toda a movimentação de passageiros e de cargas. Com as concessões dos principais aeroportos, em 2015 a estatal possui 28 terminais de cargas e, destes, 25 operam com os serviços de importação, 20 com exportação e 13 são

destinados à operação de cargas nacionais (Infraero Cargo, 2015). Novas concessões foram anunciadas pela presidente Dilma Rousseff, previstas para o ano de 2016. Estão na pauta das próximas licitações, os aeroportos das capitais Florianópolis, Porto Alegre e Salvador. No Quadro 01, a seguir, apresentam-se os cinco principais aeroportos concedidos à iniciativa privada e os consórcios ganhadores.

Aeroportos	Consórcio	Empresas ligadas aos Consórcios	Valor da Concessão	Prazo de concessão
Viracopos (Campinas/SP)	Aeroportos Brasil	Triunfo Partic. E investimentos (45%). UTC Participações (45%) e a francesa Egis Airport Operation (10%).	R\$ 3,821 bi	30 anos
Juscelino Kubitschek (Brasília/DF)	Inframérica Aeroportos	Infravix Part. (50%) e a Argentina Corporation América (50%).	R\$ 4,501 bi	25 anos
Guarulhos (São Paulo/SP)	Invepar	Invepar empreendimentos (90%) e a operadora Airport South África (10%).	R\$ 16,213 bi	20 anos
Galeão (Rio de Janeiro)	Aeroportos do Futuro	Odebrecht e Transport (60%). CHANGI da Cingapura (40%).	R\$ 19 bi	25 anos
Confins (Belo Horizonte)	Aero Brasil	Cia de Participações em Concessões CCR (75%). Flughafen Zurich AG (24%) e a Munich Airport (1%)	R\$ 1,8 bi	30 anos

Quadro 1. Aeroportos brasileiros concedidos à administração privada e os consórcios vencedores. (SAC/PR, 2015)

Para o caso do transporte aéreo de cargas, estas reformulações organizacionais da aviação civil brasileira são vistas como uma tendência mundial diante da intensificação da circulação de mercadorias. Rangel (2005) comenta que, de fato, não é necessário que o Estado esteja em todas as etapas do desenvolvimento econômico de um país, mas sim no planejamento do desenvolvimento de um país e cobrando para que as regras contratuais impostas ao setor privado sejam cumpridas.

Corroborando com as ideias de Rangel (2005), o Brasil aposta na modernização da gestão das infraestruturas aeroportuárias, a partir da dinâmica corporativa, e na delegação de atribuições, como a fiscalização e a segurança, aos órgãos públicos que devem visar a garantia da qualidade do serviço. Entretanto, ter o aeroporto funcionando desconectado da sua rede urbana, ainda não é o suficiente, é também necessário fomentar diversos outros serviços que se entrelaçam com os serviços aéreos, maximizando a eficiência de suas trocas de

informações, bens e pessoas, tanto no seio da própria empresa como entre diferentes empresas; este aspecto é de vital importância para as atividades que possam dinamizar o fluxo de cargas aéreas como, por exemplo, empresas de tecnologia e de serviços montagem de peças para produtos de alto valor agregado.

Ademais, o transporte aéreo e marítimo, associados ao desenvolvimento do comércio internacional e atrelados às mudanças das plantas industriais e pela busca da redução dos custos, os tornaram cada vez mais competitivos e em escala global, associados às vantagens comparativas de cada país. Neste cenário, a localização dos equipamentos de transportes em centros de consumo e de integração entre os modais de transporte, corredores com rotas facilitadas para as grandes metrópoles, voos intercontinentais de cargas e serviços aduaneiros oferecidos em seu entorno, entre outros serviços, podem dinamizar a circulação de bens e mercadorias e se tornarem importantes aliados da produção.

3. A importância do modal aéreo para a circulação de mercadorias de alto valor agregado

A fabricação de componentes eletrônicos no Brasil ainda não é considerada uma referência, apenas alguns países são detentores de algumas tecnologias de ponta, entretanto, a indústria brasileira necessita desses componentes para a fabricação de produtos nacionais, por exemplo, a INTELBRAS, localizada na Região da Grande Florianópolis, que, importa diversos componentes eletrônicos para a montagem de aparelhos de telefones, modems; assim como componentes para o setor naval, destinados aos estaleiros para a fabricação de rebocadores e embarcações de médio porte; entre outros setores que utilizam o modal aéreo para o transporte de determinadas cargas com o intuito de dinamizar a produção, gerando novos fluxos e ampliando os já existentes.

Algumas regiões da Ásia como, por exemplo, Singapura que possui um dos aeroportos mais eficientes na movimentação de cargas, usufruem de suas infraestruturas de transportes (aeroportos, ferrovias, portos e rodovias) e da integração entre os modais, isto é, o conceito da intermodalidade de transporte no atendimento da demanda global em níveis de eficiência e agilidade considerados altos. Esta nova – nem tão nova – dinâmica dos processos cada vez mais ágeis no tratamento das cargas verificada nos principais aeroportos do mundo, favorece cada vez mais a ampliação dos fluxos já existentes e a possibilidade de novas rotas no transporte de cargas tipicamente aéreas. Consoante a estas reformulações (reconfiguração espacial da produção e do consumo), os principais aeroportos brasileiros também estão se modernizando.

No caso do Brasil, a oferta de voos para as principais cidades da América, Europa e Ásia tem origem nos aeroportos de São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília.

Portanto, estrategicamente as concessões aeroportuárias realizadas no Brasil visaram justamente os principais aeroportos do país, com maiores fluxos, com expressiva rentabilidade e capacidade de crescimento. Ademais, foram concessões dadas para aeroportos com expressivo número de voos intercontinentais, aeroportos instalados em cidades que geram intenso fluxo de pessoas e mercadorias; além de terem proximidade com empresas de tecnologia e de alto valor agregado como, por exemplo, a concessão do aeroporto de Viracopos na cidade de Campinas/SP.

Há ainda outras questões de larga amplitude que estão correlacionadas às concessões aeroportuárias no Brasil e que devem ser discutidas, a saber: quais as reais intenções dos entes públicos na concessão dos principais aeroportos à iniciativa privada? Levando em consideração o aumento do uso do modal aéreo nos últimos anos, em que a média mundial de crescimento foi de 40%, de 2003 a 2010, e no Brasil foi de 118% no mesmo período (SAC/PR, 2012). Apresenta-se um cenário, no qual a necessidade de maiores investimentos no setor torna-se prioritária.

Além da inserção internacional das cidades e regiões onde se localizam estes aeroportos. Em 2013, o faturamento do setor com receitas de voo foi da ordem de R\$ 31,2 bilhões de reais, o que representou um crescimento de 16,6% em relação a 2012. O principal item das receitas de voo foi a de passagens, com participação de 85,5%, seguido da receita de carga, que representou 8,3% (ANAC, 2014). Ademais, há também a busca por mais *slots* (posições para mais aeronaves das companhias aéreas em um aeroporto), além da concorrência entre o tráfego de cargas e por destinos mais lucrativos, em grande medida, localizados nos grandes centros urbanos.

De acordo com a Infraero (2012), só os aeroportos de Guarulhos, Brasília e Viracopos, correspondem conjuntamente pela movimentação de 57% das cargas do sistema brasileiro e concentram a maior defasagem de investimentos, proporcionalmente ao crescimento do setor aéreo de cargas e passageiros no Brasil para os próximos 30 anos. Além de estimular a concorrência entre os aeroportos do Brasil, o Governo visa alavancar a aviação regional em todo o país. Os aportes financeiros, frutos das concessões, somados à lucratividade destes aeroportos, geridos pelo Fundo Nacional de Aviação Civil – FNAC⁵, serão aplicados no desenvolvimento e no fomento da aviação civil, especialmente no aperfeiçoamento do sistema de aviação regional, tornando as operações de voos menos onerosas e, conseqüentemente, fomentando o aumento do número de origens e destinos no território nacional.

⁵ O FNAC está vinculado à SAC/PR e tem como objetivo destinar recursos ao sistema da aviação civil, sendo aplicado em projetos de desenvolvimento e fomento das infraestruturas aeroportuárias (SAC/PR, 2012).

4. Considerações finais

Ressalta-se que estas reformulações organizacionais da aviação civil brasileira, são vistas como uma tendência mundial diante da intensificação da circulação de mercadorias, sobretudo, de alto valor agregado. Desde o governo Luiz Inácio Lula da Silva, o Brasil vem atuando, no que se refere ao melhoramento das infraestruturas de transportes, desde o início do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), em 2007, e, em conjunto com as parcerias entre o setor público e privado, importantes obras foram realizadas para melhorar a fluidez da circulação de pessoas e mercadorias.

Por fim, tais investimentos em infraestrutura, estimulados pelo investimento privado e público, têm como objetivo acompanhar e fomentar o desenvolvimento econômico, além de buscar a redução de custos, conforme há o aumento da produção. No caso das concessões, apesar de elas não fazerem um programa voltado para o desenvolvimento regional, possuem condições de gerar significativos impactos regionais, em grande medida devido aos investimentos, inicialmente nos principais aeroportos e, posteriormente, nos aeroportos de menor porte. Portanto, não se trata somente de resolver os gargalos infraestruturais para escoamento da produção, mas de induzir toda uma cadeia de investimentos, gerando o efeito multiplicador na economia.

5. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). *Anuários estatísticos. Dados consolidados de 2014*. Disponível em:

<http://www2.anac.gov.br/estatistica/anuarios.asp> Acessado em: 10/06/2015.

Barat, J. (2012). *Globalização, logística e transporte aéreo*. São Paulo. Editora Senac.

Nunes, C. (2014). A imunidade tributária dos correios sobre serviços postais não exclusivos. *Revista de Estudo de Direito Postal dos Correios*, 1, 26-39.

Infraero Cargo (2015). *Cadernos de movimentação de cargas aéreas da rede TECA*. Acumulado de 2014 e 2015. Disponível em:

<http://www.infraero.gov.br/cargo/index.php/mais-informacoes/programa-infraero-eficiencia-logistica> Acessado em: 05/06/2015.

Rangel, I. (2005). *Obras reunidas. Os desenvolvimentistas*, 1-2. BNDES.

Silveira, M.R., Júlio, A.L. (2013). Os investimentos em transportes do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e o efeito multiplicador brasileiro a partir do governo Lula da Silva. *Journal of Transport Literature*, 7(4), 199-224.

La tarifa de viaje como variable de impedancia en la modelación gravitacional del transporte aéreo

Óscar Armando Rico Galeana¹, Regina De Caso Aguirre²

¹ Instituto Mexicano del Transporte, México.

² División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

orico@imt.mx

Abstract

Objeto: La tarifa de viaje como variable de impedancia en la modelación gravitacional del transporte aéreo.

Diseño/metodología/enfoque: Se utiliza un modelo de regresión lineal múltiple que preserva las relaciones sistémicas del modelo gravitacional, pero que permite la calibración de sus parámetros mediante estimadores mínimo cuadráticos y su evaluación mediante pruebas estadísticas convencionales de correlación, contraste de hipótesis y análisis de varianza.

Aportaciones y Originalidad: En investigaciones previas se encontraron serias limitaciones para el uso de la distancia Euclidiana como variable de impedancia en la modelación gravitacional del movimiento de carga y pasajeros en el espacio geográfico mexicano. En la presente investigación se demuestra que la tarifa de viaje es una variable adecuada para modelar el efecto de la separación espacial entre los orígenes y destinos de la matriz de viajes de pasajeros en México. En la literatura especializada no se encontraron suficientes discusiones académicas sobre las limitaciones de la distancia Euclidiana y las virtudes de la tarifa como variables de impedancia en la modelación gravitacional del transporte aéreo, por lo que el presente trabajo se considera un aporte original al marco teórico de la Geografía del Transporte.

Limitaciones: El estudio se limita al análisis de la movilidad de pasajeros en el ámbito doméstico mexicano, quedando abierta la posibilidad de extenderlo al ámbito internacional.

Implicaciones prácticas: El modelo desarrollado es confiable para hacer pronósticos del flujo de pasajeros entre aeropuertos mexicanos; lo cual es útil para propósitos de planeación del transporte en los niveles institucional y organizacional.

Valor añadido: Se aporta conocimiento al marco teórico de la Geografía del Transporte, sobre las limitaciones de la distancia Euclidiana y las virtudes de la tarifa como variables de impedancia en la modelación gravitacional de la movilidad de personas y carga utilizando el modo de transporte aéreo.

Palabras clave: Geografía del transporte, transporte aéreo, movilidad, interacción espacial, modelo gravitacional, distancia Euclidiana, tarifa de viaje.

1. Introducción

En el análisis espacial de la movilidad de personas y carga es común la utilización del paradigma gravitacional para modelar las interrelaciones entre los orígenes y destinos de la matriz de viajes y estimar la intensidad del transporte que tendrá lugar entre diversos puntos del espacio geográfico.

Los modelos gravitacionales se basan en el principio de que la intensidad de la interacción entre dos localidades es una variable directamente proporcional a la importancia relativa de éstas, e inversamente proporcional al esfuerzo necesario para desplazarse entre ellas.

El esfuerzo requerido para superar el espacio geográfico se ha estimado tradicionalmente mediante la distancia física que las separa (longitud del viaje), suponiendo implícitamente que hay una relación directamente proporcional entre esfuerzo y distancia, y que el espacio geográfico es homogéneo en términos de accesibilidad (Seguí & Martínez, 2004).

La Figura 1 muestra la relación entre intensidad de transporte y longitud de viaje (distancia recorrida), que se puede considerar “típica”, quizás paradigmática, en los modelos de interacción espacial. El principio económico detrás de la relación es que la distancia recorrida implica consumo de recursos y que a mayores recursos requeridos la demanda de transporte es menor, considerando el principio de escasez.

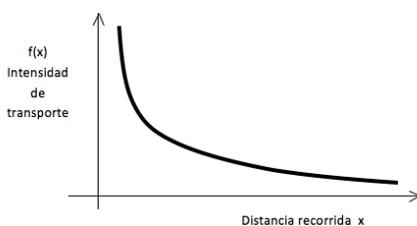


Figura 1. Relación típica entre intensidad de transporte y distancia recorrida

La relación entre la intensidad de flujo de transporte y la variable que mide la disuasión ejercida por la separación física, suele expresarse mediante una “función de impedancia” que puede tomar diversas formas algebraicas, como la del recíproco de la potencia cuadrática (en el caso clásico Newtoniano), alguna otra potencial, o la función exponencial negativa⁶ (Ortúzar & Willumsen, 1994).

⁶ Las dos formas funcionales clásicas son la potencial $f(x) = \alpha x^{-(\beta)}$ $f(x) = \frac{\alpha}{x^\beta}$ y la exponencial: $f(x) = \alpha \exp(-\beta x)$, donde α y β son parámetros a determinar para cada caso particular.

En la curva de la Figura 1 es conveniente observar que los mayores valores de la intensidad de flujo de transporte corresponden a los menores valores de la longitud del viaje y viceversa. Por esta razón, cuando la función es linearizada, por ejemplo, mediante una transformación logarítmica, la correlación entre ambas variables tiende a ser alta, aunque con signo negativo.

La relación “típica” es válida para la mayoría de los modos de transporte, especialmente para los que se desplazan en el medio terrestre; sin embargo, se ha encontrado que no es válida para el transporte aéreo, lo cual se ha confirmado, tanto para el transporte de carga, como de pasajeros, en una serie de estudios publicados previamente (Rico, 2001, 2005, 2007, 2008, 2010; Gradilla & Rico, 2005).

La Figura 2 muestra esquemáticamente la curva que se ha encontrado empíricamente para la relación particular que existe entre la intensidad de flujo de transporte aéreo y la distancia recorrida (Rico, 2008).

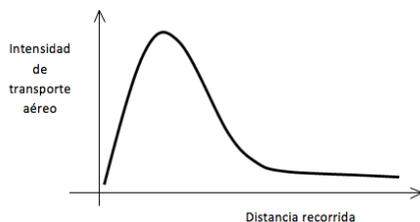


Figura 2. Relación entre intensidad de transporte aéreo y distancia recorrida

La diferencia fundamental entre el caso típico y el caso específico del transporte aéreo se encuentra en la primera parte de la curva, pues para el aerotransporte prácticamente no existen movimientos para distancias de viaje menores a cierta distancia, la cual depende de las peculiaridades geo-económicas de cada región.

La explicación del comportamiento “peculiar” de la intensidad de flujo de transporte aéreo respecto a la longitud del viaje, se centra en dos factores: primero, las características tecnológicas específicas del modo de transporte aéreo y segundo, la presencia del autotransporte como un fuerte competidor (substituto) en las distancias cortas.

En territorios con redes de transporte terrestre desarrolladas, el transporte aéreo resulta entonces poco conveniente para viajes cortos y su ámbito de mayor competitividad se define a partir de cierta distancia de equilibrio, que también depende de las características geo-económicas de cada espacio geográfico.

Desde la perspectiva matemática, en la Figura 2 conviene destacar que a valores pequeños de una de las variables le corresponden valores pequeños de la otra,

pero que existe la misma relación para valores grandes de una de las variables. Dicho comportamiento provoca que la transformación logarítmica de la función tenga una correlación lineal muy baja entre las dos variables.

Una consecuencia importante de la baja correlación, es que si la variable distancia es utilizada como variable independiente en un modelo de regresión lineal, su aportación para explicar el comportamiento de la variable dependiente es casi nula (puesto que hay valores contradictorios) y no es posible rechazar la hipótesis estadística de que su verdadero valor es cero (Rico, 2005, 2008; Gradilla & Rico, 2005).

Dicha situación se ha presentado en varias investigaciones realizadas en el Instituto Mexicano del Transporte sobre el transporte aéreo de carga y pasajeros en México (Rico, 2001, 2005, 2008; Gradilla & Rico, 2005), en las que han sido calibrados modelos gravitacionales mediante funciones de regresión lineal múltiple en las que consistentemente se ha encontrado que la distancia de viaje (Euclidiana) resulta estadísticamente independiente de la intensidad de flujo de transporte, haciendo inadecuada su utilización en los modelos.

En la modelación del transporte se utilizan diversas variables para replicar la resistencia que ofrece el espacio geográfico al movimiento; variables utilizadas comúnmente son el costo de transporte, el tiempo de viaje, el consumo de combustible, etcétera. Incluso, es usual agrupar combinaciones de este tipo de variables en una función de utilidad negativa a la que se denomina “costo generalizado de transporte” (Manheim, 1979; Ben-Akiva & Lerman, 1985), que se puede interpretar como la “distancia económica” entre dos puntos del espacio geográfico (Seguí & Martínez, 2004).

Considerando los malos resultados obtenidos con la variable distancia, se ha realizado una investigación (De Caso, 2012) cuya hipótesis de trabajo fue que la tarifa de viaje (costo para el usuario) tiene un buen desempeño estadístico como variable de impedancia en la modelación gravitacional del transporte aéreo de pasajeros en el ámbito doméstico mexicano. El presente artículo reporta y analiza los resultados de dicha investigación.

2. Modelo utilizado en la investigación

El modelo gravitacional fue propuesto en el campo de la física clásica por Isaac Newton en 1687 y permite calcular la fuerza de atracción gravitacional entre dos cuerpos, como una función de su masa y la distancia que los separa.

El principio gravitacional comenzó a ser utilizado para explicar fenómenos sociales desde finales del siglo XIX y específicamente en modelos de transporte desde principios del siglo XX (Potrikowsky & Taylor, 1984).

La utilización de técnicas cuantitativas en la Geografía del Transporte cobró un gran auge a partir de los años cincuenta del siglo veinte, destacando los trabajos

de Edward L. Ullman, quien desarrolló su conocida triada conceptual para explicar las interrelaciones regionales (complementariedad, transferibilidad, y oportunidad de intervención) con base en el principio gravitacional (Black, 2003).

Para finales de los años sesenta, el avance teórico permitió demostrar que la lógica gravitatoria es consistente con los conceptos y modelos derivados de la mecánica estadística y la optimización matemática (Wilson, 1967, 1970; Evans, 1973).

La estructura matemática del modelo utilizado en la presente investigación respeta las relaciones sistémicas del modelo gravitacional, pero con una forma funcional que permite la calibración de sus parámetros mediante la técnica de optimización por mínimos cuadrados.

El modelo utilizado deriva de una serie de trabajos previos (Rico, 2001, 2005; Gradilla & Rico, 2005), en los que se utilizó un modelo propuesto por Rico (2001), a partir del modelo de Taaffe, Gauthier y O’Kelly (1996).

En la presente investigación se utilizó una función ligeramente modificada (Rico, 2010) que permite aislar el efecto de cada una de las variables:

$$V_{ij} = \alpha \cdot (VG_i)^\beta \cdot (VA_j)^\beta \cdot T_{ij}^\delta \quad (1)$$

donde:

V_{ij} = flujo de pasajeros entre el nodo i-ésimo y el nodo j-ésimo

α = parámetro a obtener por calibración

VG_i = pasajeros “generados” por el nodo i-ésimo

β = parámetro a obtener por calibración

VA_j = pasajeros “atraídos” por el nodo j-ésimo

φ = parámetro a obtener por calibración

T_{ij} = tarifa para transportarse entre el nodo i-ésimo y el j-ésimo

δ = parámetro a obtener por calibración

Al obtener el logaritmo natural en ambos lados de la ecuación (1), se obtiene la ecuación (2), que es la forma log – lineal de la ecuación (1):

$$\ln V_{ij} = \ln \alpha + \beta \ln(VG_i) + \varphi \ln(VA_j) + \delta \ln T_{ij} \quad (2)$$

La ecuación (2) tiene la forma de una función de regresión lineal múltiple (Infante y Zárate, 1990) y por lo tanto puede ser tratada mediante técnicas estadísticas convencionales.

Los mejores estimadores de los parámetros (ordenada al origen y coeficientes) de la ecuación de regresión lineal múltiple, se obtienen a partir de un conjunto de datos empíricos por medio del método de los mínimos cuadrados (Infante, Zárate; 1990).

La estimación mínimo cuadrática ofrece una sólida batería de pruebas estadísticas que permiten evaluar la calidad de los parámetros, así como del ajuste de la regresión respecto a la dispersión de los datos.

En la investigación que se reporta fueron utilizadas las dos pruebas de hipótesis típicas para verificar la significancia de los parámetros de la regresión: la prueba *t* (individual) y la prueba *F* (grupala). La evaluación de la regresión se realizó con base en los coeficientes de correlación y determinación.

3. Los datos para la modelación

Los tres grupos de datos utilizados en el modelo son los “pasajeros generados” en el nodo *i*-ésimo, los “pasajeros atraídos” por el nodo *j*-ésimo y la tarifa de viaje entre los nodos *i*-ésimo y *j*-ésimo.

Los pasajeros generados por el nodo *i*, son el número total (suma) de pasajeros que salieron, en un año en particular, desde un aeropuerto específico hacia cualquier otro aeropuerto de la red estudiada. Por su parte, los pasajeros atraídos por el nodo *j*, son el número total (suma) de pasajeros que llegaron, desde cualquier otro aeropuerto, al aeropuerto en cuestión.

La principal fuente de datos empíricos cuantitativos sobre la aviación comercial en México es la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), misma que mantiene y publica anualmente una base de datos con el número de operaciones, los pasajeros y la carga transportada en cada par origen destino de la red federal aeroportuaria (DGAC, 2012).

La información se ofrece desagregada en las categorías internacional y doméstica, y en las subcategorías de servicio regular y de fletamento; por ello, se encuentra disponible en esos cuatro subconjuntos. Los datos sobre pasajeros utilizados en la presente investigación corresponden al año 2011, mismos que fueron los más recientes en el momento de los análisis.

El ámbito geo-económico del estudio fue el mercado doméstico, por ello los movimientos internacionales fueron excluidos, al igual que los del servicio de fletamento, pues su participación respecto al total es tan minúscula que resulta irrelevante (De Caso, 2012).

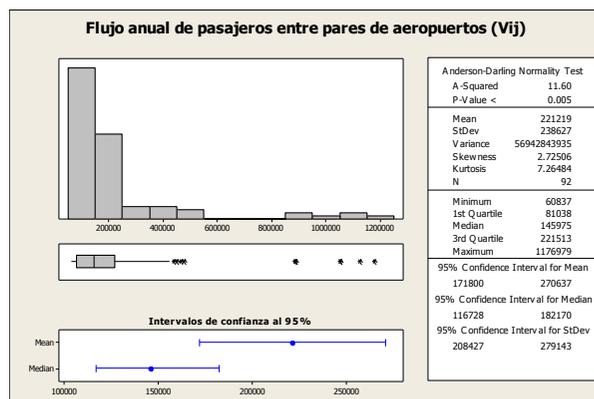


Figura 4. Estadística descriptiva del flujo anual de pasajeros 2011

Para la obtención de las tarifas, se recurrió a los sistemas de consulta y reservación en línea de las empresas aerocomerciales, con lo que se obtuvieron los precios que se ofrecen directamente al público (De Caso, 2012).

Ante la posibilidad de que las tarifas mostraran variaciones importantes dependiendo del tiempo de anticipación al viaje con que se hace la consulta, se hizo una prueba piloto para indagar su comportamiento en función del tiempo. La prueba mostró que las tarifas no varían por el tiempo de anticipación al viaje, sino dependiendo del día de viaje. Consecuentemente, se decidió tomar la muestra con tamaño de una semana (no vacacional), con exactamente un mes de anticipación para la consulta.

Por lo anterior, para cada ruta se obtuvieron datos de tarifas por cada día de la semana y por aerolínea. Los datos se procesaron para obtener la tarifa mínima y máxima, el promedio de las tarifas bajas, el promedio de las tarifas altas y el promedio general.

Para determinar la “tarifa” a utilizar en el modelo, se hizo un análisis de correlación de las tarifas respecto al flujo de pasajeros observado en la ruta, encontrando que la correlación más alta se presenta respecto a la tarifa promedio, siendo dicha variable la utilizada en la modelación.

La Figura 5 muestra un resumen de la estadística descriptiva de las tarifas que fueron utilizadas en el modelo.

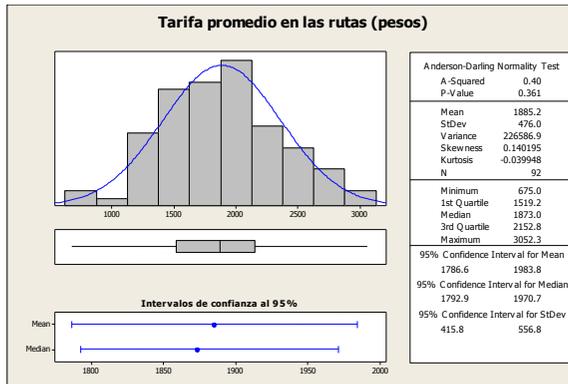


Figura 5. Estadística descriptiva de la tarifa promedio entre pares de ciudades 2012

En la Figura 5 se puede apreciar que el rango de valores de la tarifa promedio va de los 675 a los 3,052 pesos, con un valor medio de 1,885 pesos. Es interesante notar que la prueba Anderson – Darling de bondad de ajuste a la distribución Normal resulta significativa con una probabilidad de aceptación bastante alta.

4. Resultados

El análisis de regresión múltiple dio como resultado los valores de los tres coeficientes y ordenada al origen que se muestran en la Tabla 1.

En dicha Tabla es interesante observar que los coeficientes de los viajes generados y de los viajes atraídos son muy cercanos en valor, lo cual indica que la importancia de los nodos emisor y receptor es muy similar, en cuanto a su poder de explicación de la intensidad de los flujos de pasajeros entre aeropuertos.

Parámetro	Valor
$\ln \alpha$	-1.526
β	0.598
ϕ	0.600
δ	-0.432

Tabla 1. Valores de los coeficientes y ordenada al origen del modelo de regresión múltiple

El signo negativo del coeficiente de la tarifa (δ) es el esperado por su naturaleza de variable de impedancia en la función; por su parte, el valor absoluto del coeficiente (0.432) menor que uno, muestra que el factor de impedancia no es muy intenso, mucho menor a la potencia cuadrática del modelo Newtoniano, lo

cual genera que la movilidad se extienda en el espacio, sin ser fuertemente constreñida por la tarifa de viaje.

Substituyendo los valores de la Tabla 1 en la ecuación (2) se obtiene la expresión calibrada del modelo en su forma log - lineal:

$$\ln V_{ij} = -1.52 + 0.598 \cdot \ln(VG_i) + 0.6 \cdot \ln(VA_j) - 0.432 \cdot \ln T_{ij} \quad (3)$$

Calculando el valor de α , y sustituyendo los valores de los exponentes en la ecuación (1), se obtiene la ecuación (4), que es la expresión calibrada del modelo en su forma original.

$$V_{ij} = 0.218 \cdot (VG_i)^{0.598} \cdot (VA_j)^{0.6} \cdot T_{ij}^{-0.432} \quad (4)$$

La Tabla 2 muestra los valores de los principales indicadores estadísticos de la regresión.

Coefficiente de correlación múltiple	0.8999
Coefficiente de determinación R ²	0.8098
R ² ajustado	0.8033
Error típico	0.3292
Observaciones	92

Tabla 2. Principales indicadores estadísticos del modelo de regresión múltiple

En la Tabla 2 se puede corroborar que el modelo tiene un buen desempeño estadístico, con valores altos de los coeficientes de correlación y determinación. Las variables están altamente correlacionadas en conjunto (0.9) y más del 80% de los datos observados se encuentran dentro del rango de explicación del modelo.

Las Tablas 3 y 4 muestran los resultados de las pruebas paramétricas F y t.

Los resultados mostrados en la Tabla 3 indican que se puede rechazar la hipótesis de que alguno de los parámetros del modelo es igual a cero, pues se cumple sobradamente con el criterio de que el estadístico F, obtenido del comportamiento de los datos, debe ser mayor al valor crítico calculado con la distribución teórica.

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	40.595	13.532	124.869	40.595
Residuos	88	9.536	0.108		9.536
Total	91	50.131			50.131

Tabla 3. Resultados de la prueba paramétrica F (grupal)

La prueba t también ofrece resultados satisfactorios (Tabla 4), al rechazarse con un gran nivel de confianza que alguno de los coeficientes del modelo tenga como verdadero valor cero. Específicamente se observa que los coeficientes de los viajes generados y atraídos tienen probabilidad cero de ser nulos y el coeficiente de la tarifa tiene una probabilidad de 0.002, que es extremadamente baja.

Parámetro	$\ln \alpha$	β	ϕ	δ
Valor	-1.526	0.598	0.6	-0.432
Error típico	1.626	0.037	0.037	0.134
Estadístico t	-0.939	16.135	16.27	-3.213
Probabilidad	0.35	0	0	0.002
Inferior 95%	-4.758	0.524	0.527	-0.699
Superior 95%	1.705	0.672	0.673	-0.165

Tabla 4. Resultados de la prueba paramétrica t (individual)

Respecto a la ordenada al origen, la prueba t es significativa indicando que no se puede rechazar la hipótesis de que su verdadero valor sea cero, lo cual tiene una probabilidad de 0.35. El intervalo de confianza al 95% indica que el valor esperado del parámetro se encuentra entre los valores -4.758 y 1.705, y por lo tanto incluye al cero.

Conviene señalar que un valor de cero para la ordenada al origen del modelo de regresión lineal ($\ln \alpha$) no es insatisfactorio para el desempeño del modelo gravitacional, pues implica que el valor de α es uno (e^0) y por lo tanto que no influye en la determinación de la variable dependiente, al ser un modelo multiplicativo.

Los resultados demuestran que la tarifa tiene un buen desempeño estadístico como variable de impedancia en la modelación gravitacional de los flujos de transporte de pasajeros por el modo aéreo en el mercado doméstico mexicano y confirman la hipótesis de partida de la investigación, además de confirmar que tiene un mejor comportamiento paramétrico que la distancia Euclidiana.

5. Conclusiones

En el análisis de la movilidad de personas y carga es común la utilización del paradigma gravitacional para modelar las interrelaciones que existen entre los orígenes y destinos de los viajes y estimar la intensidad del transporte que tendrá lugar entre diversos puntos del espacio geográfico.

Los modelos gravitacionales se basan en el principio de que la intensidad de la interacción entre dos localidades es una variable directamente proporcional a la importancia relativa de éstas, e inversamente proporcional al esfuerzo necesario para desplazarse entre ellas.

La distancia Euclidiana entre origen y destino ha sido una variable ampliamente utilizada para modelar la impedancia al movimiento, pero se ha demostrado que en el caso del transporte aéreo es inviable su utilización en modelos de regresión lineal, debido a que resulta estadísticamente independiente de la intensidad de los flujos de pasajeros y carga.

Para sustituir a la distancia se pueden usar otras variables relacionadas con el costo o el tiempo de viaje; en la presente investigación se ha utilizado la tarifa que pagan los usuarios para ser transportados entre los aeropuertos de origen y destino.

El modelo utilizado preserva la relación estructural clásica del modelo gravitacional, pero tiene la forma de un modelo de regresión lineal múltiple para facilitar su calibración y evaluación mediante técnicas estadísticas convencionales de ajuste a la dispersión y pruebas de hipótesis.

Los resultados obtenidos indican que el modelo tiene un buen desempeño estadístico de ajuste a la dispersión de los datos y que sus parámetros cumplen satisfactoriamente las condiciones de las pruebas individuales y grupales de contraste de hipótesis.

La hipótesis de partida de que la tarifa puede ser utilizada satisfactoriamente como variable de impedancia en la modelación gravitacional del transporte aéreo de pasajeros ha sido confirmada. Por otra parte, las pruebas sostienen que el modelo propuesto es confiable para elaborar pronósticos de la movilidad de pasajeros en una región, como parte de las labores de planeación del transporte.

5. Referencias

- Ballou, R. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Pearson Education, 6a ed. México.
- Ben-Akiva, M., Lerman, S. (1985). *Discrete Choice Analysis*. The Massachusetts Institute of Technology. MIT Press, Cambridge, Mass.

- Black, W. (2003). *Transportation: A geographical analysis*. Guilford Publications, New York.
- De Caso, R. (2012). *Desempeño de la tarifa de transporte aéreo como variable explicativa de la distribución espacial de viajes de pasajeros en México*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC, 2012). Web page [en línea]. Disponible en: <http://dgac.sct.gob.mx/>
- Evans, S.P. (1973). A relationship between the gravity model for trip distribution and the transportation problem in linear programming. *Transportation Research*, 7, 39-61. Pergamon Press.
- Gradilla, L., Rico, O. (2005). Análisis espacial de la distribución de la carga transportada por aire en México. *Publicación Técnica*, 269. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, México.
- Infante, S., Zárate, G. (1990). *Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario*. 2ª ed. Trillas, México.
- Manheim, M. (1979). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*. Vol I. The Massachusetts Institute of Technology. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Mikkonen, K., Luoma, M. (1999). The parameters of the gravity model are changing – how and why? *Journal of Transport Geography*, 7, 277-283.
- Nijkamp, P.(1978). Gravity and entropy models: The state of the art. *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*, The Hague, Netherlands.
- Ortuzar, J., Willumsen, L. (1994). *Modelling Transport*. 2ª ed. John Wiley & Sons.
- Potrikowsky, M., Taylor, Z. (1984). *Geografía del transporte*. Editorial Ariel S.A., Barcelona.
- Rico, O. (2001). El transporte aéreo de carga doméstica en México. *Publicación Técnica*, 168, Instituto Mexicano del Transporte, México.
- Rico, O. (2005). Análisis espacial del transporte aéreo de carga en México. *Publicación Técnica*, 264. Instituto Mexicano del Transporte, México.
- Rico, O. (2007). On the relationship between distance and cargo flow volume in Mexican Domestic Air Transportation Network. Air Transport Research Society (ATRS). *11th ATRS World Conference 2007*, University of California, Berkeley.
- Rico, O. (2008). Análisis gravitacional de la movilidad de pasajeros en la red doméstica de transporte aéreo en México. *Publicación Técnica*, 320. Instituto Mexicano del Transporte, México.

- Rico, O. (2010). Potencial de la distancia de viaje como variable explicativa de la distribución espacial del transporte aéreo en el territorio mexicano. *Revista Transporte y Territorio*, 2, Universidad de Buenos Aires.
- Seguí, J., Martínez, M. (2004). *Geografía de los Transportes*. Universitat de les Illes Balears, Palma.
- Sen, A., Matuszewsky, Z. (1991). Maximum likelihood estimates of gravity model parameters. *Journal of Regional Science*, 31(4), 469-486.
- Taaffe, E., Gauthier, H., O'Kelly, M. (1996). *Geography of Transportation*. Prentice Hall, New Jersey.
- Wilson, A.G. (1967). A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, 1, 253-269. Pergamon Press.
- Wilson, A.G. (1970). Advances and problems in distribution modelling. *Transportation Research*, 4, 1-18. Pergamon Press.

Why does Congonhas Airport still need a noise monitoring system?: The background noise issue

Fabio Scatolini, Claudio Jorge Pinto Alves

ITA-Aeronautics Institute of Technology, Brasil

Fabio.scatolini@gmail.com, claudioj@ita.br

Abstract

Larger urban airports frequently suffer restrictions in their runway capacities, imposed by environmental reasons. However, the urban growth characteristics of their respective cities might drive to an increase of sound pollution from other sources, particularly traffic vehicles. This non-aircraft noise, also called background noise, may present values so much high that it competes with the air traffic noise.

This study makes a diagnosis of this issue to the Congonhas Airport, São Paulo City, emphasizing the need to implement and operate a noise monitoring system in a permanent basis. Relevant results of a monitoring campaign, carried out between 2009 and 2010, with measurements at 15 locations, are presented and discussed. Most of them presented background noise levels above the permitted limits by national regulation. Once that both air traffic characteristics and urban vehicle traffic has not changed significantly around there, the conclusion leads to think that, although the airport is already operating near to its maximum capacity for a long time, the background noise creates a daily "window", within which the airport operator can work without further concerns about noise pollution.

Keywords: Aircraft noise, Sound Pollution, Environmental Monitoring, Noise Management.

1. Introduction and objectives

The noise generated by aircraft's operation in urban airports is still a cause of much dissatisfaction and annoyance to people living in their neighborhoods. The indirect physiological effects from this human activity, especially those related to interference asleep at night, make major airports in Europe disrupt their operations for a few hours during the night, such as Frankfurt in Germany, London Gatwick in the United Kingdom, among others. Often, there is also competition between economic impact and the environmental (Lu, 2011; Yan, Wang, Wei & Ojang, 2013), leading airport administrations to seek some way to conciliate both (Morrel & Lu, 2000; Nero & Black, 2000; Pushell & Evagelinos, 2012).

However, since the adoption of more stringent noise emission limits for civil aircraft in 2001 by ICAO (International Civil Aviation Organization), the non-aircraft noise, also known as "background noise", it has gained importance in determining noise pollution diagnostics in the vicinity of airports, with respect to the planning of the respective mitigation measures. In tropical countries like Brazil, the intensity of urban noise in general is on the rise (Paz, Ferreira & Zanin, 2005). In European countries, the opposite can be found frequently (Arana, 2010).

Although the aircraft noise cannot, in the short term, be significantly reduced at source, noise monitoring systems at airports remain a useful tool for improving environmental policies at airports administrations (Suau-Sanches, Pallares-Barbera & Paul, 2011). Such systems help to identify critical periods related to the daily annoyance of residents, let to adjust noise contours or noise zoning plans, obtained through mathematical models and noise metrics (Mioduszewski, Ejsmont, Grabowski & Karpinski, 2011) and assist the air traffic control in developing minimal annoyance paths (Prats, Puig, Quevedo & Nejjari, 2010).

The metrics that determine noise annoyance caused by aircraft generally do not consider background noise, which often results in determining problem areas not consistent with local realities. In fact, even the ICAO Document 9829 (INCT, 2013), which shows and describes the concept "Balanced Approach", widely accepted and defended by all actors involved in the problem, does not make considerations on background noise. Therefore, these discrepancies have been better managed by the use of noise monitoring systems, which their compiled results and related opinion surveys applied to the residents (Lim & Kim, 2007), provide a good overview of the problem.

This study aim to show that the background noise related to airport operation plays an important role in the diagnosis of noise pollution in city airports in Brazil. It is proposed an aircraft noise events identification procedure, among the total noise environment, eliminating the use of questionnaires. Congonhas Airport, São Paulo-SP, was used as a case study because it has severe environment restrictions. It remains closed for seven hours daily, since 1995,

making it work, during the remaining hours of the day, near its maximum capacity. An alternative methodology was adopted (mobile stations) to the necessary measurements in order to optimize both the use of the equipment and the time needed to validate samplings, without loss of accuracy.

2. Methodology

It was initially established the study's range, from the Congonhas airport, for monitoring purposes. Noise curves were used according to LDN metric (Day-Night Level), formally adopted by ANAC (National Civil Aviation Agency) (ANAC, 2012). Using the INM software (Integrated Noise Model) of the FAA (Federal Aviation Administration, United States), two closed contours were calculated and drawn around the airport boundaries that represent the connection points with the same LDN, which are presented in Figure 1.

The values of the internal and external contours are respectively 62 and 72 LDN. Because of metrics definition, these values are equivalent to simulated noise levels 57.8 and 67.8 LEq (Harris, 1991), respectively, in a period of 24 hours and produced exclusively by aircraft. These values, although different than advocates ANAC (2012) for the Noise Zoning Plans in airports, are more compatible with national regulations (ABNT, 2000, 1995), which determine significant annoyance for measured LEq values 3 dB (A) above the permitted limit or the background noise (whichever is greater).

Figure 1 shows a map with the noise contours produced for the research and the location of the pre-selected measuring locations over the airport site.

After the aircraft accident in July 2007 (TAM 3054), the maximum number of aircraft operations at Congonhas Airport was limited to 34 per hour, reaching 40 in peak hours (early morning and late afternoon), although the installed infrastructure can support until 50 operations per hour. INM was fed with relevant information on air traffic, in order to consider the maximum capacity established by regulation (210,000 operations / year), and whereas 12% of operation occurring at night time (between 22: 00h and 06: 59h), one that the airport closes daily at 23:00h and re-opens at 06: 00h.

23 locations were pre-selected with the help of maps containing detailed roads and were visited before the start of the measurements. 15 were chosen from them to receive the measurement equipment, taking into account mainly the prevalence of residential outskirts and the potential exposure to noise. The area inside 62 LDN contour was divided into six "sectors", by drawing five lines orthogonally to the runway axis, one runway length away from each other (about 2000 meters). Sectors 00, 03 and 05 were previously disregarded for the study, because the topography favors a strong attenuation of aircraft noise or because the aircrafts flyover residential areas too high. Within sectors 01, 02

and 04, the 15 monitoring sites were chosen in a similar way to described by Carvalho et al. (2014).

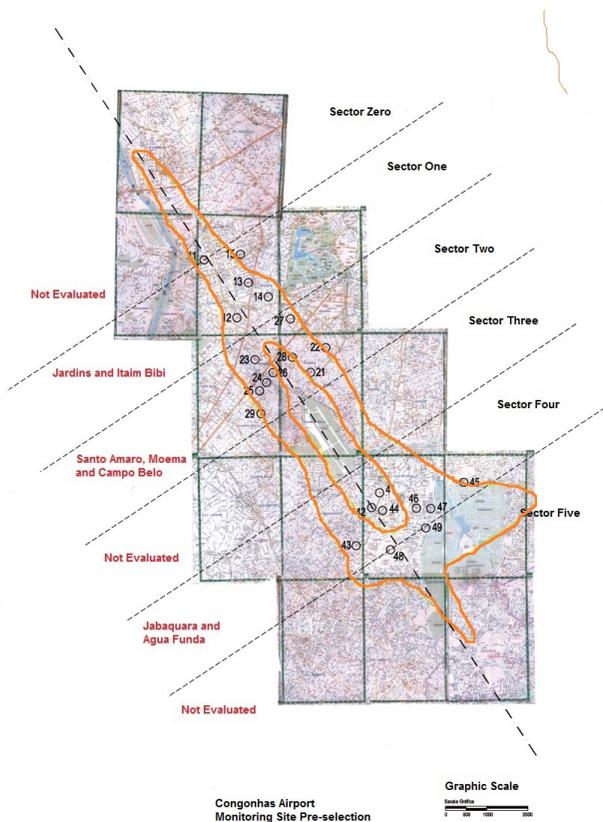


Figura 1. Noise contours for Congonhas Airport (62 e 72 LDN), and the pinpoint of 23 pre-selected measuring sites

Measurements were carried out between May and October 2009, with each location being monitored for at least seven consecutive days, without interruption. The data obtained at that occasion still represent the current situation, once neither the organization nor the urban airport characteristics presented changes that could affect the behavior of noise sources in the surrounding areas. Five noise monitoring stations were used with sound level meters / 824A Larson Davis analyzers and accessories, operating unattended, making three measurement campaigns of five sites each. The meters were programmed to record all derived units of decibels allowed by the equipment,

and store all snapshots of noise, taken at one-second intervals in order to enable the preparation of subsequent calculations when necessary.

The equipment was programmed to detect characteristics of time duration and sound intensity, at each location, and record separately the noise levels produced by the aircrafts from the total noise measurement, which are very unique when compared to other mobile sources. Each record of this kind, called "event" for the machine's memory, had his instantaneous levels took every second also recorded, allowing the calculation of L_{Eq} and, especially, the SEL (Sound Exposure Level) (Harris, 1991) of each flyover, and identified through data cross-analysis of TWR reports, provided by the airport administrator (Infraero). Being an airport that operates a few diversified fleet, it is not necessary to use more elaborated segregation processes (Ascensio, Ruiz & Recuero, 2010; Genescà, Romeu, Pamies & Sanches, 2009).

The SEL values of aircraft events were accumulated in one hour time periods and, after measurements, logarithmically subtracted from the SEL values of total noise, to obtain the "background noise" in each period. It was considered, as the most relevant results, events recorded between 06:00h and 12:00h on Sunday, because that tends to be the week's period of lower traffic noise in the vicinity of Congonhas Airport. This enables a better identification and isolation of events, resulting in a more accurate SEL calculation of them. In turn, the event SEL values can be extrapolated to other periods in the remaining days of the week, when the background noise rises and interferes the events identification and segregation. As the small aircraft operations is limited to only four operations per hour (landing + takeoff), it was considered to them the same SEL values then the greater aircrafts (worst case scenario). Approximately 80% of traffic is performed with Airbus aircraft series 320 and Boeing 737 NG family, very similar in size and noise emission.

The sampling period of seven consecutive days was chosen because it captures all relevant events in a major city's routine. After this period, ambient noise levels tend to repeat its behavior, turning unnecessary to extend the measurements, to get up good preliminary diagnosis. The noise data analysis of each site measured took into consideration a national standard (ABNT, 1995), which helps diagnose the situation without the need of surveys (more subjective). According to standard, it is considered noise pollution as significant when the L_{Eq} noise of interest is nominally above 3 dB (A) from background noise L_{Eq} (double, in the decibel scale).

The respective METAR (Meteorological Aerodrome Reports), prepared by air traffic control, also were assessed, to exclude of analysis periods that presented not valid weather (wind above 9 km/h or rain) or short-term wind reversals, that can change takeoff and landing trajectories.

Monitoring site	Valid Sampling (hours)	AVG Total Noise (dB/h)	AVG Min / AVG Máx (dB/h)	AVG of hourly flyovers	AVG Background Noise (dB/h)	AVG nominal differences (dB)	Remarks
11- Anne Frank Public Library	56	61,3	53,8 / 65,5	14	55,8	5,4	Only residential use permitted. Background noise 1 dB(A) above limit.
13- São Germano Clinic	56	59,9	53,8 / 64,1	14	57,3	2,6	Residential and commercial use. Total environment noise at the maximum limit.
12- D'Alquimin Bastos Elementary and Medium School	71	65,3	59,5 / 67,6	15	58,1	7,2	Located under the runway axis. Residential and commercial use. Moderate to intense traffic.
23- Napoleão de Carvalho Freire High School	59	60,6	54,8 / 64,1	14	56,5	4,1	Only residential use permitted. Background noise 1.5 dB(A) above limit.
27- N. S. Aparecida School	58	54,7	42,5 / 63,7	14	54,7	ZERO	Evaluated during winter school vacation. Residential and commercial use. Aircraft noise blocked by neighbour buildings.
25- Pinheiros Orthopedic Clinic	45	61,4	56,5 / 64,4	18	56,5	4,8	Residential and commercial use. Street pavement old, made with Stone Blocks. Moderate to intense traffic.
21- Brandão	118	62,6	53,4 / 72,9	16	61,8	0,8	Residential and commercial use. Favorable geography to airport noise reduction. Background noise 1.8 dB(A) above limit.
26- Augusto Laranja High School	112	65,5	59,9 / 70,8	16	62,4	3,1	Only residential use permitted. Located under the runway axis. Background noise 2.4 dB(A) above limit.
28- Ibirapuera College	118	63,8	58,6 / 69,7	16	62,5	1,3	Residential and commercial use. Route of many bus lines. Background noise 2.5 dB(A) above limit.
29- Chiquinha Rodrigues Elementary School	113	60,7	52,3 / 69,1	16	57,0	3,7	Residential and commercial use. Street pavement old, made with Stone Blocks. Moderate to intense traffic.
48- Armando de Arruda Pereira Medium and High School	64	62,9	58,8 / 70,8	18	58,7	4,2	Only residential use permitted. Unfavorable geography to noise attenuation or reduce noise perception. Very sensitive between 19:00h and 21:00h with head inversion. Background noise 3 dB(A) above limit.
41- Montessori School	70	65,7	53,8 / 71,1	17	64,8	0,9	Residential and commercial use. Route of bus lines. Moderate traffic. Evaluated during winter school vacation.
44- N. S. de Lourdes Hospital	51	61,3	56,7 / 68,1	17	59,2	2,1	Residential and commercial use. Located under the runway axis. Hospital Access traffic is confused, even during the weekends
45- Institute of Botany	70	53,7	41,2 / 63,1	16	undetermined	ZERO	Aircrafts taking off very high. No vehicle traffic vehicles. Aircraft noise unreliable.
49- N. S. das Graças Elementary School	21	67,1	61,6 / 79,5	17	62,9	4,2	Highway noise near the site very present. Small sampling due maintenance activities near the equipment. Background noise 7 dB(A) above limit.

Table 1. Results of 15 sites evaluated

3. Results and analysis

Table 1 summarizes the results for the 15 sites evaluated. On average, each site obtained 70 hours of measurement considered valid, from the 168 actually performed. Two factors have reduced the samples: the daily closing period of runway and periods when weather conditions are presented unfavorable (rain or wind reversing runway direction). Among the valid measurements, it was observed that the background noise had values above the recommended by the national legislation in seven of 15 locations (sites 11, 21, 25, 28, 29, 48 and 49). They are close to major avenues and are exposed to a significant noise generated by cars and motorcycles, seeking alternative routes to the main roads, usually congested.

As for the remaining eight sites, four had moderate to low perception of aircraft noise (sites 13, 27, 41 and 45), caused by the existence of obstacles to sound propagation, favorable topography to attenuation, or aircrafts overflying the ground too high. Only in the last four places there is a clear contribution of air traffic in noise annoyance, either due to proximity to the airport, either due to the low altitude of flyovers (sites 12, 23, 26 and 44).

Even in places where there was great contribution of aircraft noise in the total noise, it was observed that between 09:00h and 21:00h, the one-hour LEq for the total noise presented values above 65 dB(A), with the one-hour LEq background noise above 60 dB(A). This occurs due to the noise generated by urban vehicle traffic, which increases with the number of vehicles in circulation, particularly the amount of motorcycles. From 2001 to 2012, the number of cars and SUV's licensees in São Paulo city has doubled, while the number of motorcycles was multiplied by five (INCT, 2013). Another relevant factor is that the models of motorcycles up to 175 cc (the most sold models) may emit up to 3 dB(A) more than the cars (CONAMA, 2000). This means that each motorcycle added in the current fleet leads to an increase equivalent of 10 cars in the potential noise emission.

Figure 2 shows the total noise one-time LEq's to one of four sites presenting greatest contribution of aircraft noise (site 23). It is observed that, neither during Sunday, the total average noise presented values below the respective regulatory limits (LEq criterion levels of 50 dB(A) between 07:00h and 21:59-day and 45 dB(A) from 22:00h and 06:59h-night).

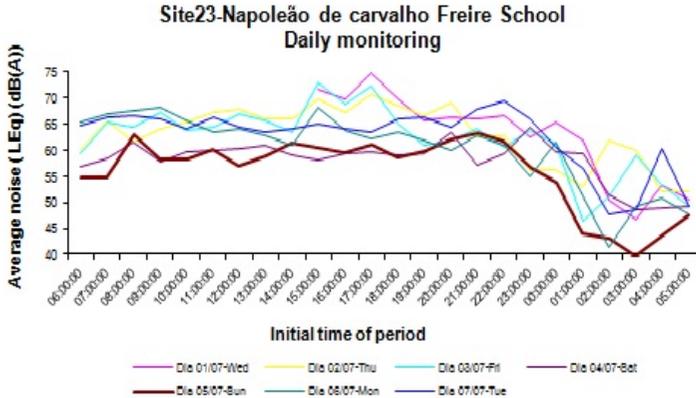


Figure 2. Behavior of one-hour average level of total environment noise - Site 23

A strong decrease in the total noise environment can be observed after 21:00h in almost all measured sites. A phenomenon that can be explained not only by the reduction of airport activity (between 21:00h and 23:00h the movement of aircraft also decreases) as well as by the decrease in traffic on alternative routes, although the main avenues have high volumes. During the night, the driver's behavior tends to be to stay in the main corridors for security reasons (better lighting, policing, etc.). This suggests the possibility of airport noise monitoring help to determine the effects on the time of day, as shown by Brooker (2010) as far as the existence of peculiar noise changes in the boundaries of the airport closure (Ouehl & Basner, 2006).

Monitoring also provides aids to strengthen the claim of the surrounding residents, who feel more annoyed between 06:00h and 07:00h and between 21:00h and 23:00h. This is an argument often raised in public hearings on the noise pollution caused by the airport. In site 23, highlighted to this article discussion, run a public school in an exclusive residential area with low traffic volumes. Compatibility with the regulatory limits was only observed between 01:00h and 06:00h. As the airport's activity ceases at 23:00h, you can infer that the local the background noise is high also in those periods.

On July 5, 2009, Sunday, between 06:00h and 11:00h, the programming equipment to detect occurrences involving aircraft has registered 31 events with instant noise levels above the environment noise level for more than 22 consecutive seconds, and were assigned to aircrafts performing landing procedure. Whereas all valid sample an average of 14 flyovers per hour were recorded, calculating as an average SEL 81.6 dB (A) for each flyover and 59 hours of valid measurement. When subtracting the noise of aircraft in each valid hour

monitored from the respective total environment noise, the result is the background noise LEq, which is shown in Figure 3.

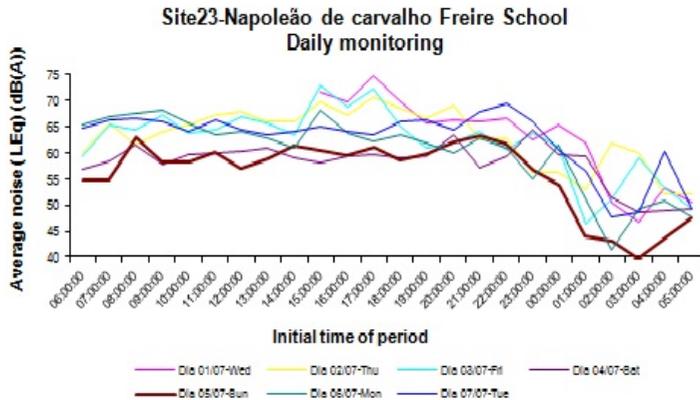


Figure 3. (Discontinued sampling) Nominal differences between total environment noise and background noise to monitoring site 23

The background noise LEq exceeds 6 dB(A) the regulatory limit in many periods of a valid hours (clear line), and the differences related to the total noise LEq (dark line) are large, which sets up a strong influence of the airport operation in the annoyance perception at this particular site. The biggest differences between the total noise and the background noise are in the airport closure limits, particularly early in the morning (between 06:00h and 08:00h).

Nevertheless, the population is not unanimous on the contrary manifest airport operation. They claim to a closing period of two hours larger than the current through the opening time going from 06:00h to 07:00h and closing time from 23:00h to 22:00h. Besides allowing a better adequacy of the airport to the noise pollution national regulations, this claim, in a way, is compatible with the measurement results. To a greater or lesser degree, this was a recurring situation at the remaining 14 sites monitored for this study.

4. Conclusions

In the way it stands, therefore, the background noise surrounding the Congonhas Airport offers conditions so that this urban equipment can operate between 07:00h and 21:00h without generating higher negative sound effects. This daily window still occurs regardless of seasonal variations as can be seen, for example, in South Korea (Lim & Kim, 2007) and Poland (Mioduszewski,

Ejsmont, Grabowski & Karpinski, 2011). The diagnostic parameters recommended by national regulation (ABNT, 1995) were also efficient enough to dispense the use of population surveys, which are a more subjective source of information.

It is still observed that much of the recorded background noise should be related to the increase in motorcycle traffic, which are being used to replace the deficient public transport system. This fact raises the potential for harm to public health in many other ways, because motorcycles can emit more noise and air contaminants for regulation, and increase emergency care costs, due to the increase in the number of traffic accidents involving motorcycle drivers.

It is therefore a vicious circle that increasingly affects people's health. The increase in the background noise levels is harmful in itself, but in this case it even enables to a increase in the airport number of operations. This is another reason why airport noise should be taken more into consideration by the Brazilian airport authorities, fact that only will come true when noise monitoring activities come to be mandatory.

5. Acknowledgments

This study is part of D. Sc. thesis research developed by the first author, who would like to thank the Aeronautics Institute of Technology (ITA) for the opportunity, and the CAPES (Brazilian Education Ministry) for the financial support.

6. References

- Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (2012). RBAC 161: *Planos de Zoneamento de Ruído*. Brasília.
- Arana, M. (2010). Are the urban noise levels decreasing?. *Journal of the Acoustical Society of America*, 127(4), 2107-2109.
- Ascensio, C., Ruiz, M., Recuero, M. (2010). Real-time aircraft noise likeness detector. *Applied Acoustics*, 71, 539-545.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1995). NBR-13368: *Ruído aeronáutico-Monitoramento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2000). NBR-10151. *Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*. Rio de Janeiro.
- Brooker, P. (2010). Aircraft noise annoyance estimation: UK time-pattern effects. *Applied Acoustics*, 71, 661-667.

- Carvalho, L.A. et al (2014). A complementary metric to define a buffer zone in Brazilian airports. *Journal of Transport Literature*, 8(4), 316-328.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (2000). *Resolução 272: Limites de emissão de ruído para veículos novos*. Brasília.
- Genescà, M., Romeu, J., Pamies, T., Sanches, A. (2009). Real-time aircraft fly-over noise discrimination. *Journal of Sound and Vibration*, 323, 112-129.
- Harris, C.M. (1991). *Handbook of noise control*. (2 Ed.). New York: McGraw Hill. 1991. ch 34, 35, 38, 39.
- Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) (2013). *Relatório-Evolução da frota de automóveis e motos no Brasil, 2001-2012*. Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.observatoriodasmetrosoles.net/download/auto_motos2013.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2007) DOC 9829: *Balanced Approach Guidance*. Montreal.
- Lim, C., Kim, J. (2007). Effect of background noise levels on community annoyance from aircraft noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123, 766-771.
- Lu, C. (2011). The economic benefits and environmental costs of airport operations: Taiwan Taoyuan International Airport. *Journal of Air Transport Management*, 17, 360-363.
- Mioduszewski, P., Ejsmont, J.A., Grabowski, J., Karpinski, D. (2011). Noise map validation by continuous noise monitoring. *Applied Acoustics*, 72, 582 -589.
- Morrel, P., Lu, C. (2000) Aircraft noise social cost and charge mechanisms: A case study of Amsterdam Airport Schiphol. *Transportation Research*, Part D 5, 305-320.
- Nero, G., Black, J.A. (2000) A critical examination of an airport mitigation scheme and an aircraft noise charge: The case of capacity expansion and externalities at Sydney (Kingsford Smith) airport. *Transportation Research*, Part D 5, 433-461.
- Paz, E.C., Ferreira, A.M.C., Zanin, P.H.T. (2005) Estudo comparativo da percepção do ruído urbano. *Revista de Saúde Pública da USP*, 39(3), 467-472.
- Prats, X., Puig, V., Quevedo, J., Nejjari, F. (2010). Multi -objective optimization for aircraft departure trajectories minimizing noise annoyance. *Transportation Research*, Part C 18, 975-989.
- Pushell, R., Evangelinos, C. (2012) Evaluating noise annoyance cost recovery at Düsseldorf International Airport. *Transportation Research*, Part D 17, 598-604.

- Quehl, J., Basner, M. (2006) Annoyance from nocturnal aircraft noise exposure: Laboratory and field specific dose-response curves. *Journal of Environmental Psychology*, 26, 127-140.
- Suau-Sanches, P., Pallares-Barbera, M., Paul, V. (2011). Incorporating annoyance in airport environmental policy: noise, societal response and community participation. *Journal of Transport Geography*, 19, 275-284.
- Yan, H.K., Wang, N., Wei, L., Qjang, F. (2013). Comparing aircraft noise pollution and cost -risk Effects of inland and offshore airports: The case of Dalian International Airport, Dalian, China. *Transportation Research, Part D* 24, 37-43.

A spatial analysis of non acoustical factors related to aircraft noise

Gustavo Sobreiro Santos, Luciana Lins de Mello, Rogéria Arantes Gomes

Aeronautics Institute of Technology, Brazil.

Gustavo.sobreiro@gmail.com, mellolu@yahoo.com, rogeria@ita.br

Abstract

Environmental noise causes several disorders in human activities. For this reason, there is a concern about noise limits around airports. The definition of the noise-impacted area is essential to implement measures to mitigate people's annoyance. However, the current mathematical methods present poor correlation with self-reported noise annoyance around airports. This work aimed to propose an alternative method to delimit the noise-affected area by means of Linear Regression model and Geographically Weighted Regression (GWR). These methods were compared to find possible non-stationary relations between the annoyance of the population and the explanatory variables. It was analyzed the correlations between self-reported annoyance in São José dos Campos City, located in São Paulo State, in Brazil, and variables related with acoustic, physical and socioeconomic indexes of the region. The linear model explained 63% of the observations related with noise annoyance. The results show significant correlations between the discomfort and selected variables as noise level, greening degree of the region, vertical buildings presence, avenues distance, hospital distance and banks distance. Since the model can be considered efficient to verify, by means of the statistical significance, the influence of these variables on the perception of discomfort, it can subsidize stakeholders to implement noise mitigation measures even when there is no opportunity to reduce the aircraft operations in the airport. The advantage of this GWR proposed model is to present options to reduce the annoyance focusing on factors that can affect people's perception.

Keywords: Geographic Weight Regression, Aircraft Noise, Spatial Analysis, Noise Annoyance, Land Use and occupancy

1. Introduction

According to Cohen and Coughlin (2008), few studies address the airport noise from the spatial analysis perspective. In addition, those studies generally aimed to quantify the influence of noise in housing prices (Kawamura, 2005; Dekkers & Van der Straaten, 2009; Day et al., 2007; Salvi, 2007).

In regression models focused on geographical locations, sometimes regression coefficients do not remain fixed over space. The Geographically Weighted Regression is a technique described by Brunson et al. (1998) for exploring this phenomenon. Since then the use of GWR is been able to map non-stationary effects on several studies. In a specific way, hedonic pricing houses and the effect of noise in different locations in Barcelona, Spain, were measured by using GWR (Marmolejo Duarte & González Tamez, 2009).

Further, there is a lack of studies aimed to analyze the relationship between noise level and annoyance in Brazil. Schreckenber and Meis (2007) show the most relevant relationships found in different airports around the Europe. The Figure 1 shows that the population's annoyance intensity is not explicit related with the noise level increase in decibels.

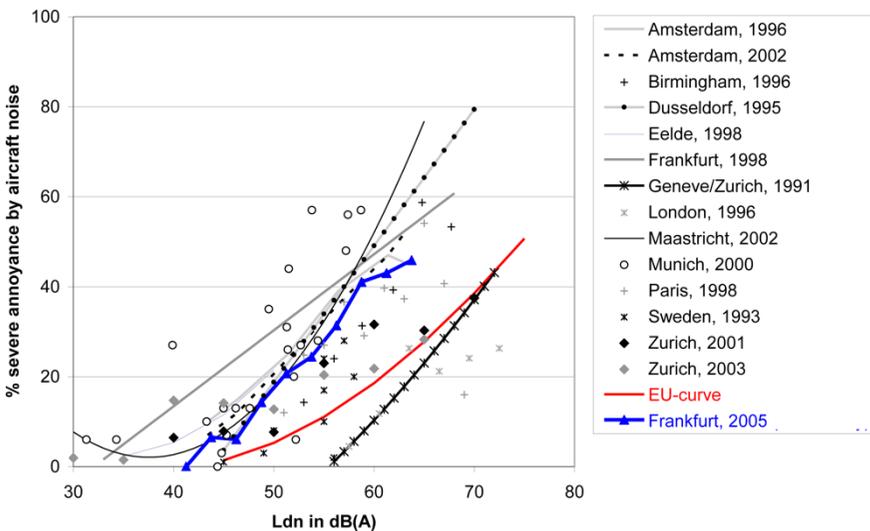


Figure 1. Dispersion models annoyance found in many countries Schreckenber and Meis (2007)

Models that measure the area impacted by aircraft noise are still different when compared to self-report annoyance near airports because they take into account only the acoustic factors and some subjective aspects of the annoyance are not considered.

The noise curves generally correspond to an area with different land uses and residents from several cultures and social patterns. These factors also influence the perception of aircraft noise, representing a complex degree to predict the area covered by noise impact mitigate programs. Noise perception and annoyance do not depend only on the intensity and frequency of the sound (Burns, 1968; Smith et al., 1996; Zaporozhets & Tokarev, 1998; Eller et al., 2003). It suggests that is necessary to improve the mathematical models by incorporating people perception. So the noise impacted area definition would be most precise and the restriction on land-use due aircraft noise could be more effective.

2. Objective

This work aimed to propose an alternative method to delimit the noise-affected area by means of Linear Regression model and Geographically Weighted Regression (GWR) using non acoustical variables and spatial data from a survey conducted in São José dos Campos City.

3. Method and data

Miedema and Vos (1999) investigated the effect of demographic variables (gender, age, education level, occupational status, size of household, homeownership, dependency on the noise source, and use of the noise source). They found significant correlation between population age and the annoyance caused by aircraft noise. In the same way some of these variables were tested around São José dos Campos Airport. The income and the percentage of elder people were added as variables in this model to investigate if these groups react more severely to aircraft noise.

Marmolejo Duarte and González Tamez (2009) found areas with different noise sensibilities. Those areas located along the main avenues had a larger negative impact. However, this also occurs in the relatively quiet locations, which is characterized by a high presence of bars, restaurants, outdoor cafes and pedestrian traffic.

The proximity of avenues were also added in the model of São José dos Campos to know if this variable can influence the number of people reporting annoyance. Some other environment variables were tested in this study in a similar way. The percentage of tall buildings in an area, the areas near hospitals (usually marked with noise restrictions), the presence of banks (usually features a more commercial use) and the presence of trees (acts as an acoustic barrier to noise).

Therefore, the variables were firstly placed in a multivariate linear regression to explain the annoyance variable in the equation 1 as follows:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (1)$$

Where,

Y_i is the annoyance variable;

β_0 is a constant;

X_1, X_2, \dots, X_n are the predictor variables used;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ are the coefficients;

ε is the residual.

However, the linear regression presupposes a stationary coefficient effect that means the regression coefficients do not remain fixed over space. To check if there is spatial correlation in the model we can apply the Global Moran test on residual.

The values of the Global Moran index ranging from -1 to 1. Positive values correspond to a direct autocorrelation, inverse autocorrelation negative values, and the null hypothesis means spatial independence.

The GWR model (Geographically Weighted Regression) can be applied to explore the places where the β_n coefficients assume large or small values according to location and it resolves spatial dependencies (i.e. spatial autocorrelation). The GWR was developed in order to study a phenomenon that suffers variations according to the area. That is a way to observe the spatial heterogeneity. With this method you can also see the places where the coefficients are significant.

In summary, the essence of GWR is to address the issue of spatial non-stationary directly and allow the relationships to vary over space. So we have the hedonic price on equation 1, annoyance Y in a location i depends on a set of variables X_{in} , and β_{in} are calculated through the Equation 2.

$$\beta_i = (X^T W_i X)^{-1} X^T W_i P \quad (2)$$

$$W_i = \begin{pmatrix} w_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_{i2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & w_{ij} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$w_{ij} = \left\{ 1 - \left(\frac{d_{ij}}{h_i} \right)^2 \right\}^2 \quad \text{if } d_{ij} < h_i \quad \text{otherwise} = 0 \quad (4)$$

W at Equation 3 is the weighting space matrix, i is the pivotal point of the regression, j is each of the n observations included in the local regression and h is the distance from the n th j point.

The data collected to test the influence in annoyance reporting by people living close to São José dos Campos Airport were:

1. Percentage of elder people by census tract (IBGE, 2011);
2. Percentage of tall buildings (IBGE, 2011);
3. Avenues of São José dos Campos (PMSJC, 2011);
4. Hospitals of São José dos Campos (PMSJC, 2011);
5. Banks locations of São José dos Campos (PMSJC, 2011);
6. Average income per census tract (IBGE, 2011);
7. Percent of houses that have trees in confronting face (IBGE, 2011);
8. Annoyance expressed by Kernel density obtained in interviews.

The use of Kernel Density Estimator (KDE) method was made because the raw data of reports of annoyance for the population showed a large randomness compared to the noise level in decibels, and the number of samples is still small. This strategy is different of used by Schultz (1978) that clusters the data into high annoyed percentage (%HA). Figure 2 shows the transformation made by kernel density method. The locations that have high annoyed people are marked as a high kernel density.

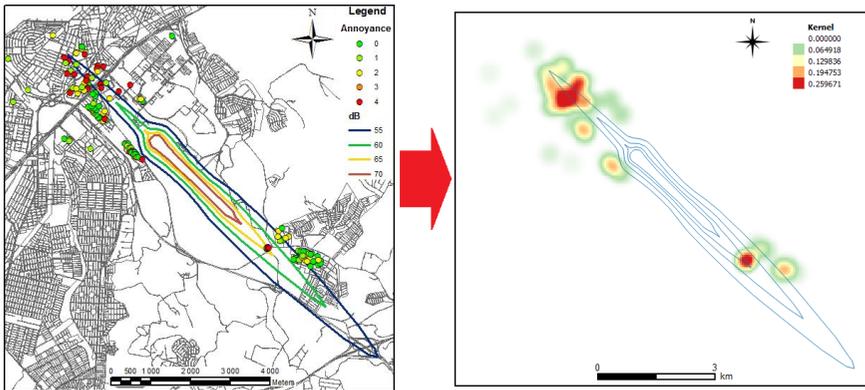


Figure 2. Application of Kernel density for reported annoyance

4. Results

The results of linear regression showed that the model explained 62.5% of the variation in the annoyance data. In Table 1, there are the detailed results of the regression.

Residual (ϵ)	Min	Medium	Max	
	-6.78e-005	2.23e-006	5.39e-005	
Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	P > t
α	1.458e-05	1.766e-05	0.826	0.410547
β_1 (dB)	1.414e-06	2.583e-07	5.472	2.28e-007***
β_2 (Elderly)	4.064e-05	4.329e-05	0.939	0.349644
β_2 (T.Building)	4.120e-05	1.174e-05	3.508	0.000626***
β_2 (Avenues)	-3.607e-08	1.546e-08	-2.333	0.021193*
β_2 (Hospitals)	-3.611e-08	4.310e-09	-8.378	8.58e-14***
β_2 (Banks)	4.119e-08	5.235e-09	7.869	1.36e-12***
β_2 (Average Income)	-3.754e-09	2.586e-09	-1.452	0.148999
β_2 (Trees)	-2.350e-05	8.432e-06	-2.787	0.006143**
Significance	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Residual standard deviation: 2.139e-05 on 127 degrees of freedom				
R ² : 0,6472		R ² adjusted: 0,625		

Table 1. Linear Regression Results

It is observed that the percentage of elder people and the income had no statistical significance. Although they were found to be related to the noise sensibility in many studies it's not conclusive in this work. These data are related to the average of sectors at São José dos Campos, maybe if the information

were direct collected from questionnaires, it could show a different result depending on the size of the sample.

The noise level (dB) is direct related with the annoyance, so the positive sign is within the expected result. The statistical significance is strong validating the noise contours and confirming the literature about the relation between aircraft noise and the annoyance. But it is verified that the exposition to the noise is not sufficient to measure people's annoyance.

The coefficient of the percentage of tall buildings is also positive and it suggests that people living in places with a vertical expansion could report more annoyance. This variable can usually be placed with the noise curves through digital terrain model, but it needs to be very detailed and it is not found often in Brazil.

The model shows that with a closer distance from avenues people reports more annoyance. Although it is expected that noise from different sources decrease the noise sensibility, it shows that the relation could be the inverse. People could turn more intolerant with several noise sources together.

Since areas near hospitals have usually noise restrictions, the negative coefficient sign indicates that it could increase the aircraft noise perception and the number of annoyed people should increase.

In locations closer from banks there is a minor annoyance. It seems like the commercial land use in those areas decreases the aircraft noise complains. It is not conclusive because this variable is just a proxy for areas with high pedestrian flows and high number of business activities.

The existence of trees shows inverse correlation with annoyance. The treetops probably serve as acoustic barrier to aircraft noise.

To find out if there is spatial correlation in 38% of the data that were not explained by the model, we observed the residuals spatial distribution, shown in Figure 3. Some residual points seem to be clustered like the blue ones. To test the autocorrelation numerically the Moran Test was applied.

To interpret the Table 2 it is necessary know that a zero value indicates a random spatial pattern. The Global Moran test applied on residuals from linear regression shows an estimated value of 0,59 which indicates a great autocorrelation.

Then the same variables were included in the GWR model to observe more details of the coefficients behavior and significance level in different locations in São José dos Campos city. The results are shown in Table 3.

The best way to interpret the results in Geographically Weighted Regression is mapping coefficients for each point. Likewise it is also possible to see where the coefficients are significant or not. Figure 4 shows the values and the location of coefficients house's trees variable.

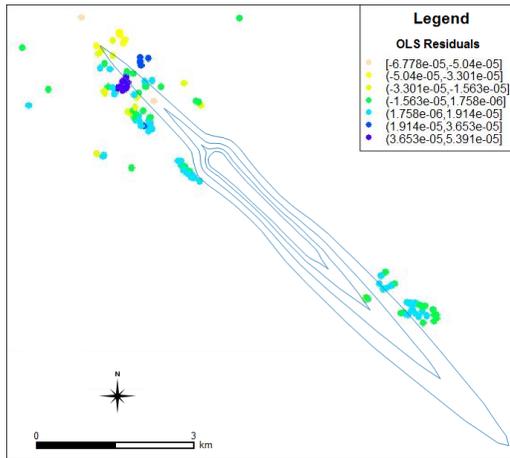


Figure 3. Distribution of residuals from linear regression

Moran Test	Estimated	Variance	p value
	0.586205416	0.0021727	2.2e-16

Table 2. Global Moran test

	Minimum	1st Qu.	Medium	3rd Qu.	Maximum
α	-6.884e-05	-2.771e-06	8.099e-05	1.303e-04	4.799e-04
β_1 (dB)	-1.626e-06	-2.892e-07	7.957e-08	6.244e-07	2.138e-06
β_2 (Elderly)	-5.495e-04	-1.425e-04	1.630e-05	1.687e-04	4.070e-04
β_2 (Ap.)	-1.376e-04	2.711e-06	4.542e-05	1.372e-04	2.119e-03
β_2 (Avenues)	-1.917e-07	-4.577e-08	3.118e-08	7.869e-08	1.315e-07
β_2 (Hospitals)	-2.567e-07	-7.680e-08	-2.460e-08	1.029e-08	1.223e-07
β_2 (Banks)	-1.398e-07	-1.319e-09	3.887e-08	6.260e-08	2.330e-07
β_2 (Average Income)	-3.424e-08	-1.438e-09	6.923e-09	1.794e-08	1.826e-07
β_2 (Trees)	-1.555e-04	-7.795e-05	-2.534e-05	5.224e-06	4.822e-05

Table 3. Variation in Geographically Weighted Regression coefficients

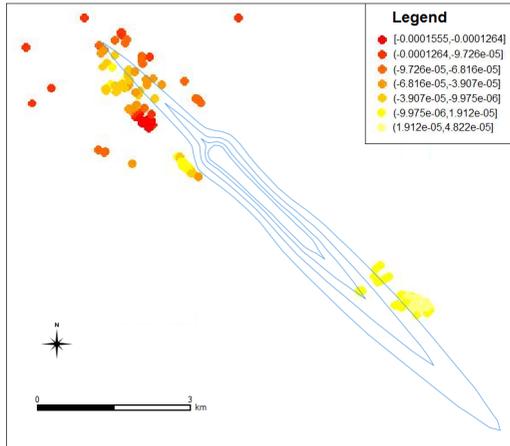


Figure 4. Location of the house's trees variable GWR coefficients

In the reddest dots at Figure 4, the coefficient values are more negative, which means that at those points the presence of trees in the properties reduces more the annoyance caused by aircraft noise.

Since Geographically Weighted Regression for each point generates a standard deviation coefficient, it is possible to find the t-value significance level. The observations made in Southeast sector at Figure 5 shows that the variable representing the house's trees index was not significant in a $t\text{-value} > |2|$. Not coincidentally, these sites had coefficients closer to zero, suggesting that at those places the number of houses with trees does not influence the population's annoyance.

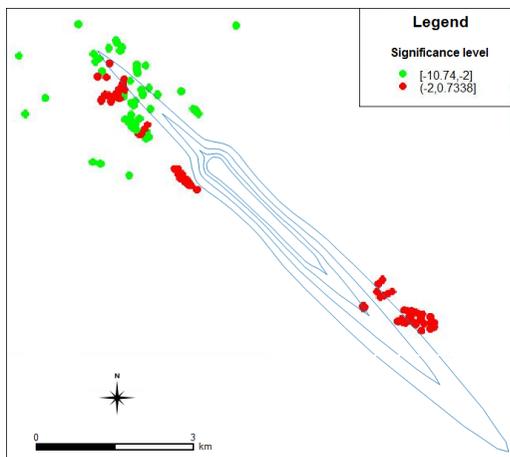


Figure 5. Points with a significant coefficient value $t > |2|$

5. Conclusions

Despite of show little correlation with aircraft noise level value, the data reports hassle of São José dos Campos can be explored in this work. The secondary variable annoyance Kernel density proved to be valid to establish relationships with other factors that influence the noise perception.

Among the factors analyzed, the noise level in dB, the number of trees, the number of tall buildings, the distance of the main avenues, the distance from hospitals and banks, were statistically significant in a linear model. Spatial heterogeneity can modify the intensity of aircraft noise annoyance according to different locations along the cities.

The GWR model proved to be an important tool to solve space dependency issues and to locate the different coefficients values. The model also identifies in which places the variables are getting problems with statistical significance.

The results are not much representative, since the number of samples for the surroundings of São José dos Campos Airport is still low. But the use of Spatial Regression methods helps to guide steps for future works.

6. References

- Brunsdon, C., Fotheringham, S., Charlton, M. (1998). Geographically weighted regression. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 47(3), 431-443.
- Burns, W. (1968). *Noise and man*. London: John Murray
- Cellmer, R. (2011). Spatial Analysis of the Effect of Noise on the Prices and Value of Residential Real Estates. *Geomatics and Environmental Engineering*, 5(4).
- Cohen, J.P., Coughlin, C.C. (2008). Spatial hedonic models of airport noise, proximity, and housing prices. *Journal of Regional Science*, 48(5), 859-878.
- Day, B., Bateman, I., Lake, I., (2007). Beyond implicit prices: recovering theoretically consistent and transferable values for noise avoidance from a hedonic property price model. *Environmental and Resource Economics*, 37, 211-232.
- Dekkers, J.E., van der Straaten, J.W. (2009). Monetary valuation of aircraft noise: A hedonic analysis around Amsterdam airport. *Ecological Economics*, 68(11), 2850-2858.
- Duarte, C.M.; Tamez, C.G. (2009) Does noise have stationary impact on residential values? *Journal of European Real Estate Research*, 2(3), 259-279.

- Eller, R.A., Urbina, L.M., Porto, P.P., Branco, R.C. (2003, July). Aircraft noise perception study in Brazil: A perspective on airport sustainable growth and environmental awareness. *In Proceedings of the 2003 Air Transport Research Society World Conference, France, 1, 25* (Vol. 30).
- Kawamura, K., Mahajan, S. (2005). Hedonic Analysis of Impacts of Traffic Volumes on Property Values. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1924, 69-75*.
- Marmolejo Duarte, C., González Tamez, C. (2009). Does noise have a stationary impact on residential values?. *Journal of European Real Estate Research, 2(3), 259-279*.
- Miedema, H.M.E.; Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America, 105(6)*.
- Fotheringham, A.S., Brunson, C., Charlton, M.E. (2002). *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Wiley, Chichester.
- IBGE (2011). *Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário Documentação do Arquivo*. Rio de Janeiro.
- PMSJC (2011). *Prefeitura Municipal de São José dos Campos - Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. Banco de Dados Geográfico Cidade Viva*. São José dos Campos, 2011. CD-ROM.
- Salvi, M. (2007). *Spatial estimation of the impact of airport noise on residential housing prices*. Available at SSRN 1000217.
- Schreckenberg, D., Meis, M. (2007, August). Noise annoyance around an international airport planned to be extended. *In INTER-NOISE and NOISE-CON congress and conference proceedings, 2007(4), 3351-3360*. Institute of Noise Control Engineering.
- Smith, B.J., Peters, R.J., Owen, S. (1996). *Acoustics and noise control* (2ª Edição).
- Zaporozhets, O.I., Tokarev, V.I. (1998). Aircraft noise modelling for environmental assessment around airports. *Applied Acoustics, 55(2), 99-127*.

Estudio comparativo entre rutas ATS y RNAV para vuelos entre principales aeropuertos de cabotaje de Argentina

Nahuel Tomassini, Edwin Alejandro Puebla Neira, Mariano Eduardo Bonopera

UIDET GTA, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

tomassininahuel@gmail.com, alejandro87.puebla@gmail.com,
mariano.bonopera@gmail.com

Abstract

El continuo crecimiento de la aviación origina sucesivos aumentos en la capacidad de la infraestructura del aeropuerto, como así también, la necesidad de optimización del espacio aéreo. Al mismo tiempo, la navegación aérea ha ido evolucionando en el tiempo con la inclusión de nuevos equipamientos (y por ende nuevos procedimientos), permitiendo así a las aeronaves un vuelo más seguro y eficiente. Con la llegada de tecnologías basadas en posicionamiento satelital (GNSS), se ha logrado la operación con una precisión cada vez mayor, permitiendo de esta manera optimizar las rutas de vuelo (ICAO, 2005). Esto implica reducción de tiempos de vuelo (Nakamura & Royce, 2008), consumo de combustible, emisiones gaseosas, impacto acústico (Hogenhuis, Hebly & Visser, 2008), carga de trabajo para los controladores y pilotos (Sprong, Haltli, DeArmon & Suzanne, 2005).

La mejora de la eficiencia operativa derivada de la aplicación de navegación de área (RNAV), y los requisitos que se definen en términos de exactitud, integridad, disponibilidad, continuidad y funcionalidad, necesarios para las operaciones propuestas en el contexto de un concepto de espacio aéreo en particular (ICAO, 2008), permiten un uso más eficiente del espacio aéreo, sin afectar la seguridad de las operaciones aéreas.

El presente trabajo se desarrolla dentro del marco de referencia que componen organismos internacionales de referencia respecto de cambio climático (IPCC, 2014; Naciones Unidas, 1992) y aviación (ICAO, 1999), comprometidos con el desarrollo armonizado y económicamente viable de la actividad.

Es dentro de este marco, que se plantea en el presente trabajo; calcular las distancias recorridas por aeronaves en rutas seleccionadas, determinar el consumo de combustible promedio en vuelo normal y sin novedades en base a criterio de consumo de la EEA (2013), y en base a esto determinar la cantidad de

HC, CO y NO_x por ruta. Asimismo, se plantea realizar un análisis comparativo para los destinos seleccionados en rutas ATS y RNAV.

En base al movimiento de aeronaves se toma como aeropuerto de origen al Aeroparque "Jorge Newbery" de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y como aeropuertos de destino a los aeropuertos de Córdoba, Iguazú, Mendoza, Bariloche y Salta.

Mediante el uso de Cartas de Navegación, Manual de Operación de la aeronave y una metodología establecida por la EEA (2013) se cuantifican las distancias recorridas, tiempo de vuelo, consumo de combustible y emisiones gaseosas asociadas, generadas en el normal funcionamiento y uso de aerovías comerciales regulares por parte de la aeronave seleccionada para así comparar con las rutas RNAV.

Se utilizará para el desarrollo de este trabajo una aeronave del tipo Boeing B737-800, considerando, tanto para el despegue como la aproximación, trayectorias con un ángulo de elevación constante, situación que refleja con suficiente precisión los procedimientos estándares utilizados actualmente.

Palabras clave: Ruta ATS; RNAV; Medio ambiente; Beneficios; Aerolíneas.

1. Introducción

Actualmente la aviación civil comercial en Argentina presenta un sostenido crecimiento, grabando valores positivos que acompañan a los observados en el resto de la región. Según datos de la Asociación Latinoamericana y del Caribe de Transporte Aéreo (ALTA) el tráfico de pasajeros creció un 5,4% en 2014, y en el primer semestre del año en el país se observó un alza en la cantidad de pasajeros transportados del 5%.

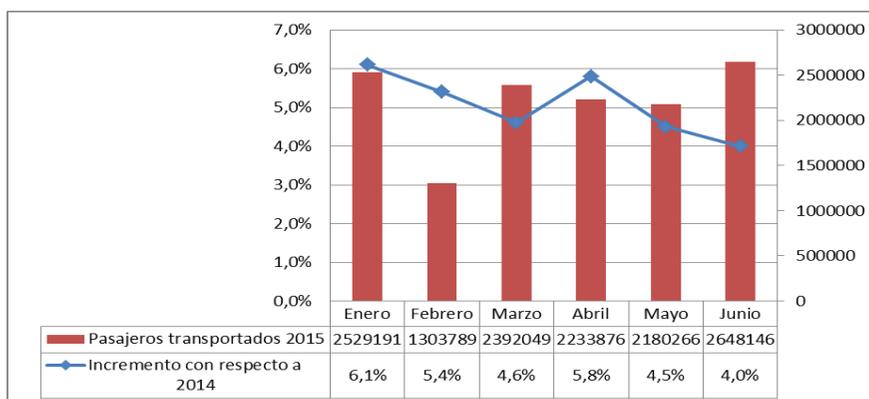


Gráfico 1. Transporte de pasajeros en Argentina durante el primer semestre de 2015

Por otro lado, la puesta en marcha de nuevo material de vuelo produce un salto cualitativo en la prestación de servicios de transporte aerocomercial, pero a su vez optimiza las operaciones debido al uso de nuevas tecnologías. Por ejemplo, Aerolíneas Argentinas el principal operador de cabotaje del país incrementó significativamente su flota pero a su vez redujo la edad promedio de la misma de 25 años a los actuales 8,5 (www.airleets.net).

Este continuo crecimiento de la aviación origina sucesivos aumentos en la capacidad de la infraestructura aeroportuaria, como así también, la necesidad de optimización del espacio aéreo. Al mismo tiempo, la navegación aérea ha ido evolucionando en el tiempo con la inclusión de nuevos equipamientos (y por ende nuevos procedimientos), permitiendo así a las aeronaves un vuelo más seguro y eficiente. Con la llegada de tecnologías basadas en posicionamiento satelital (GNSS), se ha logrado la operación con una precisión cada vez mayor, permitiendo de esta manera optimizar las rutas de vuelo (ICAO, 2005). Esto implica reducción de tiempos de vuelo (Nakamura & Royce, 2008), consumo de combustible, emisiones gaseosas, impacto acústico (Hogenhuis et al., 2008), carga de trabajo para los controladores y pilotos (Sprong et al., 2005).

La mejora de la eficiencia operativa derivada de la aplicación de navegación de área más conocida por su sigla en inglés RNAV, y los requisitos que se definen en términos de exactitud, integridad, disponibilidad, continuidad y funcionalidad, necesarios para las operaciones propuestas en el contexto de un concepto de espacio aéreo en particular (ICAO, 2008), permiten un uso más eficiente del espacio aéreo, sin afectar la seguridad de las operaciones aéreas.

El presente trabajo se desarrolla dentro del marco de referencia que componen organismos internacionales de referencia respecto de cambio climático (IPCC, 2014; Naciones Unidas, 1992) y aviación (ICAO, 1999), comprometidos con el desarrollo armonizado y económicamente viable de la actividad.

Es dentro de este marco, que se plantea en la presente publicación; calcular las distancias recorridas por aeronaves en rutas seleccionadas, determinar el consumo de combustible promedio en vuelo normal y sin novedades en base a criterio de consumo de la EEA (2013), y en base a esto determinar la cantidad de dióxido de carbono (CO₂), óxidos nitrosos (NO_x) e hidrocarburos no quemados por ruta. Asimismo, se plantea realizar un análisis comparativo para los destinos seleccionados en rutas ATS y RNAV tomando los parámetros antes mencionados.

En base al movimiento de aeronaves se toma como aeropuerto de origen al Aeroparque "Jorge Newbery" de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y como aeropuertos de destino a los aeropuertos de Córdoba, Iguazú, Mendoza, Bariloche y Salta.

Mediante el uso de Cartas de Navegación, Manual de Operación de la aeronave y una metodología establecida por la EEA (2013) se cuantifican las distancias recorridas, tiempo de vuelo, consumo de combustible y emisiones gaseosas asociadas, generadas en el normal funcionamiento y uso de aerovías comerciales regulares por parte de la aeronave seleccionada para así comparar con las rutas RNAV.

Se utilizará para el desarrollo de este trabajo una aeronave del tipo Boeing B737-700, considerando, tanto para el despegue como la aproximación, trayectorias con un ángulo de elevación constante, situación que refleja con suficiente precisión los procedimientos estándares utilizados actualmente.

2. Desarrollo

Las rutas RNAV entraron en plena vigencia el año 2007 (Disposición CRA, 2007), por lo que llevar adelante un estudio cuantitativo sobre la diferencia entre el esquema actual y el futuro en términos del aporte contaminante será útil para visualizar un escenario futuro en términos de la actividad aeronáutica en el país.

Al ser ésta una evaluación cuantitativa no se tomará en cuenta las frecuencias, sino que se van a contrastar vuelo a vuelo obteniendo de allí los valores buscados.

Mediante el uso de Cartas de Navegación, Manual de Operación de la aeronave y una metodología establecida por la EEA (2013) se cuantifican las distancias recorridas, tiempo de vuelo, consumo de combustible y emisiones gaseosas asociadas, generadas en el normal funcionamiento y uso de aerovías comerciales regulares por parte de la aeronave seleccionada para así comparar con las rutas RNAV.

2.1 Selección de la aeronave

Podemos dividir al mercado de cabotaje local en dos grupos: aerolíneas con vuelos regulares y aerolíneas con vuelos no regulares en sus programaciones. En el primer conjunto de operadores aéreos encontramos a Aerolíneas Argentinas, Austral, LAN Argentina, Sol, Andes y SAPSA. Por otro lado, cuando hablamos de aerolíneas con vuelos no regulares podemos mencionar a Mac Air y LAPSA, este último grupo de compañías aéreas no será considerado en el análisis por su escasa contribución al esquema de vuelos regulares en el país. A continuación, mostramos un resumen de la flota activa que opera en Argentina sirviendo a los vuelos de cabotaje de forma regular.

La aeronave con mayor presencia en el mercado es a su vez miembro de la flota de la compañía con mayor cantidad de vuelos ofrecidos. Estas dos cualidades inclinan la balanza a favor del Boeing 737-700 motorizado con dos CFM567B. Una vez obtenida nuestra aeronave representativa con una planta de poder asociada podemos dar paso al análisis de las rutas propuestas para el estudio.

Compañía	Aeronave	Cantidad	Planta Motriz
Aerolíneas Argentinas	Boeing 737-700	24	CFM567B
Aerolíneas Argentinas	Boeing 737-800	14	CFM567B
Austral Líneas Aéreas	Embraer 190	22	GE CF34-10E6
LAN Argentina	Airbus 320-200	12	IAE V2527E-AE
Andes Líneas Aéreas	McDonnell Douglas MD-80	3	JT8D-217C

Tabla 1. Distribución de flota de cabotaje regular en Argentina

2.2 Selección de Rutas

Los destinos fueron seleccionados en función de la cantidad de pasajeros y movimientos de aeronaves que operan en los aeropuertos nacionales. Para ello se emplearon estadísticas del año 2014 publicadas en la web del Organismo Regulador del Sistema Nacional Aeroportuario (ORSNA).

Analizando dicha información, se observa que los aeropuertos con mayor actividad son: Aeroparque, Córdoba, Mendoza, Iguazú y Salta. Además, se tiene en cuenta la configuración de las rutas aéreas en el país, donde se aprecia que existe una centralización hacia la ciudad de Buenos Aires, por lo que se resalta la conveniencia de plantear el análisis tomando como centro tipo “hub” al Aeropuerto Internacional Jorge Newbery.

El esquema de rutas actual fue consultado en el sitio web de la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC) donde se encuentran las cartas de navegación y aerovías actualizadas.

2.3 Definición de niveles de vuelo

En las rutas argentinas, los niveles de vuelo que se utilizan para los trayectos dependen del radial seleccionado en el que se desarrollará el vuelo. De esta manera, si el mismo tiene dirección entre 0 y 179 grados se utilizan los niveles de vuelo impares, y si tiene dirección entre 180 y 359 grados, se utilizan los niveles de vuelo pares.

En la Imagen 1 podemos observar en resumen lo mencionado anteriormente tanto para vuelos RVSM como los que no lo son.

A su vez, se realiza una comparación de optimización de los niveles de vuelo, donde para la aeronave seleccionada se realiza una búsqueda del nivel de vuelo óptimo para vuelo RNAV, dependiendo de la distancia entre los aeropuertos que tiene que recorrer la aeronave. Para ello se emplea la Tabla adjunta en el anexo [anexo que corresponde] la cual es (que Tabla es y de donde sale) obteniendo entonces valores más cercanos a los seleccionados para cumplir los verdaderos trayectos.

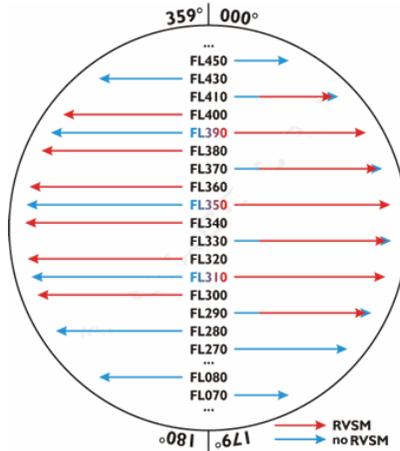


Imagen 1. Definición de niveles de vuelo según radial seleccionado

Obtenemos entonces la siguiente Tabla:

Origen	Destino	Dirección (grados)	Distancia (nm)	Niveles de vuelo
SABE	SACO	310	355.5	260-280
SABE	SARI	17	567.7	370-390
SABE	SAME	275	530.4	380
SABE	SAZS	236	723.8	380
SABE	SASA	314	703.1	380
SACO	SABE	123	352.2	270
SARI	SABE	198	567.7	380
SAME	SABE	102	530.4	370-390
SAZS	SABE	58	723.8	370-390
SASA	SABE	149	703.1	370-390

Tabla 2. Niveles de vuelo de las rutas seleccionadas

Para aquellos vuelos que poseen dos valores en sus niveles de vuelo se seleccionará el menor.

2.4 Distancia recorrida en rutas ATS y RNAV

A través del uso de las cartas aeronáuticas, publicadas por la Autoridad Aeronáutica local (ANAC), y software de obtención de rutas se las distancias recorridas en las rutas propuestas. Los niveles de vuelo determinados en el punto anterior son de importancia para obtener la trayectoria total recorrida por la aeronave en la etapa de despegue, ascenso, vuelo crucero, descenso y aproximación final para rutas ATS y RNAV. Se empleó la herramienta de acceso

libre Route Finder para establecer los puntos de verificación que vectorizan las aerovías en cuestión. Previamente se verificó la utilidad de esta herramienta web comparando sus valores con aerovías conocidas nacionales y de la región.

A continuación, se muestra a modo resumen la Tabla que contiene las distancias recorridas para cada uno de los vuelos seleccionados para el presente estudio:

Origen	Destino	Distancia ATS [nm]	Distancia RNAV [nm]	Diferencia ATS/RNAV [nm]	Porcentaje de incremento ATS/RNAV
SABE	SACO	355.5	355.5	0	0.00%
SABE	SARI	603.1	567.7	35.4	5.87%
SABE	SAME	531.5	530.4	1.1	0.21%
SABE	SAZS	776.5	723.8	52.7	6.79%
SABE	SASA	727.8	703.1	24.7	3.39%
SACO	SABE	352.2	352.2	0	0.00%
SARI	SABE	594.3	567.7	26.6	4.48%
SAME	SABE	602.5	530.4	72.1	11.97%
SAZS	SABE	747.5	723.8	23.7	3.17%
SASA	SABE	745.3	703.1	42.2	5.66%

Tabla 3. Distancias recorridas por vuelo

Podemos observar disminuciones en los recorridos cercanos al 12% en los vuelos de cabotaje planteados, cuestión no menor si consideramos las frecuencias propias de cada compañía que efectúan dichos tramos. El ahorro en combustible y por ende la baja en el aporte de emisiones acústicas y gaseosas serán finalmente los factores que señalen la importancia de este avance en cuanto a la performance de vuelo.

Existen rutas donde la diferencia es 0% y esto se debe a que la ruta RNAV diseñada no sufrió modificaciones con respecto a la original ATS.

2.5 Consumo de combustible

A partir de determinar la distancia de vuelo para cada una de las rutas, se realiza el cálculo de consumo de combustible asociado a cada una de ellas. Para ello se emplea el método de la European Environmental Agency (EEA) el cual luego de estudiarlo en profundidad se concluyó su validez para el ámbito nacional, debido a que muchos de los vuelos que se utilizaron para evaluar y determinar su metodología de cálculo tienen rasgos similares a los trayectos seleccionados para la elaboración del presente trabajo.

Por lo tanto, para la aeronave elegida, los consumos de combustible son los que se muestran en la siguiente Tabla:

Origen / destino	Distancia ATS [nm]	Consumo de combustible ATS	Distancia RNAV [nm]	Consumo de combustible RNAV
SABE/SACO	355,5	1741,9	355,5	1741,9
SABE/SARI	603,1	2926,8	567,7	2757,4
SABE/SAME	531,5	2584,1	530,4	2578,9
SABE/SAZS	776,5	3756,5	723,8	3504,3
SABE/SASA	727,8	3523,5	703,1	3405,3
SACO/SABE	352,2	1726,1	352,2	1726,1
SARI/SABE	594,3	2884,6	567,7	2757,4
SAME/SABE	602,5	2923,9	530,4	2578,9
SAZS/SABE	747,5	3617,8	723,8	3504,3
SASA/SABE	745,3	3607,2	703,1	3405,3

Tabla 4. Consumos de combustible por tramos

De forma comparativa se expone el siguiente gráfico donde podemos apreciar la disminución del combustible debido a la utilización de las rutas RNAV. En promedios generales, y en aquellos tramos en los que existe diferencia, la diferencia en el consumo es alrededor del 6.5%.

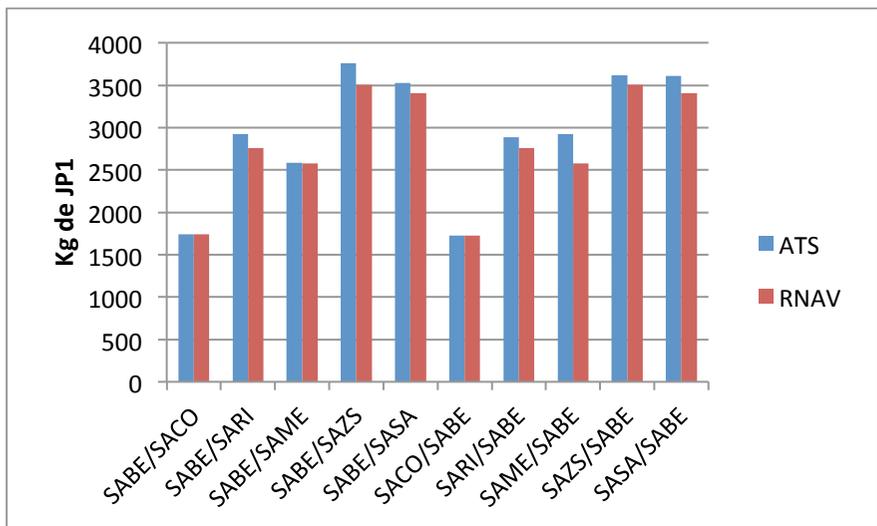


Gráfico 2. Diferencias en consumo ATS vs. RNAV

2.6 Emisiones Gaseosas

Finalmente, nos abocaremos a desarrollar el indicador que permite obtener un panorama respecto a emisiones gaseosas en cada ruta seleccionada y su posterior contrastación propuesta inicialmente.

Pasamos entonces a mostrar en la siguiente Tabla los valores finales de emisiones contaminantes para los gases más representativos y a los cuales más atención se les debe prestar con el objetivo de reducirlos: CO₂, NO_x y HC.

Origen / destino	ATS			RNAV		
	HC [Kg]	Nox [Kg]	CO ₂ [Kg]	HC [Kg]	NOx [Kg]	CO ₂ [Kg]
SABE/SACO	0,3	20,8	5487,1	0,3	20,8	5487,1
SABE/SARI	0,5	34,8	9219,5	0,5	32,8	8685,8
SABE/SAME	0,5	30,7	8140,2	0,5	30,7	8123,6
SABE/SAZS	0,7	44,6	11833,3	0,6	41,6	11038,9
SABE/SASA	0,7	41,8	11099,2	0,6	40,4	10726,9
SACO/SABE	0,3	20,6	5437,4	0,3	20,6	5437,4
SARI/SABE	0,5	34,3	9086,8	0,5	32,8	8685,8
SAME/SABE	0,5	34,8	9210,4	0,5	30,7	8123,6
SAZS/SABE	0,7	43,0	11396,2	0,6	41,6	11038,9
SASA/SABE	0,7	42,8	11363,0	0,6	40,4	10726,9

Tabla 5. Emisiones gaseosas resultants

Luego, de forma comparativa se expone en el siguiente gráfico las emisiones totales por vuelo de dióxido de carbono, tanto para rutas ATS como RNAV:

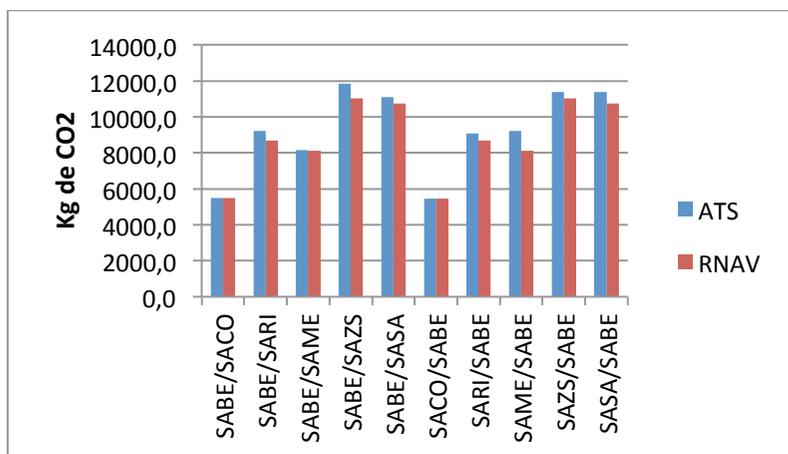


Gráfico 3. Diferencias en emisiones gaseosas ATS vs. RNAV

3. Conclusiones

La premisa de la implementación de las RNAV es la disminución en el consumo, Y por ende el descenso en la carga contaminante debido a la actividad aerocomercial. Aquí podemos ver en magnitudes tales ideas que incentivan a utilizar este tipo de tecnología en los espacios aéreos controlados de las naciones.

El decremento en la quema de hidrocarburos se encuentra en torno al 6.5%, un logro que a los fabricantes de aeronaves les llevaría años de innovación en cuanto a nuevos materiales, aerodinámica y performance de vuelo. Obteniendo entonces la industria un salto sustancial en el ahorro económico que ello significa, a su vez colaborando con las actuales políticas de mitigación de emisiones acústicas y gaseosas.

Es sabido que instalar este tipo de rutas en el país demanda un gran esfuerzo por parte de los explotadores de aeronaves y las autoridades competentes en cuanto a instalar nuevos sistemas de ayuda a la navegación y capacitar al personal. Esfuerzos que tendrán su recompensa futura por los beneficios que ya fueron mencionados. Además, este cambio en cuanto a la configuración del espacio aéreo controlado y la forma en la cual se desarrollan los vuelos en los cielos Argentinos es un paso más en la búsqueda de niveles de emisiones de gases efecto invernadero tan bajos como los propuestos por OACI en escenarios futuros.

4. Referencias

ANAC <http://www.anac.gov.ar/anac/web/index.php/2/311/informacion-aeronautica/aip>

Disposición CRA N° 55/2007]

EEA European Environmental Agency. (2013). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Hogenhuis, R., Hebly, S., Visser, H. (2008). *Optimization of RNAV noise abatement arrival trajectories*. ICAS 2008, 1-9.

<http://rfinder.asalink.net/free/>

ICAO (1999). *Environmental Protection*. Recuperado el 16 de Junio de 2015, de ICAO: <http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/default.aspx>

ICAO (2005). *Doc. 9849 AN/457: Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual*. Quebec: ICAO.

ICAO (2008). *Doc. 9613 Performance based Navigation (PBN) Manual*. Quebec: ICAO.

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC.

Naciones Unidas (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. NY: Naciones Unidas .

Nakamura, D., Royce, W. (2008). Operational Benefits of Performance-Based Navigation. *Aeromagazine*, 13-21.

ORSNA http://www.orsna.gov.ar/estadisticas/Estad%C3%ADstica_2014.pdf

Sprong, K., Haltli, B., DeArmon, J., Suzanne, B. (2005). *Improving flight efficiency through terminal area RNAV*. Virginia: The MITRE Corporation.

www.airleets.net

La Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo (RIDITA) y la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Terrassa (Universitat Politècnica de Catalunya) ha celebrado los días 7, 8 y 9 de octubre de 2015 en Terrassa (Barcelona) el V Congreso Internacional de la Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo.

La RIDITA es un grupo abierto, incluyente y sin fines de lucro, de discusión permanente, conformado por investigadores, formadores y profesionales relacionados con el Transporte Aéreo que se desempeñen en instituciones académicas iberoamericanas, fundado en 2007.

Previamente a este V Congreso, la RIDITA ha celebrado sus anteriores congresos en Buenos Aires (2007), Sao Paulo (2009), Madrid (2011) y La Plata (2013).

El lema de la presente edición del congreso de RIDITA es: Transporte aéreo, motor de desarrollo. Con este lema queremos enfatizar el papel del transporte aéreo en el desarrollo económico y social. Las ponencias recogidas en este libro de actas son una contribución al estudio de transporte aéreo desde los puntos de vista social, económico, productivo y ambiental, articulando los intereses de los diferentes agentes del sistema de transporte aéreo.



ISBN: 978-84-944229-7-3

www.omniascience.com

OmniaScience