

ESTUDIOS SOBRE LA ECONOMIA ESPAÑOLA

**Análisis coste-beneficio de la ampliación del aeropuerto
de Barcelona con externalidades ambientales. Ruido,
polución atmosférica y ocupación de humedales.**

**Pere Riera
Marga Macian**

EEE 47



FEDEA

Fundación de Estudios de Economía Aplicada

<http://www.fedea.es/hojas/publicado.html>

ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LA AMPLIACIÓN DEL AEROPUERTO DE BARCELONA CON EXTERNALIDADES AMBIENTALES. RUIDO, POLUCIÓN ATMOSFÉRICA Y OCUPACIÓN DE HUMEDALES.

Pere Riera (Universitat Autònoma de Barcelona)
Marga Macian (London School of Economics)*

Manuscrito para la Revista de Economía Aplicada

Autor para correspondencia:
Pere Riera
Institut Universitari d'Estudis Europeus
Campus Universitat Autònoma de Barcelona
08193 Bellaterra, Spain
Tel. (+34) 93 581 3181
e-mail: pere.riera@uab.es

* Este trabajo forma parte de un estudio más amplio realizado para la entidad Barcelona Regional. Los autores agradecen a dicha institución la ayuda recibida y las facilidades dadas para su publicación. Se beneficia además de los programas SEC96-2300 y SEC96-0546 de la CICYT. Se extiende el agradecimiento al profesor Joan Pasqual por sus comentarios a una versión previa, aunque la responsabilidad final sigue recayendo en los autores.

ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LA AMPLIACIÓN DEL AEROPUERTO DE BARCELONA CON EXTERNALIDADES AMBIENTALES. RUIDO, POLUCIÓN ATMOSFÉRICA Y OCUPACIÓN DE HUMEDALES.

Abstract

Este artículo presenta la novedad de realizar un análisis coste-beneficio del proyecto de ampliación de un aeropuerto –el del Prat, en Barcelona-, incorporando además la valoración de tres externalidades ambientales: ruido, contaminación atmosférica y ocupación de humedales protegidos como ZEPA. Se detallan los procedimientos metodológicos empleados y se muestran los resultados, que son favorables al proyecto de inversión.

1. Introducción

Son diversos los trabajos económicos publicados en España que versan sobre aeropuertos, sobre todo su impacto en la economía (García y Pérez, 1996; De Rus *et al.*, 1996; García *et al.*, 1996; Robusté y Clavera, 1997, Calvo y Morales, 1998), pero ninguno -hasta donde conocemos- que haya realizado un análisis coste-beneficio. Esta ausencia de aplicaciones de análisis coste-beneficio no se restringe a la producción española. Algunas publicaciones (Ody, 1969; Guadagni y Negre, 1979; Noah *et al.*, 1977; Heath y Oulton, 1973; Nwaneri, 1970) llevan este título, pero no contienen dicho tipo de análisis. Por ejemplo, Guadagni y Negre (1979), bajo el título "Inversiones en infraestructura aeroportuaria. Una aplicación del análisis del coste-beneficio", calculan, en realidad, el momento óptimo de inversión para ampliar la capacidad de los aeropuertos de Buenos Aires. Tampoco Nwaneri (1970) desarrolla un análisis coste-beneficio completo. La *Commission on The Third London Airport* (1971), más conocida como *Roskill Commission*, a pesar de hacer manifiesta en la introducción del trabajo su intención de realizar un análisis coste-beneficio, no calcula los beneficios de cada alternativa de localización del tercer aeropuerto de Londres, sino sólo los costes (análisis coste-eficiencia). Lo mismo puede decirse para el estudio de Heath y Oulton (1973) para el aeropuerto de Edinburg. Noah *et al.* (1977) calcula para Estados Unidos valores de variables que tradicionalmente se incluyen en los análisis coste-beneficio. En la misma línea se encuentra Keech (1982). Otros son en realidad teóricos y no contienen ninguna aplicación (Mackie, 1983) o trabajan con datos simulados (Cohen, 1997). Tampoco Directorate-General Transport (1996) recoge ningún análisis coste-beneficio, propiamente dicho, en su exhaustiva revisión de estudios de evaluación de inversiones en aeropuertos europeos. En definitiva, no tenemos noticia de la publicación de análisis coste-beneficio aplicado, y menos todavía que tenga en cuenta las externalidades ambientales. Una de las razones de tan escasa producción en este campo es seguramente la complejidad que tales aplicaciones conllevan en la estimación de beneficios para los usuarios y de costes ambientales.

Así, el trabajo que aquí se presenta contiene como novedad la aplicación de un análisis coste-beneficio de un proyecto de ampliación de un aeropuerto (el de Barcelona), que incorpora además en el análisis la valoración de externalidades ambientales. La valoración de externalidades se estima por distintos métodos. El valor del ruido se obtiene por valoración contingente, el valor de los humedales protegidos se estima por ránkings u

ordenación contingente, mientras que el valor de la contaminación atmosférica se transfiere de otro trabajo para un ámbito geográfico similar, obtenido también por ranking contingente.

A continuación se describen las características del proyecto de ampliación del aeropuerto de Barcelona (El Prat), las variables consideradas en su evaluación y las características fundamentales de este análisis coste-beneficio. En la siguiente sección se presenta el cálculo de las variables, incluidas las ambientales. Le sigue una presentación de los resultados con un análisis de sensibilidad. El artículo finaliza con un apartado de conclusiones.

2. Características del proyecto

La finalidad de este trabajo es evaluar, mediante un análisis coste-beneficio, el impacto social de la inversión prevista para ampliar el aeropuerto del Prat. El proyecto contempla la construcción de una tercera pista, paralela a la principal, y localizada a 1.350 metros de ésta. Se estima que la construcción de la nueva pista permitirá doblar la actual capacidad máxima del aeropuerto, pasándose de 42 a 90 vuelos por hora y de una capacidad máxima de 20 a 40 millones de pasajeros por año. De no producirse esta ampliación, el aeropuerto alcanzaría el nivel de saturación hacia el año 2004.

La saturación de los aeropuertos es un problema común a muchas ciudades y derivado del crecimiento espectacular que ha experimentado el tráfico aéreo desde los años 50. Para hacer frente a esta situación de congestión, las autoridades aeroportuarias de diversos países han tenido que plantearse la ampliación de los aeropuertos ya existentes y la construcción de nuevos. Sin embargo, este tipo de proyectos son siempre conflictivos y deben enfrentarse a la oposición de algunos grupos sociales. Esto se debe a que las ampliaciones de aeropuertos generan un número elevado de impactos que afectan en forma desigual a diferentes grupos socioeconómicos. Mientras que los usuarios de los aeropuertos se benefician de una mayor oferta de vuelos, los residentes de las áreas suelen verse perjudicados debido principalmente al ruido causado por las aeronaves. Adicionalmente, los aeropuertos son una fuente de contaminación atmosférica que afecta a toda la población. En el caso del aeropuerto del Prat, además de los impactos generales, se producirá otro coste ambiental debido a la ocupación de parte de los humedales del Delta del Llobregat declarados como *Zona de Especial Protección para Aves* (ZEPA) por la Unión Europea.

Aparte de los impactos directos ya mencionados, los aeropuertos suelen conllevar importantes impactos indirectos, tales como la creación de puestos de trabajo, o el impulso a la actividad económica de la región, si bien estos impactos indirectos no suelen incluirse en el análisis coste-beneficio.

Mediante una encuesta realizada a mediados de 1998 a una muestra de 800 personas en la región metropolitana de Barcelona para este trabajo, se sondeó la opinión de los ciudadanos sobre los impactos generados por la proyectada ampliación del aeropuerto del Prat y se simuló los mercados para la valoración de los impactos ambientales. Con la información que poseían en aquel momento, los entrevistados valoraban principalmente la creación de puestos de trabajo (8,9 puntos sobre 10) y la generación de actividad económica (8,2), elementos claramente relacionados y ausentes del análisis coste-beneficio. El impacto de la contaminación acústica (elemento del análisis coste-beneficio)

fue la variable que curiosamente obtuvo una puntuación más baja (6,5) en términos relativos, aunque está claramente por encima de los 5 puntos sobre 10. El hecho de que este factor afecte sólo a algunas personas, mientras que los primeros conciernen a toda la población en general, podría ayudar a explicar los resultados obtenidos.

En lo que sigue se presenta la aplicación del análisis coste-beneficio para estimar la rentabilidad social del proyecto. Ello implica incluir en el análisis efectos de compleja medición y valoración, tal como las externalidades ambientales y los beneficios para los usuarios. Una de las características de este análisis es que todos los impactos se miden finalmente en unidades monetarias, por lo que se requiere la utilización de métodos de valoración específicos para asignar un valor monetario a aquellos bienes que no tienen un precio de mercado.

3. Cálculo de las costes y beneficios

Las variables consideradas relevantes, que se incluyen en el análisis coste-beneficio del proyecto de ampliación del aeropuerto del Prat son: (i) el beneficio para los usuarios de utilizar el aeropuerto ampliado respecto a utilizarlo en congestión (limitado a 20 millones de pasajeros por año); (ii) el coste de la inversión; (iii) el coste del mantenimiento diferencial; (iv) el coste de la ocupación parcial de las ZEPA; (v) el coste de la contaminación acústica; y (vi) el coste de la contaminación atmosférica, comparando siempre la realización del proyecto con el mantenimiento del *estatus quo*, sin ampliación.

Seguidamente se detalla el procedimiento aplicado en la estimación económica de cada variable.

3.1. Beneficios

El principal beneficio de la ampliación es el que se deriva del aumento de la oferta de vuelos y, por lo tanto, del mantenimiento de los precios competitivos para los usuarios del aeropuerto. En otras palabras, se evita el efecto contrario que provocaría la congestión. Se realizó el supuesto de que los tiempos de espera y vuelo por pasajero, así como la comodidad, no varían entre el aeropuerto ampliado (no saturado) y al límite de su capacidad (20 millones de pasajeros/año sin ampliación). En la medida en que esos beneficios diferenciales fuesen relevantes, los resultados de este análisis coste-beneficio tenderían a estar subestimados. En la misma dirección afecta la dependencia del aeropuerto de otros (*hubs*) para conexiones a otros destinos, que seguramente es mayor si el aeropuerto no se amplía, dado que la limitación no afecta sólo al número de pasajeros, sino también al número de aviones y, por tanto, de itinerarios. A menor dependencia de otros *hubs*, mayor ahorro de tiempo. Otra ausencia que puede influir sobre los resultados finales, de nuevo en la misma dirección, es la de los beneficios obtenidos por el transporte de mercancías. La misma lógica que se aplica aquí en el cálculo de los beneficios de los pasajeros (el excedente del consumidor y productor) se podría aplicar para el transporte de mercancías. La ausencia de datos disponibles impide su inclusión en el presente trabajo. La relativa menor importancia de este aspecto del transporte aéreo no debe desprevenir al lector de la subestimación de beneficios en la que se incurre, aunque no fuera demasiado grande.

Se presenta a continuación el procedimiento seguido en el cálculo de los beneficios

derivados del incremento en el número de pasajeros. En este artículo se aplica al concepto de “pasajero” su sentido estadístico habitual, equiparándolo a “desplazamiento”. Así, una persona que viaja en avión entre Barcelona y Madrid, ida y vuelta, dos veces en un año dado, se contabiliza en cada aeropuerto como cuatro pasajeros para dicho año.

· Beneficios derivados del aumento del número de pasajeros

Existen diferentes métodos para estimar dichos beneficios. Algunos autores (Abrahams, 1992) han sugerido la posibilidad de preguntar directamente a los afectados cual es su disposición a pagar por estos cambios. Esto se podría hacer, por ejemplo, dialogando con las aerolíneas para averiguar cuanto estarían dispuestas a pagar para que la ampliación del aeropuerto se llevase a cabo. Al fijar una cifra, las compañías aéreas tendrían en cuenta lo que ellas estiman que los pasajeros estarían dispuestos a pagar para que se realice este proyecto. No está claro, sin embargo, qué incentivos tendrían las empresas a responder de forma útil para el investigador, como se desprende del cálculo de beneficios que se realiza en el presente estudio. Otra opción es preguntar directamente a los pasajeros actuales y potenciales.

Una forma indirecta de estimar dicho beneficio es a partir de las previsiones de la demanda de transporte aéreo del aeropuerto en cuestión. La función de demanda representa la máxima disposición a pagar para obtener un determinado bien o, en este caso, servicio. Así, la función de demanda de transporte aéreo del gráfico 1 se puede interpretar como la máxima disposición al pago de las personas por consumir marginalmente los servicios que ofrece el aeropuerto. Para el análisis coste-beneficio, sin embargo, es suficiente estimar el excedente del consumidor (diferencia entre la disposición a pagar y el precio pagado) neto diferencial entre los dos escenarios relevantes: el aeropuerto ampliado y sin ampliar.

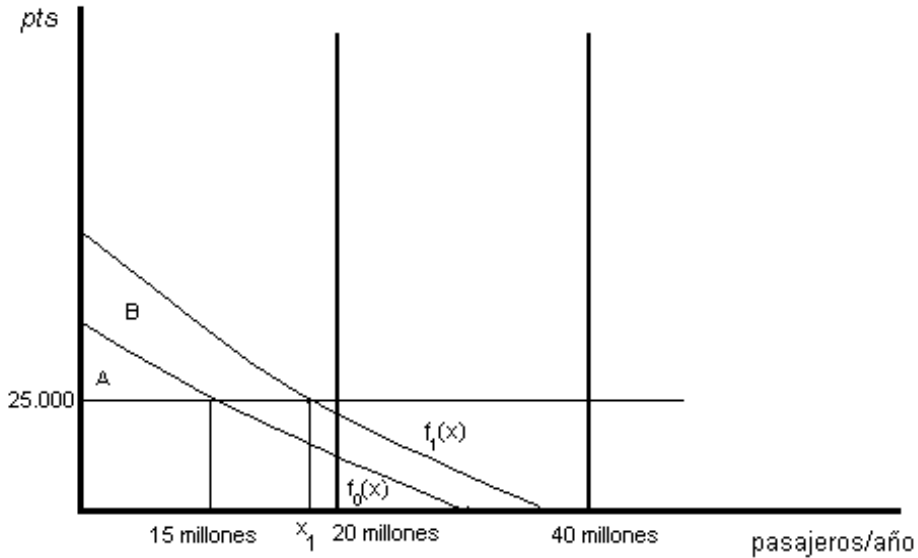
En el aeropuerto del Prat se prevé un aumento en el número de pasajeros año a año, sin que se contemple explícitamente una variación en el precio real medio de los billetes de avión, incluidas las tasas aeroportuarias. Esta interpretación responde al supuesto de que los costes marginales de las compañías aéreas no varían al aumentar el producto; es decir, que no varía el coste de cada viaje para las compañías aéreas, a pesar de la ampliación y el paso del tiempo. Este mismo supuesto tiene implicaciones sobre el excedente social y, por consiguiente, sobre los resultados de la evaluación del proyecto. En efecto, el excedente del productor, que aparecerá en periodos posteriores, también forma parte de los beneficios. Es la diferencia entre coste marginal y precio recibido por los productores. En los periodos reflejados en los gráficos 1 y 2 no aparece ningún excedente del consumidor porque, siguiendo a parte de la literatura al respecto, se identifica la función de costes con la de precios recibidos, al menos para la parte relevante de la función de oferta —es decir, para el tramo más allá de los primeros viajes. En la medida en que no sea así, se estarían subvalorando los excedentes, con lo que una vez más los resultados del análisis coste-beneficio tenderían a ser “conservadores”.

El crecimiento del número de viajes anuales se puede deber a un aumento de la renta de las personas. Así, más que contemplar desplazamientos a lo largo de la función de la demanda, lo que es necesario prever primero son los desplazamientos de la propia función año a año.

A título ilustrativo, supóngase que el precio medio actual (periodo 0) del billete de avión

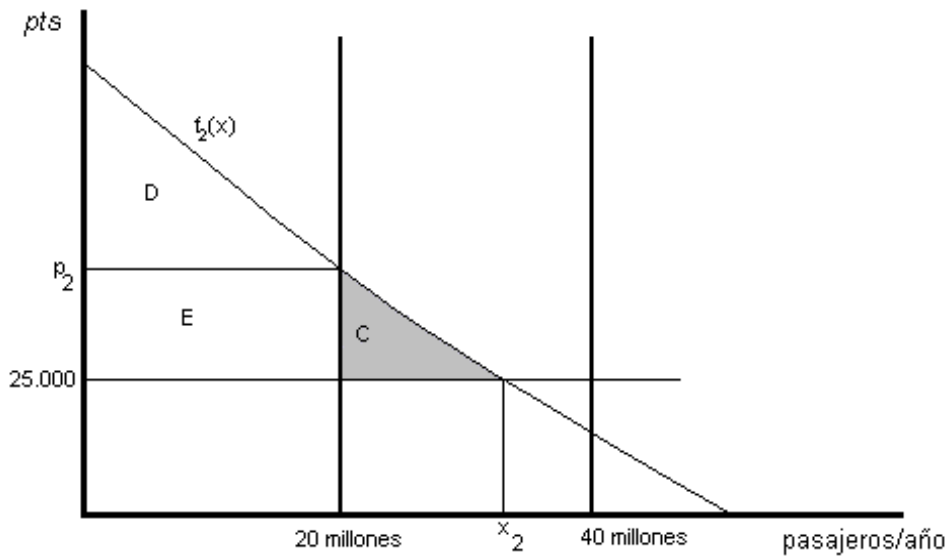
desde Barcelona o hacia Barcelona es de 25.000 pesetas y que el número actual de pasajeros es de 15 millones al año. Suponemos también que la capacidad máxima del aeropuerto sin ampliarlo es de 20 millones de pasajeros al año y, una vez ampliado, de 40 millones. El gráfico 1 muestra la situación actual y un aumento hasta x_1 de la demanda, para un periodo futuro, que no llega a los 20 millones de pasajeros (por ejemplo, para el próximo año).

Gráfico 1. Beneficios sin congestión



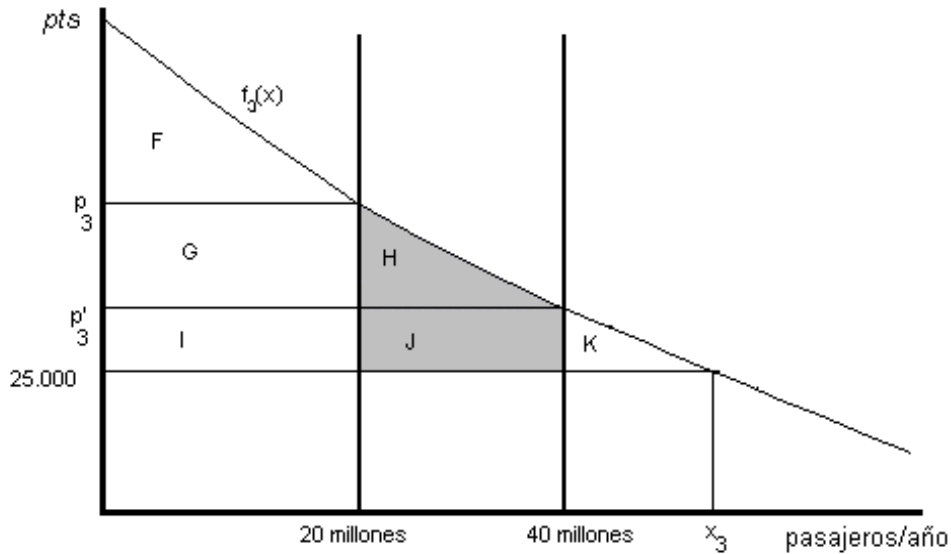
Tal como se ha mencionado, para el análisis coste-beneficio interesa medir el beneficio neto para la sociedad -consumidores y productores, en este caso-; es decir, la diferencia en los excedentes del productor y consumidor entre ampliar o no el aeropuerto del Prat. La función (inversa) de demanda $f_0(x)$ en el gráfico 1, representa el comportamiento de la demanda en el periodo actual (0), y la función $f_1(x)$, la demanda en un periodo posterior (1). El excedente del consumidor en el periodo 0 viene representado por el área A. El excedente del consumidor para el periodo 1 lo da el área A+B. La diferencia es el área B. Este excedente es el mismo haya o no haya ampliación del aeropuerto. Por lo tanto, en el periodo 1, la diferencia en términos de excedente entre ampliar y no ampliar el aeropuerto es nula. El beneficio de ampliarlo en ausencia de congestión es cero. Lo mismo pasa en el periodo inicial 0, lógicamente.

Gráfico 2. Beneficios con congestión



El gráfico 2 muestra un desplazamiento de la función de demanda, hasta un nivel correspondiente a una demanda de x_2 entre 20 y 40 millones de pasajeros en aquel año, para un precio de 25.000 pesetas. Llamamos a este año "periodo 2". Con el aeropuerto ampliado, el precio sigue siendo de 25.000 pesetas por viaje y el excedente del consumidor para este periodo 2, el área C+D+E. Si el aeropuerto no estuviese ampliado, la cantidad de pasajeros no sería x_2 , sino 20 millones. Dada esta restricción, muchos pasajeros ($x_2 - 20$ millones) no podrían acceder a viajar en avión desde El Prat. Suponemos que la selección de los viajeros que sí viajan se hace económicamente, vía aumento de precios hasta el nivel que reduce la demanda al límite de 20 millones de pasajeros al año. El precio del billete sin ampliación subiría a p_2 pesetas. Así, sin ampliación, el excedente del consumidor sería el área D. Y el área E sería una transferencia de los consumidores (pasajeros) hacia los productores (compañías aéreas). Por lo tanto, en el conjunto de la sociedad (consumidores y productores), el beneficio diferencial de haber ampliado el aeropuerto sería el correspondiente al área C.

Gráfico 3. Beneficios con doble situación de congestión



Finalmente, la tercera situación relevante (“periodo 3”) es la dibujada en el gráfico 3. Suponemos que en el periodo 3, la demanda sin restricciones de capacidad del aeropuerto supera los 40 millones de pasajeros al año, x_3 , por el precio de 25.000 pesetas por viaje. Si la restricción de los 40 millones de pasajeros no existiese, el excedente neto diferencial sería el equivalente al área $H+J+K$, como ya se ha explicado para el caso anterior. Sin embargo, la presencia de la nueva limitación a 40 millones de pasajeros de capacidad del aeropuerto ampliado, cambia las cosas. Parte del excedente social no es alcanzable; en concreto, K . La restricción a 40 millones actúa de forma similar a la de 20 millones de pasajeros, pero en vez de cambiar el precio hasta p_3 , lo cambia hasta p'_3 . Así, el excedente para los consumidores entre no ampliar el aeropuerto (no poder pasar de 20 millones de pasajeros al año) y ampliarlo hasta 40 millones es el equivalente al área H . El rectángulo J representa un beneficio neto para las compañías aéreas: es el excedente del productor. La suma de los excedentes del productor y del consumidor ($J + H$) constituye el excedente social neto para este periodo.

Mediante este procedimiento se puede calcular, pues, cual es el beneficio neto para cada periodo. Es necesario estimar primero los valores de los distintos parámetros. Por lo que se refiere al número de pasajeros anuales para el periodo de estudio, se utilizaron las previsiones realizadas por INECO y Barcelona Regional. La proyección de crecimiento según dichas previsiones, sigue el siguiente patrón: hasta el año 2000, el crecimiento es del 7 por ciento anual acumulativo; del 2001 al 2005, del 6 por ciento; del 2006 al 2010, del 5 por ciento; del 4 por ciento entre el 2011 y el 2015; y del 3 por ciento a partir del año 2016, alcanzándose la congestión del aeropuerto ampliado, con casi 40 millones de pasajeros el año 2020 y con restricciones efectivas de demanda el 2021. Como estimador del precio inicial medio se tomó el precio medio de un billete de la compañía Iberia para el ejercicio 1997. Se parte del supuesto de que, en términos reales, el precio del billete de avión se mantiene constante a lo largo de los diferentes periodos hasta el año en que el aeropuerto ampliado se satura, según las previsiones mencionadas. Estos aumentos quedarán reflejados en la ecuación [1] como x_t , referidos a cada periodo t .

Para calcular el aumento del precio del billete de avión bajo condiciones de congestión (si no se amplía el aeropuerto), que corresponde al paso entre 25.000 pesetas y p_2 en el gráfico 2, es necesario hacer algún supuesto sobre la forma de la función de demanda. Se realiza el supuesto de que la función de demanda es lineal en cada periodo y que la pendiente se mantiene constante entre periodos. El supuesto de linealidad supone, lógicamente, una distorsión de los valores estimados del excedente del consumidor si en la práctica la función de demanda no fuera lineal (Fromm, 1962, apéndice V). La mayor distorsión en estos casos suele producirse en el cálculo del área bajo los extremos de la función; es decir, cuando el número de pasajeros es muy bajo, o cuando los precios son muy bajos (Hotelling, 1938, p. 246). En el presente estudio, ambos extremos son irrelevantes para el cálculo, dado que la parte relevante de la función de demanda es la que en los gráficos 2 y 3 limita con la zona sombreada, con lo que la distorsión es seguramente menor.

Es necesario hacer todavía un supuesto adicional sobre la pendiente de la función de demanda. Diversos estudios (varios se recogen en Oum, Waters y Yong, 1992; Guadagni y Negre, 1979; Noah *et al*, 1977) han estimado elasticidades-precio en la demanda de viajes en avión. Aunque hay una gran diversidad de resultados, la mayoría de los trabajos parece obtener elasticidades-precio de la demanda de entre $-0,8$ y -2 (Oum, Waters i Yong, 1992, p. 139). Realizando una hipótesis sobre el valor de la elasticidad en un punto determinado de la función de demanda (P_0, X_0), como el observado en El Prat para 1997, se puede deducir la pendiente de la función para una determinada elasticidad. El supuesto que se adopta para realizar los cálculos en el escenario básico es de una elasticidad-precio de la demanda igual a $-1,5$ en este punto, aunque más adelante se realiza un análisis de sensibilidad en el análisis coste-beneficio, variando este supuesto. Formalmente, la elasticidad-precio de la demanda se expresa como:

$$elasticidad = \frac{\Delta X}{\Delta P} \frac{P_0}{X_0}$$

donde $\frac{\Delta X}{\Delta P}$ es la inversa de la pendiente de la función de demanda.

De acuerdo con datos facilitados por la compañía aérea Iberia y AENA, el precio medio (P_0) del pasaje de avión por trayecto para 1997 fue de 25.473 pesetas, en valores de 1998, y la tasa del aeropuerto por viaje era de 511 pesetas por viajero. Así, los cálculos de la función de demanda se realizan a partir del precio agregado de 25.984 pesetas, si bien en los cálculos del coste para la estimación del excedente del consumidor se utiliza el precio exento de "peaje" o tasa de aeropuerto, tal como va a quedar reflejado en la ecuación [1]. El volumen de pasajeros (X_0) del aeropuerto de Barcelona, según datos facilitados por AENA para 1997, fue de 15.065.000.

Introduciendo en la fórmula anterior los valores mencionados y operando, se obtiene el valor de la pendiente de la función de demanda.

$$\frac{\Delta P}{\Delta X} = -\frac{25.984}{1,5 * 15.065.000} = -0,0011499$$

Formalmente, el cálculo del excedente social se expresa como:

$$\int_{x_t}^{\bar{x}} f_t(x) dx - \left(x_t - \bar{x} \right) * (p - m) \quad [1]$$

$20.000.000 < x_t \leq 40.000.000$

donde la integral va desde el volumen de congestión, \bar{x} (20 millones de pasajeros), hasta x_t (a su vez situado entre 20 millones y 40 millones de pasajeros para el periodo t , tomando este último valor como máximo); $f_t(x)$ representa la valoración marginal en función del número de viajes; p es el precio del pasaje de avión (incluida la tasa del aeropuerto) sin restricciones de capacidad en el aeropuerto; y m es la tasa del aeropuerto (511 pesetas por pasajero, en este caso).

La tabla 1 recoge los resultados del cálculo de los excedentes para cada periodo de acuerdo con los procedimientos y valores comentados.

Tabla 1. Beneficios de los pasajeros, en millones de pesetas de 1998

Año	Beneficio	Año	Beneficio	Año	Beneficio
2004	7.836	2005	14.866	2006	22.913
2007	33.217	2008	46.080	2009	61.841
2010	80.874	2011	98.830	2012	114.409
2013	142.873	2014	169.504	2015	199.612
2016	224.802	2017	252.312	2018	282.306
2019	314.959	2020	350.460	2021	367.094
2022	398.140	2023	430.117	2024	463.053
2025	496.977	2026	531.919	2027	567.909
2028	604.978	2029	643.160	2030	682.488
2031	722.995				

3.2. Costes

· Costes de inversión

A efectos de cálculo en el análisis coste-beneficio se prevé que la inversión se empiece a realizar en el año 2000 y se termine en el 2013, a pesar de que la inauguración de la nueva pista tenga lugar en el año 2004. El valor de la inversión es de 117.137 millones de pesetas en valores de 1998. Buena parte de las inversiones se dilata en el tiempo para adecuarse a la creciente demanda esperada, que no se produce de golpe, sino paulatinamente. Su periodificación por conceptos se recoge en la tabla 2, según datos facilitados por Barcelona Regional.

Tabla 2. Costes de inversión por conceptos, en millones de pesetas constantes de 1998

Año	Nueva pista	Terminal	Terrenos	Aparcamientos	Transporte interno	Total
2000	973	1.307	10.309	396	495	13.480
2001	11.043	4.427	1.145	587	11.204	28.406
2002	11.044	4.427		2.054	4.801	22.326
2003	5.522	4.427		587		10.536
2004		4.427		2.054		6.481
2005		4.426		587		5.013
2006		4.426				4.426
2007	3.841					3.841
2008						-
2009				694		694
2010				2.427		2.427
2011		5.231		694		5.925
2012		5.231		2.427		7.658
2013		5.231		693		5.924

Fuente: Barcelona Regional

· *Costes de operación y mantenimiento*

Los costes extras de operación incluyen los gastos en personal asociados a la ampliación (suponiendo incrementos anuales hasta el año 2020 y un coste estable en términos reales a partir de entonces, dado que se llega a la congestión incluso del aeropuerto ampliado), las reparaciones y conservación extras, los servicios centrales, navegación aérea y otros costes menores, además del mantenimiento del asfalto de las pistas cada cuatro años (a un coste de 300 millones de pesetas por pista, en valores de 1998). La tabla 3 recoge los costes de operación y mantenimiento según datos facilitados por Barcelona Regional y Gabinet Tècnic d'Auditoria i Consultoria, S.A., siguiendo los criterios citados.

Tabla 3. Costes extras de operación y mantenimiento por conceptos, en millones de pesetas constantes de 1998

Año	Personal	Otros	Total
2001	42	257	299
2002	85	528	613
2003	128	814	942
2004	173	1117	1290
2005	218	1437	1655
2006	264	1726	1990
2007	312	2029	2341
2008	360	2647	3007
2009	409	2680	3089
2010	459	3029	3488
2011	510	3340	3850
2012	562	3963	4525
2013	615	4000	4615
2014	669	4350	5019
2015	725	4714	5439
2016	781	5207	5988
2017	839	5106	5445
2018	897	5310	6207
2019	957	5519	6476
2020	1018	6035	7053
2021	1018*	5735**	6753

* Se mantiene el valor para los siguientes años

** Se mantiene el valor para los siguientes años excepto para los años 2024, 2028, y así sucesivamente cada cuatro años, coincidiendo con el reasfaltado de la pista, que toma el valor del año 2020

Fuente: Barcelona Regional y Gabinet Tècnic d'Auditoria i Consultoria, S.A.

La forma de financiar el proyecto por los promotores, tanto la inversión como el mantenimiento, es a partir de los ingresos comerciales y por tasas del aeropuerto. Según los estudios de viabilidad privada realizados también desde Barcelona Regional, no se espera subir las tasas del aeropuerto del Prat debido a su ampliación, sino que se espera recuperar los costes privados asociados a dicha ampliación a partir del aumento de pasajeros, y por consiguiente de ingresos totales. Dado que los costes de inversión y mantenimiento ya se incluyen explícitamente en el análisis coste-beneficio, el excedente del consumidor incluye el área relevante comprendida entre el precio sin tasa de aeropuerto y con tasa de aeropuerto, como se expresaba en la ecuación [1]. Naturalmente, ello no significa que dicha forma de financiación de la infraestructura y su mantenimiento sea neutra, dado que conlleva un aumento del precio que paga el pasajero y, consecuentemente, disminuye la cantidad de pasajes demandada. Otras formas de financiación habrían variado la cantidad demandada. En las previsiones del número de pasajeros para cada periodo ya se tuvo en cuenta esta forma específica de financiación.

· *Impacto ambiental: ocupación de los humedales del Delta del Llobregat*

La construcción de la nueva pista comporta la ocupación de parte de los humedales del Delta del Llobregat declarados como Zona de Especial Protección de Aves (ZEPA) por la Unión Europea. La encuesta realizada en la región metropolitana de Barcelona para este trabajo sirvió para estimar, mediante el método del ranking contingente, el coste social que esto implica. Para una explicación más detallada del método y de cómo aplicarlo, puede consultarse, por ejemplo, Riera y Penín (1997), donde se referencian, además, distintas aplicaciones y textos teóricos.

En la simulación del mercado, se consideraron dos atributos (o factores): disposición a pagar y cantidad ocupada de ZEPA por la ampliación del aeropuerto. El primero se expresó en pesetas correspondientes a un solo pago por individuo para evitar la ocupación, y el segundo en porcentajes de ocupación. Se consideraron cuatro niveles de valores por cada atributo. Los valores para la variable precio fueron 0, 2000, 4000 y 5000 pesetas. Los porcentajes de ocupación fueron 0, 33, 66 y 100 por cien. A pesar de que se procedió a un diseño factorial para establecer el escenario al que cada individuo debería responder, las limitaciones ecológicas y de teoría económica aconsejaron la combinación de los dos atributos en el mismo orden en que se han presentado aquí. Es decir, no ocupar las ZEPA y no pagar, ocuparlas en una tercera parte, y pagar 2000 pesetas para que ello no ocurra, ocupar dos terceras partes y pagar 4000, y ocuparlas todas, con una valoración de la pérdida de bienestar en 5000 pesetas. Las personas entrevistadas debían ordenar esas opciones de acuerdo con sus preferencias.

Se aplicó un modelo probit de ordenación para calcular la máxima disposición a pagar de la persona media por una variación marginal en la ocupación de las ZEPA. Dicho modelo es el más aconsejable en este contexto (Layton, 1995), a pesar de detectarse un cierto grado de multicolinealidad entre las variables precio y cantidad.

Los resultados obtenidos muestran que los habitantes de la región metropolitana otorgan un valor positivo a la protección de los humedales aunque no los hayan visitado nunca, ni tengan intención de hacerlo. En concreto, un valor de 28,38 pesetas por habitante y punto porcentual de pérdida de superficie de la ZEPA. Este es el valor de una variación porcentual respecto a la media de la variable de cantidad (porcentaje de ocupación). Extrapolando este resultado, se puede obtener el valor para diferentes grados de ocupación. Se parte aquí del supuesto simplificador de que el valor de una variación porcentual se mantiene para todos los niveles de pérdida del bien ambiental, ya sea para pasar del 0 al 10%, del 0 al 20% o a cualquier otra variación. Según datos del proyecto aprobado, el grado de ocupación de las ZEPA sería del 21,61%.

Realizando los cálculos anteriores, para una población de 3,6 millones de personas, se obtiene que el coste social en términos de destrucción de este bien ambiental es de 2.207.850.480 pesetas, en valores de 1998.

· *Impacto ambiental: contaminación acústica*

La contaminación acústica es la externalidad ambiental que más a menudo se asocia a los proyectos de inversión en aeropuertos. Según los estudios del proyecto de ampliación del aeropuerto del Prat, el ruido debería disminuir a lo largo de los próximos años debido

a la más estricta regulación y las consecuentes mejoras en los aviones. Sin embargo, el incremento en el número de vuelos tras la ampliación tiene un efecto de signo contrario. Las simulaciones realizadas muestran que la huella acústica alrededor del aeropuerto varía ligeramente, sin afectar a nuevas zonas residenciales. Las aproximadamente 1000 viviendas actualmente afectadas lo seguirán estando con la ampliación. Las simulaciones muestran también que los dos efectos, de signo contrario, se compensan aproximadamente. Es decir, que el mayor número de vuelos hace que no se produzcan variaciones apreciables en el nivel de ruido del entorno a pesar de la mejora legislativa y tecnológica.

Este fue el escenario de mercado simulado en el ejercicio de valoración contingente. Para una explicación de esta técnica, véase, por ejemplo, Mitchell y Carson (1989). Se solicitó a la persona entrevistada si estaría de acuerdo en pagar, de una sola vez, una determinada cantidad de pesetas a cada hogar afectado por la no reducción del ruido hasta un nivel prefijado y conocido por dicha persona. La explotación de esta pregunta en formato de referéndum, se realizó mediante un modelo logit, de elección discreta.

Sólo un 16% de los encuestados estaban dispuestos a compensar a las familias más directamente afectadas por la no variación en el nivel de ruido generado por los aviones en los alrededores del aeropuerto. Los individuos que estaban dispuestos a compensar a dichas familias, pagarían, entre todos un total de unas 937 mil pesetas a cada familia, mientras que el resto pagaría 0 pesetas. En promedio, el valor por habitante de la externalidad sobre cada familia afectada sería de casi 150 mil pesetas de 1998. El número de familias más directamente afectadas es de aproximadamente 1.000. Operando, se obtiene, a efectos del análisis coste-beneficio, un valor total de la externalidad de 149.903.387 pesetas, es decir, unos 150 millones de pesetas, en valores de 1998.

· *Impacto ambiental: contaminación atmosférica*

Los aeropuertos son una fuente relativamente importante de contaminación atmosférica. En la actualidad, la aviación contribuye en un 3 por ciento al total de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, según datos facilitados por la compañía British Airways.

Por lo que se refiere al aeropuerto del Prat, el aumento de tráfico aéreo tras la ampliación conllevará un incremento en las emisiones de contaminantes a la atmósfera. A efectos de estimación, se realiza el supuesto de que la contaminación en la Región Metropolitana de Barcelona debida al tráfico aéreo se encuentra en la misma proporción que a nivel mundial, es decir, un 3 por ciento y que esta proporción se mantendrá fija en el periodo de estudio, ya que también aumentarán las emisiones de otras fuentes. En caso de no ampliarse el aeropuerto, este porcentaje sería inferior. Se realiza el supuesto adicional de que la aportación de contaminación atmosférica del nuevo tráfico aéreo es directamente proporcional al número de pasajeros/año del aeropuerto. Por ejemplo, en el periodo donde se alcanzan los 40 millones de pasajeros/año, la aportación global sería del 3 por ciento, mientras que si no se hubiera ampliado el aeropuerto, la aportación sería del 1,5 por ciento, correspondiente a 20 millones de pasajeros para aquel mismo año. De esta forma se estima para cada periodo el incremento de contaminación debido al aumento de capacidad del aeropuerto.

La valoración de este aumento de la contaminación atmosférica se realiza a partir de los

valores monetarios obtenidos por Riera y Penín (1997). Estos autores estimaron mediante preferencias declaradas, el valor medio de una reducción de un 1% en la contaminación atmosférica de Barcelona y Madrid en 1.264 pesetas por habitante mayor de edad, en valores de 1995 (1.350 pesetas de 1998). Multiplicando este valor individual por los 3,6 millones de habitantes de la Región Metropolitana mayores de 18 años, se obtiene el valor total de una reducción del 1%. Operando con los datos anteriores se llega a los resultados que se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Costes de la contaminación atmosférica debida a la ampliación del aeropuerto, en millones de pesetas de 1998

Año	Coste	Año	Coste	Año	Coste
2004	2.064	2005	2.773	2006	3.335
2007	3.870	2008	4.380	2009	4.866
2010	5.328	2011	5.684	2.012	6.026
2013	6.355	2014	6.671	2015	6.976
2016	7.197	2017	7.412	2018	7.621
2019	7.823	2020	8.020	2021	6.367
2022	6.182	2023	6.002	2024	5.827
2025	5.657	2026	5.492	2027	5.332
2028	6.177	2029	5.026	2030	4.880
2031	4.738				

4. Resultados

A partir de los flujos de valores obtenidos para las distintas variables relevantes, y considerando un periodo de vida útil de la infraestructura de 30 años, y una tasa real de descuento del 4 por ciento, se calculan algunos de los indicadores de la rentabilidad social del proyecto. Los resultados del cálculo del valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y cociente entre beneficios y costes (B/C), se recogen en la tabla 5.

Tabla 5. Indicadores de rentabilidad

VAN*	3.167.585.367.884 pts 19.037.571.478 Euros
TIR	31,25%
B/C	13,65

*en valores de 1998, referidos al año inicial de la inversión, 2000.

En este caso, no es posible comparar el resultado con las inversiones en ampliación de otros aeropuertos, dado que no hemos encontrado ninguno de referencia. Pero sí se puede comparar con inversiones en carreteras o transporte ferroviario, donde es habitual encontrar tasas internas de retorno de un solo dígito, y en promedio algo inferiores al 20 por ciento (Comisión de las Comunidades Europeas, 1994). Con un VAN cercano a 3,2 billones de pesetas de 1998, una rentabilidad social anual media del 31 por ciento y unos beneficios 13 veces y media superior a los costes, la principal conclusión que se extrae es que el proyecto de ampliación del aeropuerto del Prat es muy rentable en términos

sociales, ya que todos los indicadores son muy elevados para proyectos de inversión en infraestructuras de transporte.

Adicionalmente, los beneficios están seguramente algo subestimados, tal como se ha indicado, al no considerar la aportación del transporte de mercancías y al suponer que el tiempo y comodidad de acceso al avión y de aterrizaje y despegue no se ve afectado por la limitación de capacidad del aeropuerto.

Uno de los supuestos seguramente más discutibles es el del valor utilizado en la elasticidad-precio de la demanda. Para ver la influencia de dicho supuesto, se realiza un análisis sensibilidad. Si en lugar de partir del supuesto de elasticidad-precio de la demanda igual a -1,5, se partiera de los supuestos de elasticidad igual a -1 o a -2, las TIR resultantes serían del 36,77% y 27,76%, respectivamente, en lugar del 31,25% anterior. En cualquier caso, la conclusión sobre la rentabilidad del proyecto no parece variar substancialmente con los nuevos valores.

5. Conclusiones

Se ha realizado un análisis coste-beneficio de la propuesta de inversión para ampliar la capacidad del aeropuerto del Prat, en Barcelona. El resultado de la estimación es que se trata de un proyecto socialmente rentable, con una TIR del 31,25 por ciento, un VAN de 3,2 billones de pesetas de 1998, y unos beneficios 13,65 veces mayores que los costes, aplicando una tasa real de descuento del 4 por ciento. Estos resultados tienden a estar subvalorados en la medida en que sean relevantes beneficios como la mejora de comodidad, menor tiempo de espera para los pasajeros y mayor volumen de transporte de mercancías.

Además de constituir una novedad la aplicación del análisis coste-beneficio, y no sólo coste-efectividad, a este tipo de proyectos, el trabajo presenta la inclusión en dicho análisis de tres impactos ambientales: ruido, ocupación de zonas húmedas y contaminación atmosférica. El del ruido, se estimó mediante el método de valoración contingente. La ocupación de partes de las zonas húmedas protegidas se valoró mediante ránking contingente. El valor de la contaminación atmosférica, en cambio, se transfirió de otro estudio realizado para el área de Barcelona y Madrid. Las estimaciones realizadas muestran como la externalidad del ruido es la menos relevante en la ampliación del Prat, quizás por su localización cercana al mar y el número relativamente reducido de hogares afectados. La escasa relevancia social de este efecto se detectó también en el análisis de actitud de la población, presentado en la sección 2 de "características del proyecto". La externalidad más importante es la de la contaminación atmosférica, quedando en un plano intermedio la ocupación parcial de la ZEPA del delta del Llobregat.

Bibliografía

- ABRAHAMS, Stan (1992) "Safety and cost effectiveness in aviation", *Project Appraisal*, vol. 7, nº 4.
- CALVO, Francisco y Alfredo Morales (dirs.) (1998) *Potencial de captación y generación de tráfico del aeropuerto de Alicante*, Madrid: Editorial Cívitas.

- COHEN, Jeffrey P. (1997) "Some issues in benefit-cost analysis for airport development", *Transportation Research Record*, nº 1567, pp. 1-7.
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (1994) *Guía para el análisis de coste-beneficio de grandes proyectos*, Bruselas: Dirección General de Políticas Regionales.
- COMMISSION ON THE THIRD LONDON AIRPORT (1971) *Report*, Londres: Her Majesty's Stationery Office.
- DE RUS, Ginés, Lourdes Trujillo, Concepción Román y Pedro Alonso (1996) *Impacto económico del aeropuerto de Gran Canaria*, Madrid: Editorial Cívitas.
- DIRECTORATE-GENERAL TRANSPORT (1996) *Cost-benefit and multicriteria for nodal centres for goods*, Luxemburgo: Comisión Europea.
- FROMM, Gary (1962) *Economic criteria for Federal Aviation Agency expenditures*, Report to the Aviation Research and Development Service, Federal Aviation Agency,.
- GARCÍA, Antonio, Guillermina Martín y José María Otero (1996) *El impacto de los aeropuertos sobre el desarrollo económico, métodos de análisis y aplicación al caso del aeropuerto de Málaga*, Madrid: Editorial Cívitas.
- GARCÍA, José y Francisco Pérez (1996) *Metodología y medición del impacto económico de los aeropuertos: el caso del aeropuerto de Valencia*, Madrid: Editorial Cívitas.
- GUADAGNI, Alieto y Eugenio Negre (1979) "Inversión en infraestructura aeroportuaria. Una aplicación del análisis de costo-beneficio", *Económica*, vol. 24, nº 1-3, pp. 33-70.
- HEATH, J. B. y W. N. Oulton (1973) "A cost-benefit study of alternative runway investments at Edinburgh (Turnhouse) airport" in J. N. Wolfe (ed.) *Cost benefit and cost effectiveness. Studies and analysis*, Londres: George Allend & Unwin.
- HOTELLING, Harold (1938) "The general welfare in relation to the problems of taxation and of railway and utility rates" *Econometrica*, vol. 36, nº 3, pp. 242-269.
- KEECH, Ward L. (1982) *Economic values for evaluation of Federal Aviation Administration investments and regulatory programs*, Washington D.C.: U.S. Department of Transportation, Office of Aviation Policy and Plans.
- LAYTON, David Frost (1995) *Specifying and testing econometric models for stated preference surveys*, Ph.D. Dissertation, University of Washington.
- MACKIE, P. J. (1983) "Appraisal of regional airport projects -a case study" in K. J. Button y A. D. Pearman (eds.) *The practice of transport investment appraisal*, Hants: Avebury.
- MITCHELL, Robert y Richard Carson (1989) *Using surveys to value public goods: the contingent valuation approach*, Washington: Resources for the Future.
- NOAH, J. W., R. A. Groemping, J. E. Berteman y O. L. Greynolds (1977) *Cost benefit analysis and the national aviation system -A guide*. Report to the US Department of Transportation, Report nº FAA-AVP-77-15.
- NWANERI, V. C. (1970) "Equity in cost-benefit analysis. A case study of the Third London Airport", *Journal of Transport Economics and Policy*, nº 4 (3), pp. 235-254.
- ODY, J. G. (1969) "Application of cost-benefit analysis to airports. The case of Nicosia, Cyprus", *Journal of Transport Economics and Policy*, nº 4 (3), pp. 322-332.
- OUM, Tae Hoon, W. G. Waters y J. Yong (1992) "Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol

30, pp. 139-154.

RIERA, Pere y Roberto Penín (1997) "The use of contingent ranking for variations in air quality valuation due to transportation projects", *PTRC Transport, Highways and Planning, Seminars C and D*, Londres, pp. 465-480.

ROBUSTÉ, Francesc y Joan Clavera (1997) *Impacto económico del aeropuerto de Barcelona*, Madrid: Editorial Cívitas.