

Efectes de les regulacions ambientals sobre la demanda de transport aeri

J. Asensio, A. Matas i J. Perdigüero
Universitat Autònoma de Barcelona

X. Fageda
Universitat de Barcelona

ABSTRACT

Un dels reptes als quals s'enfronta l'aviació és la reducció del seu impacte ambiental, que passa necessàriament per un increment de les tarifes. En aquest context, l'article estima quins augments de preus serien necessaris per assolir diferents objectius de variació del nombre de passatgers. A partir de l'estimació d'un model de demanda, i sota diferents escenaris, l'estudi mostra que l'augment de preus necessari per assolir un creixement nul o negatiu del nombre de passatgers en vols de Barcelona i Madrid als Estats Units hauria de ser elevat, entre 3 i 5 punts percentuals més cada any respecte un escenari de no actuacions. Aquesta discussió és rellevant en el debat actual sobre la conveniència de l'ampliació de l'aeroport de Barcelona. L'avaluació de l'ampliació hauria de tenir en compte que no es poden esperar els creixements del trànsit dels últims anys en la mesura que les preocupacions mediambientals seran cop més rellevants.

Paraules clau: transport aeri; elasticitat-preu; contaminació; passatgers; aeroports

1. Introducció

Un dels grans reptes als quals s'enfronta l'aviació és la reducció del seu impacte ambiental. Actualment, l'aviació representa al voltant del 3% de les emissions globals de CO₂, però el seu impacte climàtic s'estén més enllà atès que les emissions que no són de CO₂ a gran altitud multipliquen el seu impacte. Per tant, l'efecte global de l'aviació en termes d'emissions equivalents a

l'escalfament de CO₂ és d'aproximadament un 6% (Lee et al., 2021). A més, atès l'important creixement del trànsit dels darrers anys (amb el breu parèntesi provocat per la pandèmia de Covid), ha estat una de les fonts d'emissions amb majors increments relatius de la seva contribució al canvi climàtic (Eurostat, 2022).

Les opcions tecnològiques disponibles per reduir la intensitat de les emissions (és a dir, emis-

sions per seient-km) són actualment limitades. Algunes tecnologies disruptives potencialment aplicables, com ara el control de flux laminar, la propulsió de rotor obert i els dissenys de doble bombolla, encara han de superar grans obstacles tècnics i econòmics, la qual cosa significa que no són opcions viables per a l'aviació comercial en un futur immediat (Graham et al., 2014). Així mateix, l'ús d'hidrogen verd està molt lluny de ser tècnicament factible (Boretti, 2021). Per tant, el principal canvi tecnològic del sector ha estat el desenvolupament d'avions més nous amb combustibles convencionals, més nets i silenciosos (Fageda i Teixidó, 2023). En aquest sentit, un altre canal per reduir la intensitat d'emissions de les aeronaus durant els propers anys és l'ús de biocombustibles. No obstant això, els biocombustibles s'enfronten a reptes importants, com ara costos elevats de reducció de CO₂, augments de preus més pronunciats en comparació amb el combustible per a avions, la manca de matèries primeres suficients i la necessitat d'una inversió important de capital en infraestructures de biorefinació (Staples et al., 2018; Pavlenko et al., 2019).

Més enllà dels canvis tecnològics que han d'adoptar les companyies, s'han posat en marxa mesures basades en el mercat que tenen per finalitat reduir la demanda de transport aeri per tal d'incidir en la reducció d'emissions. Essencialment, aquestes mesures comprenen la fixació d'un impost sobre el carboni i el comerç de drets d'emissions (ETS, per les seves sigles en anglès). Encara que l'aviació es va incloure en el sistema europeu de drets d'emissió (EU-ETS) l'any 2012, el fet que finalment quedés restringit als vols interns a la UE explica que el seu impacte hagi estat limitat. Els estudis empírics posen de manifest que, si bé les emissions de les rutes afectades per aquest mecanisme s'han reduït respecte les emissions de les rutes no afectades, en termes

absoluts han continuat creixent. També cal assenyalar que aquesta reducció ha operat fonamentalment via la disminució de la freqüència de vols, confirmant que les opcions per incloure noves tecnologies són limitades (Fageda and Teixidó, 2022, 2023; Kang et al., 2022; De Jong, 2022). Pel que fa les taxes sobre les emissions de carboni (o també les taxes aeroportuàries), no han tingut l'efecte esperat, atès que fins ara aquestes taxes són molt baixes (Fageda i Flores-Fillol, 2023; Markham et al., 2018). Per últim, cal mencionar que l'Organització d'Aviació Civil Internacional ha promogut l'esquema global de compensació i reducció de carboni per a l'aviació internacional (CORSIA) que serà vinculant per a la majoria de vols internacionals (fora de l'àmbit de l'ETS de la UE) a partir del 2027. Aquest esquema requereix que les companyies aèries que operen als països participants compensin el creixement de les emissions (amb relació al 2019) mitjançant la compra de certificats d'emissió. No obstant això, l'esquema és menys estricte i els seus objectius són més limitats que els de l'ETS de la UE i, com a tal, s'ha posat en dubte la seva eficàcia en la reducció d'emissions (Larsson et al., 2019; Scheelhaase et al., 2018; Mayer i Ding, 2023).

En qualsevol cas, totes les mesures implementades, o d'aplicació en un futur proper, per reduir les emissions en el transport aeri impliquen un augment dels costos de les companyies aèries que s'acabarà traslladant en major o menor grau en un augment dels preus. En condicions de competència imperfecte, les aerolínies reaccionaran a un augment dels costos reduint l'oferta i augmentant els preus per maximitzar els seus beneficis. Els increments de preu es traduiran en menor demanda.

Un treball recent pels països de l'àrea de l'OCDE (ITF, 2024) conclou que, per assolir l'objectiu d'emissions zero pel transport aeri l'any 2050,

seria necessari un augment mitjà de les tarifes entre el 25 i el 30% respecte un escenari de referència que contempla l'aplicació de les mesures vigents actualment. La major part de la reducció de les emissions vindria determinada per la reducció dels passatgers-kilòmetre recorreguts com a conseqüència de l'augment dels preus, i per l'ús de carburants sostenibles (SAF). La reducció estimada dels passatgers-kilòmetre se xifra en un 30%.

En un context on la reducció de les emissions passa necessàriament per un increment de les tarifes aèries, aquest article té per objectiu estimar quins augments de preus serien necessaris per assolir diferents objectius de variació del nombre de passatgers. Per respondre a aquesta pregunta, estimem un model de demanda de passatgers per als vols entre els Estats Units i l'Europa occidental. Utilitzem dades de passatgers i de tarifes de Sabre per al període 2010-2019 per cada parella d'aeroports, inclosos els passatgers locals i de connexió. Com a variables de control, incloem la renda per càpita, la població, els vols a aeroports centrals i variables fictícies per identificar les connexions sense escales i les companyies aèries de baix cost. A partir de l'equació estimada i sota diferents escenaris per a les variables explicatives dels passatgers, predim el creixement de la demanda per al període 2023-2032. Aquests escenaris inclouen una previsió de les tarifes aèries d'acord amb l'evolució esperada del preu del querosè. Finalment, es desenvolupa un algorisme per tal d'identificar quins serien els augments de preus necessaris per assolir una taxa de creixement dels passatgers del 0% i del -15%. Aquests dos valors s'han escollit a efectes d'il·lustrar com varien els preus en dues situacions diferenciades, sense que responguin, però, a cap política concreta.

Encara que el model de demanda s'ha estimat amb dades dels vols intercontinentals entre Europa occidental i Estats Units, en aquest article s'identifiquen les prediccions de demanda i les simulacions de preus per les principals rutes entre els aeroports de Barcelona i Madrid i els aeroports de destinació als Estats Units. El fet que la reducció d'emissions passi per una disminució del nombre de passatgers té implicacions directes en el debat sobre la necessitat d'ampliar els aeroports per tal de reduir els problemes de congestió i donar cabuda a una major demanda potencial.

L'article s'estructura de la següent manera. Després d'aquesta introducció, la segona secció descriu les dades utilitzades per estimar les funcions de demanda. A l'apartat tercer presentem l'enfocament metodològic i els resultats dels models estimats de demanda de passatgers. A l'apartat quatre, després de definir els diferents escenaris, presentem els resultats de les simulacions. Una discussió sobre el paper que poden tenir les polítiques tarifàries per reduir el dany ambiental del transport aeri tanquen l'estudi.

2. Dades

Mesurem la demanda de viatges com a volum anual de passatgers d'origen a destinació a nivell d'aeroport, inclosos els vols directes i les escales, entre els Estats Units i Europa occidental durant el període 2010-2019. Les dades originals provenen de dades mensuals proporcionades per Sabre que s'han agregat a nivell anual. La mostra inclou rutes amb almenys 1.000 passatgers en qualsevol dels mesos del període. Hem construït un conjunt de dades de panell equilibrat amb 1383 rutes observades del 2010 al 2019.

Per estimar la funció de demanda és necessari identificar l'àrea d'influència o zona de captació de l'aeroport. Tenint en compte l'objectiu d'aquest article, necessitem que la definició de l'àrea de captació sigui compatible amb la mesura de les característiques del mercat que es puguin incloure en el model empíric de manera coherent i comparable als Estats Units i Europa occidental. Per tant, ens hem de basar en les definicions utilitzades per les autoritats estadístiques quan proporcionen informació a nivell subnacional. Seguint les definicions de l'OCDE, hem seleccionat el nivell TL3 per als Estats Units i el nivell NUTS2 corresponent per a Europa. Cada aeroport s'ha assignat a una sola regió en funció de la seva ubicació geogràfica

Les variables explicatives s'han seleccionat segons tres criteris. En primer lloc, d'acord amb la literatura, seleccionem aquelles variables que tenen un impacte significatiu en la demanda de vols intercontinental. En segon lloc, seguim una estratègia parsimoniosa intentant aconseguir el màxim poder predictiu amb un nombre limitat de variables explicatives. El motiu per seguir aquesta estratègia és que a l'hora de pronosticar a mig i llarg termini la principal font d'incertesa prové de les prediccions de les variables explicatives del model. Així, reduïm el nivell d'incertesa seleccionant un nombre baix de variables amb gran poder predictiu. En tercer lloc, també tenim en compte la disponibilitat de dades.

Les variables es poden classificar en dos grups: per un costat atributs de rutes i companyies aèries, i per altre característiques socioeconòmiques. La taula 1 defineix les variables seleccionades i presenta la seva mitjana i desviació estàndard. Pel que fa als atributs de la ruta, la nostra principal variable d'interès és la tarifa pagada, que es calcula amb les dades de Sabre

i correspon a la tarifa mitjana mensual en dòlars de la ruta. A més, considerem cinc variables que aproximen la qualitat de servei i altres característiques específiques relacionades amb el tipus de companyia aèria o aeroport. La primera és una variable binària per a rutes amb serveis sense escales que pren el valor 1 quan la ruta té un vol directe, i 0 en cas contrari. Com que els serveis sense escales redueixen el temps de viatge i milloren la comoditat del vol, esperem un signe positiu per a aquesta variable. En segon lloc, incloem una variable binària que pren el valor 1 per a les rutes on les companyies aèries de baix cost ofereixen vols. Les companyies aèries de baix cost poden estimular el trànsit mitjançant tarifes més baixes i campanyes de màrqueting més agressives. Així, també esperem un signe positiu per a aquesta variable. A continuació, creem dues variables dicotòmiques, que prenen el valor 1 quan l'aeroport és un hub per a una companyia aèria de xarxa, ja sigui a l'origen o a la destinació de la ruta. De nou, esperem un signe positiu per a aquesta variable, ja que les companyies aèries de xarxa concentren el seu vols i connecten passatgers per a serveis de llarg recorregut als seus hubs. La quarta variable és el nombre de vols tant des dels aeroports d'origen com des de la destinació de la ruta de la companyia. Idealment, ens agradaria incloure una variable que reflecteixi la comoditat de les connexions en termes de temps d'escales més baixos. Atès que aquesta informació no està disponible, considerem aquesta variable com un indicador de la qualitat de les connexions. Finalment, hem construït una variable binària que pren el valor 1 quan l'origen i la destinació tenen un hub de companyies aèries dins de la mateixa aliança o Joint Venture (JV). Esperem un efecte positiu per a aquesta variable donat que la coordinació d'horaris hauria de ser millor en les rutes inter-hub amb socis de la mateixa JV.

Pel que fa als factors socioeconòmics, les variables seleccionades són la població de les dues regions connectades, el seu PIB per càpita i una variable binària per a rutes que tenen una destinació turística important a cada extrem. Donada la manca d'informació sobre els fluxos turístics entre regions, utilitzem una variable binària per identificar les principals destinacions turístiques. Esperem una relació positiva entre la demanda i tots els factors socioeconòmics. De fet, la demanda hauria de ser més alta quan la ruta connecta regions més poblades i més riques o quan inclou una destinació turística important.

Les dades mostren un alt nivell de variabilitat tant entre rutes com entre regions, ja que la desviació estàndard en relació amb la mitjana és alta per a totes les variables. També és destacable que al voltant del 37% de les observacions tenen vols sense escales, mentre que les companyies aèries de baix cost tenen una presència marginal a la nostra mostra. En canvi, al voltant de dos terços de les observacions impliquen aeroports hub de companyies aèries de xarxa.

Taula 1. Estadístics descriptius
(mitjana del període 2010-2019)

Variable	Mitjana	Desv. Est.	Font
Variable dependent			
Passatgers. Mitjana passatgers entre origen i destinació	25,040	50,359	Sabre
Atributs de ruta i aerolínea			
Tarifes. Tarifa mitjana pagada per passatger (dòlars deflactat per l'IPC)	712	347	Sabre
Vols directes. Variable binària que pren el valor 1 quan el vol es directa i 0 en cas contrari	0.368	0.482	Sabre
Low cost. Variable binària que pren el valor 1 si a la ruta hi ha companyies de baix cost	0.029	0.168	Airbus i Sabre
Hub origen. Variable binària que pren valor 1 si hi ha un hub a l'aeroport d'origen	0.660	0.474	Sabre
Hub destinació. Variable binària que pren valor 1 si hi ha un hub a l'aeroport de destinació	0.656	0.475	Sabre
Vols d'origen d'aeroport hub. Numero de vols que té l'aeroport d'origen quan és un hub	6001	7652	Airbus i Sabre
Vols de destinació d'aeroport hub. Numero de vols que té l'aeroport de destinació quan és un hub	6053	7689	Airbus i Sabre
Joint Venture (JV). Variable binària que pren el valor 1 quan l'origen i la destinació són hubs de companyies de la mateixa aliança	0.101	0.302	Airbus

Factors socioeconòmics			
Població de la regió d'origen (nombre de persones)	7,988,166	6,198,696	OCDE
Població de la regió de destinació (nombre de persones)	8,040,048	6,252,887	OCDE
PIB per càpita de la regió d'origen (dòlars, preus constants de 2015)	58,197	17,555	OCDE
PIB per càpita de la regió de destinació (dòlars, preus constants de 2015)	58,254	17,462	OCDE
Destinació turística. Variable binària que pren el valor 1 quan l'origen o la destinació de la ruta es una destinació turística, i 0 en cas contrari	0.120	0.325	Fageda i Flores Fillol (2012)

3. Model estimat i resultats

La demanda es prediu d'acord amb un model gravitacional. Aquest model ha estat àmpliament utilitzat en l'anàlisi de la demanda de fluxos de viatges i mercaderies entre parells de ciutats (vegi's, per exemple, Grosche et al. (2007), Wadud (2011), Chang (2014) and Zhang et al. (2018)). El model gravitatori suposa que el volum d'interacció (viatges) entre dues zones està directament relacionat amb el volum d'activitat econòmica en cadascuna d'elles (ocupació, disponibilitat de béns i serveis, renda, nombre d'empreses, etc.) i indirectament al cost econòmic de realitzar aquest viatge (distància, preu, temps de viatge, freqüència de pas, temps d'accés i sortida de les terminals i nombre de transbordaments). A més, donada la seva estructura multiplicativa, quan es prenen logaritmes a les dues bandes de la igualtat s'obté una funció de demanda doble-logarítmica els paràmetres de la qual són fàcilment interpretables en termes econòmics: els signes dels coeficients que mesuren la capacitat de generar viatges des de l'origen i el grau d'atracció de la destinació han de ser positius, mentre que els que mesuren els costos de la distància o els inconvenients del viatge han de ser negatius.

El model estimat es pot expressar com:

$$PAX_{it} = f(P_{it}, X_{it}, Y_{it})$$

on PAX_{it} és el nombre de passatgers a la ruta i a l'any t

on PAX_{it} és el nombre de passatgers a la ruta i a l'any t

P_{it} és la tarifa per la ruta i a l'any t

X_{it} és la matriu dels atributs de la ruta

Y_{it} és la matriu de les variables socioeconòmiques

Totes les variables continues estan en logaritmes, excepte aquelles que poden prendre el valor 0 per algunes observacions.

En els models gravitacionals, la distància entre origen i destinació es considera un factor d'impedància amb un impacte negatiu en la demanda. En estimacions preliminars, vam incloure la distància com una variable explicativa que, bé no va ser significativa, o bé prenia signe positiu. Aquest resultat no esperat s'explica pel fet de que la nostra mostra inclou només viatges intercontinentals de llarga distància, amb una escassa variabilitat per aquesta variable, i sense alternatives factibles a l'avió. Per aquest motiu la distància no s'inclou en el model.

Un problema en l'especificació d'un model de demanda és el de la potencial endogeneïtat de les variables explicatives, que pot sorgir a causa de la causalitat inversa o de variables omeses. Com que cap model empíric és capaç de tenir en compte tots els factors que expliquen la demanda (per exemple, tenir en compte les diferències de gustos o l'impacte d'una campanya de promoció turística cap a una destinació determinada), aquests efectes seran captats pel terme residual o d'error del model. L'impacte d'un xoc no observat en la demanda serà captat per les variables de preu o freqüència, donant lloc a coeficients esbiaixats en la funció de demanda. En el nostre cas, la variable més problemàtica a través de la qual es pot produir aquest biaix és el preu. Quan l'objectiu d'estimar la funció de demanda és fer una anàlisi causal, s'ha de buscar una tècnica per corregir aquest biaix. El més habitual és l'ús de variables instrumentals. Tanmateix, quan s'estima la funció de demanda amb l'objectiu de predicció, l'aplicació de MCO condicionada a la variable endògena (el preu, en el nostre cas) proporcionarà prediccions no esbiaixades. Per contra, si fem servir variables instrumentals per obtenir una predicció no esbiaixada del coeficient de regressió i fem la predicció condicionada al preu i no a l'instrument, la predicció estarà esbiaixada (Vegeu Goldberger (1991), pàgines 340-346). Davant les dificultats per trobar un instrument per a la variable preu que inclogui els seus valors futurs, i atès que l'objectiu del treball és predictiu, hem optat per no instrumentar aquesta variable i realitzar inferència condicionada al preu.

L'equació s'ha estimat segons tres especificacions economètriques diferents: dades agrupades, efectes fixos i efectes fixos amb una estructura dinàmica. El model de dades agrupades considera tant la variabilitat entre rutes com la variabilitat dins d'una ruta al llarg del temps. El model d'efectes fixos inclou variables binàries

de ruta com a regressors. L'avantatge del model d'efectes fixos és que capta la influència de factors no observables que no varien amb el temps. És el model preferit quan l'anàlisi se centra en l'impacte que una variable específica pot tenir sobre la variable dependent, així com quan la inferència està condicionada a les rutes específiques incloses en la mostra, mentre que el model de dades agrupades fa referència a la inferència per tota la població. Un desavantatge rellevant del model d'efectes fixos de ruta és que només considera la variabilitat dins d'una ruta, i descarta la variabilitat entre rutes. A més, els coeficients estimats són més difícils d'interpretar per a la predicció, ja que es basa en la transformació de les dades en termes de variacions sobre la mitjana de cada ruta.

Atès que les nostres dades tenen una dimensió temporal, estímem una tercera especificació amb efectes dinàmics. Els models dinàmics permeten distingir entre els impactes a curt i llarg termini de qualsevol variable explicativa sobre la dependent. L'ajust dinàmic queda captat per la introducció de la variable dependent desfasada com a variable explicativa addicional. En el nostre cas, s'ha limitat el desfàs a un any. Així, l'elasticitat de la demanda a curt termini és la resposta de la demanda a un canvi en la variable explicativa que es produeix durant el primer any, mentre que l'elasticitat a llarg termini mesura el canvi complet de la demanda, que requerirà més d'un any.

La taula 2 presenta els resultats de l'estimació dels models de dades agrupades (1), efectes fixos (2) i dinàmic (3). Quan utilitzem efectes fixos, exclouem aquelles variables explicatives que es mantenen constants o gairebé constants al llarg del temps. En aquest cas són la presència de joventures (JV), la característica de ruta turística, si l'origen o destinació són hubs i la població a l'origen o destinació.

Taula 2. Models de demanda estimats

VARIABLES	(1) Ln(passatgers)	(2) Ln(passatgers)	(3) Ln(passatgers)
Ln(tarifa)	-0.232*** (0.0183)	-0.588*** (0.0315)	-0.403*** (0.0262)
Nonstop	0.994*** (0.0178)	0.558*** (0.0376)	0.360*** (0.0262)
Lowcost	0.500*** (0.0474)	0.443*** (0.0855)	0.290*** (0.0514)
JV	0.122*** (0.0206)		
Hub_origen	0.296*** (0.0196)		
Hub_destinació	0.339*** (0.0198)		
Vols_hub_origen	2.78e-05*** (1.27e-06)	8.64e-05*** (8.07e-06)	1.98e-05*** (5.50e-06)
Vols_hub_destinació	2.47e-05*** (1.27e-06)	7.63e-05*** (7.95e-06)	1.57e-05*** (5.40e-06)
Ruta turística	0.412*** (0.0247)		
Ln(pibpc_origen)	0.275*** (0.0252)	0.422*** (0.0772)	0.286*** (0.0500)
Ln(pibpc_destinació)	0.244*** (0.0257)	0.401*** (0.0761)	0.272*** (0.0490)
Ln(població_origen)	0.159*** (0.0104)		
Ln(població_destinació)	0.127***		
	(0.0103)		
Ln(passatgers(-1))			0.557*** (0.0239)
Constant	-0.375 (0.527)	3.054** (1.312)	0.373 (0.877)
Observacions	13,880	13,880	12,492
R ²	0.539	0.505	0.699
Mostra	ALL	ALL	ALL
Efectes fixos ruta	NO	YES	YES
Efectes fixos any	NO	NO	NO
Efectes fixos mes	YES	YES	YES
Número rutes	1,388	1,388	1,388

El grau d'ajust dels models és relativament alt amb valors de l' R^2 que oscil·len entre 0,51 i 0,70. Aquests valors són remarcables atès que la mostra utilitzada inclou centenars de rutes, amb molts factors no observables específics de cadascuna d'elles. En el model dinàmic, el valor de la variable dependent desfasada és igual a 0,56 i estadísticament significatiu. Com era d'esperar, hi ha una important inèrcia en l'evolució de la demanda al llarg del temps.

Els resultats mostren la relació negativa esperada entre la demanda i les tarifes. L'elasticitat estimada en els models estàtics de dades agrupades i efectes fixos són, respectivament, -0,23 i -0,59. Segons el model dinàmic, el coeficient estimat per la tarifa representa l'efecte a curt termini que és igual a -0,40. L'efecte total (elasticitat a llarg termini), que es calcula tenint en compte el coeficient estimat per a la variable dependent desfasada, és igual a -0,911. Així, a llarg termini, l'elasticitat-preu de la demanda de transport aeri en aquest mercat és molt propera a la unitat.

Els coeficients estimats per les característiques demogràfiques i econòmiques regionals a l'origen i a la destinació de cada ruta tenen sempre els signes esperats. Els coeficients de les variables de població, PIB per càpita i les binàries de les principals destinacions turístiques són positius i estadísticament significatius (5%). En la mateixa línia, les variables relacionades amb el servei (binàries per a serveis sense escales i aeroports hub, binàries per a joint ventures i companyies aèries de baix cost, i vols a/o des de hubs) també mostren l'esperat coeficient positiu i són estadísticament significatives en tots els casos.

Per tal de predir la demanda per al període 2023-2032 i realitzar les diferents simulacions, cal escollir una de les tres especificaci-

ons. Donades les característiques del conjunt de dades, el fet que la inferència només es pot condicionar a les rutes incloses a la mostra i no a tota la població, fa que les especificacions d'efectes fixos siguin preferibles a les de dades agrupades. D'altra banda, tot i que el model dinàmic d'efectes fixos té un millor ajust que l'estàtic, l'ús d'un model dinàmic per a prediccions implica que a partir del segon període el valor predit de la variable dependent desfasada entra a l'equació, de manera que els errors de predicció en períodes passats es traslladen cap el futur. A partir del raonament anterior, seleccionem l'equació d'efectes fixos estàtica per a propòsits de predicció i simulació.

Finalment, entre el conjunt de rutes disponibles, hem seleccionat aquelles que connecten els aeroports de Barcelona i Madrid amb aeroports dels Estats Units. Es tracta de 27 connexions per Barcelona i 21 per Madrid. Recordem que el filtre inicial per seleccionar una ruta és que almenys hagi tingut 1000 passatgers en algun dels mesos de la mostra. Val a dir que les característiques dels trajectes en sentit invers són pràcticament les mateixes. La taula A.1 de l'annex mostra el llistat de les rutes.

4. Escenaris i simulacions

4.1. Escenaris

La predicció de la demanda de passatgers aeris es dur a terme d'acord amb tres escenaris definits segons els valors esperats de les variables explicatives del model. L'escenari base és el de referència, ja que es basa en les previsions disponibles per a les variables explicatives. Els altres dos escenaris, que anomenem "alt o optimista" i "baix o pessimista" respectivament, modifiquen els valors d'aquestes variables proporcionant una predicció de demanda de pas-

satgers més alta o més baixa. Així, en el cas de les variables demogràfiques o d'activitat econòmica, se suposa que els valors de l'escenari "alt" evolucionen de manera més positiva que en el de referència, contribuint a augmentar la demanda de trànsit aeri, mentre que en el cas del preu dels viatges l'escenari optimista utilitza valors més baixos.

El punt de partida de la predicció és l'any 2023, que als nostres efectes se suposa que equival al 2019, l'últim any no afectat per la pandèmia de la Covid-19.

Per a alguns dels atributs de la ruta, no hi ha canvis durant el període de predicció. Concretament, suposem que aquells atributs que caracteritzen els aeroports d'origen o de destinació com a hubs, rutes operades per joint ventures de companyies aèries, destinacions turístiques, prestació de vols sense escales o rutes operades per companyies de baix cost no es modifiquen durant el període de predicció, i que són el mateix en tots els escenaris.

Els valors anuals esperats del PIB per càpita estan disponibles a l'OCDE per a tots els seus estats membres associats, mesurats en dòlars constants i paritats de poder adquisitiu de 2010. Com que no hi ha dades equivalents disponibles a nivell regional (NUTS2), suposem que la taxa de canvi nacional del PIB per capita s'aplica a totes les regions de cada país. En el cas de la població, ens basem en les projeccions a nivell nacional proporcionades per les Nacions Unides. Les taxes de canvi anual resultants s'apliquen a totes les regions del país.

L'evolució dels preus de les companyies aèries s'aproxima per la del combustible d'aviació, l'evolució del qual està prevista a l'Annual Energy Outlook publicat per l'Agència d'Informació Energètica dels EUA. De la seva edició de 2022,

escollim la variable 'jet fuel', que només inclou querosè.

L'última variable explicativa per la que hem de fer una previsió de la seva evolució temporal és el nombre de vols tant des de l'aeroport d'origen com de destí cap als hubs. Cal tenir en compte que la gran majoria dels hubs situats a Europa o als Estats Units es veuen afectats per restriccions de capacitat, fet que fa pensar que el seu creixement serà molt modest en els propers anys. Fem el supòsit de que aquesta variable augmentarà un 0,5% cada any en l'escenari de referència i un 1% i un 0,2%, respectivament, en els escenaris "alt" i "baix".

Com s'ha esmentat anteriorment, prenent com a punt de partida l'escenari base, suposem una evolució més optimista i una altre de més pessimista de les variables explicatives, en un escenari "alt" i un "baix". En cada cas, modifiquem les taxes a les quals evolucionen les variables contínues augmentant (respectivament, disminuint) aquesta taxa en un 50% si afecta positivament (respectivament negativament) la demanda de viatges. Per tant, si en l'escenari de referència s'espera que el PIB per càpita augmenti un 2% en una ruta determinada, l'escenari "alt" consideraria un canvi del 3%, mentre que el "baix" el limitaria a l'1%. Si, en canvi, el canvi de referència és negatiu (per exemple, una disminució del PIB per càpita), aleshores en l'escenari "alt" la taxa de variació es redueix, mentre que augmenta en el 'baix'.

4.2. Predicció i simulació

L'objectiu del treball és simular quin ha de ser l'augment de preu per assolir els objectius de reducció de trànsit establerts. Per tenir un punt de referència amb el que comparar les simulacions sobre tarifes, hem fet la predicció dels fluxos de trànsit per al període 2023-2032

sota els tres escenaris descrits. D'acord amb el model d'efectes fixos estimat, es preveu que la taxa de creixement anual acumulada del nombre mitjà de passatgers de totes les rutes incloses a la mostra seria de l'1,38% per a l'escenari base, del 3,23% per a l'escenari alt i del 0,24% per a l'escenari baix. Per les rutes amb origen als aeroports de Barcelona i Madrid, les projeccions en taxes de creixement anual acumulades són del 0,6% i del 0,8%, respectivament, en l'escenari mitjà. Pels escenaris alt i baix els creixements serien del 1,6% i del -0,1% en el cas de Barcelona, i del 2% i del -0,1% per al cas de Madrid.

Malgrat les taxes previstes per Barcelona i Madrid són inferiors a les de la mitjana de la mostra, en cas de no prendre mesures, el creixement

previst del trànsit no permetrà complir amb els objectius d'emissions de CO₂. En aquest punt ens preguntem quin hauria de ser l'augment de tarifes per reduir la demanda respecte la prevista per tal que permetés una reducció de les emissions en línia amb les esperades. Aquest càlcul l'hem fet per dos valors esperats de la variació del trànsit entre 2023 i 2032, un augment de demanda nul i una davallada del 15%.

Tal com s'observa a la taula 3, els augments de tarifes són molt similars pels vols operats des de Barcelona i Madrid, encara que lleugerament superiors en aquesta última ciutat atès el major augment de trànsit predit. Val a dir, que aquests valors també són pràcticament coincidents amb la mitjana de totes les rutes contemplades a la mostra.

Taula 3. Taxa de creixement anual mitjà de les tarifes 2023-2030 (%)

	Demanda constant		Reducció demanda 15%	
	Barcelona	Madrid	Barcelona	Madrid
Baix	1.3%	1.5%	6.4%	6.7%
Referència	2.8%	3.1%	4.9%	4.9%
Alt	4.5%	5.1%	8.0%	8.6%

Per tenir un ordre de magnitud sobre els increments estimats, els podem comparar amb el supòsits fets sobre l'evolució de les tarifes utilitzada per predir la demanda i que es basa en l'augment esperat del preu del querosè. La taxa d'increment anual de les tarifes en termes reals és de l'1,06% en l'escenari de referència, 0,53% en l'escenari optimista i 1,59% en l'escenari pessimista. Si ens fixem en l'escenari de referència, per aconseguir frenar el creixement del trànsit a nivells de l'any 2019, les tarifes aèries s'haurien de d'eleva gairebé 3 punts percentuals més cada any respecte un escenari de no actuacions en preus, i gairebé 5 punts per

reduir la demanda un 15%.

Donat que la demanda de transport aeri és inelàstica i que cara els propers 10 anys s'espera un increment de les variables que afecten positivament el trànsit aeri -població, PIB per càpita i vols d'origen i destinació a aeroports hub- l'augment de tarifes ha de ser elevat per invertir la tendència de la demanda. Finalment, també es pot apuntar que l'augment necessari en les tarifes és més alt en els vols cap els aeroports més grans. Així, per exemple, en l'escenari de referència i per mantenir la demanda constant, en mitjana les tarifes han d'augmentar un 2,8%,

mentre que en els vols amb destinació a l'aeroport de Nova York aquest augment hauria de ser del 4,2%.

5. Discussió i conclusions

El transport aeri genera externalitats, tant positives com negatives. Entre les positives, podem destacar la generació de llocs de treball relacionats directament amb la operativa de l'aeroport i la captació d'activitats intensives en coneixement així com la promoció d'inversions, comerç i turisme de caire internacional. Tanmateix, també genera externalitats negatives, que és el focus del present treball, incloent no tan sols les emissions de CO₂ i d'altres amb efectes sobre l'escalfament global sinó també les emissions amb efectes a nivell local incloent, entre d'altres, l'òxid de nitrogen i el soroll.

Per conciliar aquest dilema entre creixement i medi ambient, la situació ideal seria fer ús de tecnologies baixes (o fins i tot neutrals) en emissions. Tanmateix, al menys en un escenari de mig termini, les opcions de canvi tecnològic disruptiu són no factibles tècnicament (cas per exemple del hidrogen verd o l'ús massiu dels biocombustibles). Per tant, si des del punt de vista polític i social es dona prioritat a la reducció del impacte ambiental de la aviació, això passa necessàriament per una reducció del número de vols. I, en el àmbit de la economia del medi ambient, hi ha un consens en que les polítiques més eficients per assolir aquesta reducció de vols és augmentar els costos de volar. Per exemple, pel cas dels vols intercontinentals que és l'objecte d'aquest estudi, podem esperar un augment significatiu dels costos de volar ja sia per la implementació del mecanisme de compensació d'emissions (Corsia) o per una ampliació del àmbit geogràfic d'aplicació del mercat europeu d'emissions a tots els vols que tenen per origen

o destinació un aeroport del espai econòmic europeu. En aquest sentit, cal assenyalar que en un principi aquest era el àmbit d'aplicació del mercat europeu d'emissions però la pressió de companyies aèries i governs d'altres països (especialment Estats Units i Xina) van frenar els plans de la Comissió Europea que va restringir el mercat d'emissions a vols entre aeroports del espai econòmic europeu. Tanmateix, es revisarà el funcionament del Corsia un cop entri en funcionament i, si es considera que no està tenint efectes positius en termes de reducció d'emissions, es plantejarà aplicar el mercat d'emissions a l'àmbit geogràfic ampliat. A més, hi ha un debat en el si de la Comissió Europea sobre la necessitat d'aplicar impostos mediambientals a l'aviació que implicaria un augment addicional dels costos de volar. També a Espanya hi ha un creixent debat sobre la necessitat d'implementar impostos mediambientals a l'aviació o com a mínim eliminar les exempcions a la tributació dels combustibles (veure per exemple el Llibre blanc sobre la Reforma Tributària del 22 d'abril de 2022).

Si no hi ha un canvi dràstic en les prioritats de la Comissió Europea (i en menor mesura de Espanya) en els propers anys, podem esperar un augment de costos per les companyies aèries i un augment de preus pels viatgers en vols des d'aeroports de Barcelona i Madrid als Estats Units (i en vols d'aquests aeroports a països que no formen part de l'espai econòmic europeu). El que és més incert és quina serà la magnitud d'aquest increment dels costos de volar i en quina mesura afectarà al creixement del trànsit de passatgers.

En aquest treball, hem mostrat que l'augment de preus necessari per assolir un creixement nul o negatiu del nombre de passatgers en vols de Barcelona i Madrid als Estats Units hauria de ser elevat, entre 3 i 5 punts percentuals més

cada any respecte un escenari de no actuacions en preus. Probablement, aquestes xifres siguin més elevades en altres casos, com per exemple, si considerem com a destinació països del Orient Mitjà o del sud-est i est d'Àsia amb un potencial de creixement del tràfic més alt que no pas a Nord Amèrica. Per tant, el repte de les polítiques medi ambientals aplicades a l'aviació és de gran complexitat; contenir el creixement del tràfic, implicarà aplicar polítiques ambicioses que comportin augments alts de preus.

Tota aquesta discussió és rellevant en el debat actual sobre la conveniència o no de l'ampliació del aeroport de Barcelona. Avaluar la conveniència d'aquesta ampliació no és un objectiu d'aquest treball, però sí s'hauria de tenir en compte que no es poden esperar els creixements del tràfic dels últims anys en la mesura que es previsible que les preocupacions mediambientals tinguin cada cop més rellevància.

6. Referències bibliogràfiques

- Boretti, A. (2021). Perspectives of hydrogen aviation. *Advances in aircraft and spacecraft science*, 8(3), 199-211.
- Chang, L.Y. (2014). Analysis of bilateral air passenger flows: A non-parametric multivariate adaptive regression spline approach. *Journal of Air Transport Management*, 34, 123-130.
- De Jong, G. (2022). Emission pricing and capital replacement: Evidence from aircraft fleet renewal, Working paper TI 2022-060/VIII at Tinbergen Institute
- Eurostat. (2022). Greenhouse gas emissions by source sector. Available at <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (Accessed: 24 July 2024).
- Fageda, X., Flores-Fillol, R. (2012). Air services on thin routes: Regional versus low-cost airlines, *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 42, 702-714.
- Fageda, X., Flores-Fillol, R. (2023). The environmental challenge in aviation: Can airport charges be part of the solution?, Working paper.
- Fageda, X., Teixidó, J. (2022). Pricing carbon in the aviation sector: Evidence from the European emissions trading system. *Journal of Environmental Economics and Management*, 111, 102591. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102591>
- Fageda, X., Teixidó, J. (2023). Technology diffusion in carbon markets: Evidence from aviation, Working paper at the University of Barcelona. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4891205
- Goldberger, A.S. (1991). *A course in econometrics*, Harvard University Press.
- Graham, W.R., Hall, C.A., Vera Morales, M. (2014). The potential of future aircraft technology for noise and pollutant emissions reduction. *Transport Policy*, 34, 36-51
- Grosche, T., Rothlauf, F., Heinzl, A. (2007). "Gravity models for airline passenger volume estimation". *Journal of Air Transport Management*, Vol. 13, 175-183.
- ITF (2024), *Decarbonising Aviation: Exploring the Consequences*, International Transport Forum Policy Papers, No. 140, OECD Publishing, Paris.
- Kang, Y., Liao, S., Jiang, C., D'Alfonso, T. (2022). Synthetic control methods for policy analysis: Evaluating the effect of the European Emission Trading System on aviation supply. *Transportation Research Part A*, 162, pp. 236-252.
- Larsson, J., Elofsson, A., Sterner, T., Åkerman, J. (2019). International and national climate policies for aviation: a review. *Climate Policy*, 19(6), 787-799
- Lee, D.S., et al. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834.
- Markham, F., Young, M., Reis, A., Higham, J., 2018. Does carbon pricing reduce air travel? Evidence from the Australian 'Clean Energy Future' policy. *Journal of Transport Geography*, 70, pp. 206-214.
- Mayer, B., Ding, Z. (2023). Climate Change Mitigation in the Aviation Sector: A Critical Overview of National and International Initiatives. *Transnational Environmental Law*, 12, 14-41.
- Pavlenko, N., Searle, S., & Christensen, A. (2019). The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union. *International Council on Clean Transportation*, Working Paper.
- Scheelhaase, J., Maertens, S., Grimme, W., Jung, M. (2018). EU ETS versus CORSIA - A critical assessment of two approaches to limit air transport's CO₂ emissions by market-based measures. *Journal of Air Transport Management*, 67, 55-62.
- Staples, M.D., Malina, R., Suresh, P., Hileman, J.I., Barrett, S. (2018). Aviation CO₂ emissions reductions from the use of alternative jet fuels, *Energy Policy*, 114, 342-354
- Wadud, Z. (2011). "Modeling and forecasting passenger demand for a new domestic airport with limited data". *Transportation Research Record*, 2214, 59-68.
- Zhang, Y., Lin, F., Zhang, A. (2018). Gravity models in air transport research: a survey and an application. In: Blonigen, Bruce A., Wilson, Wesley W. (Eds.), *Handbook of International Trade and Transportation*,

Annex

Taula A.1. Connexions Barcelona i Madrid amb
els EE.UU a la mostra

Connexions Barcelona

BCNBDL	Barcelona - Bradley
BCNFLL	Barcelona - Fort Lauderdale
BCNTPA	Barcelona - Tampa
BCNAUS	Barcelona - Austin
BCNPDX	Barcelona - Portland
BCNSAN	Barcelona - San Diego
BCNRDU	Barcelona - Raleigh-Durham
BCNPHX	Barcelona - Phoenix
BCNLAS	Barcelona - Las Vegas
BCNMCO	Barcelona - Orlando
BCNDEN	Barcelona - Denver
BCNMSP	Barcelona - Minneapolis
BCNCLT	Barcelona - Charlotte Douglas
BCNSEA	Barcelona - Seattle
BCNIAH	Barcelona - Houston
BCNDTW	Barcelona - Detroit
BCNPHL	Barcelona - Philadelphia
BCNDFW	Barcelona - Dallas
BCNMIA	Barcelona - Miami
BCNATL	Barcelona - Atlanta
BCNSFO	Barcelona - San Francisco
BCNBOS	Barcelona - Boston
BCNLAX	Barcelona - Los Angeles
BCNIAD	Barcelona - Dulles
BCNEWY	Barcelona - Newark
BCNORD	Barcelona - Chicago
BCNJFK	Barcelona - JFK (Nova York)

Connexions Madrid

MADLGA	Madrid - La Guardia (Nova York)
MADFLA	Madrid - Fort Lauderdale
MADSAN	Madrid - San Diego
MADLAS	Madrid - Las Vegas
MADMCO	Madrid - Orlando
MADDEN	Madrid - Denver
MADMSP	Madrid - Minneapolis
MADCLT	Madrid - Charlotte Douglas
MADSEA	Madrid - Seattle
MADIAH	Madrid - Houston
MADPHL	Madrid - Philadelphia
MADDFW	Madrid - Dallas
MADMIA	Madrid - Miami
MADATL	Madrid - Atlanta
MADSFO	Madrid - San Francisco
MADBOS	Madrid - Boston
MADLAX	Madrid - Los Angeles
MADIAD	Madrid - Dulles
MADEWR	Madrid - Newark
MADORD	Madrid - Chicago
MADJFK	Madrid - JFK (Nova York)

(¹) L'elasticitat a llarg termini es calcula com $\frac{\beta}{(1-\gamma)}$ on β és el coeficient estimat per la tarifa i γ és el coeficient estimat per la variable dependent desfasada.