

El efecto del mercado de emisiones europeo en las emisiones de la aviación en España*

Effects of the EU ETS on the Spanish aviation market

Xavier Fageda
Jordi Teixidó
Universitat de Barcelona

Resumen

Desde 2012, todas las rutas aéreas dentro del Espacio Económico Europeo (EEE) están incluidas en el mercado de emisiones de la Unión Europea (ETS, por sus siglas en inglés). La evidencia empírica ha demostrado que esta política redujo las emisiones en un 5% en comparación con el contrafactual para el conjunto de países del EEE (Fageda y Teixidó, 2022). Sin embargo, este efecto es potencialmente heterogéneo según el país que se examina. Aplicando una estrategia de diferencias en diferencias, aquí nos centramos en España, un país con un alto despliegue ferroviario de alta velocidad y, sobre todo, con una gran industria turística. Encontramos que el ETS redujo las emisiones de la aviación española hasta un 10%, por lo que el impacto del ETS es potencialmente mayor en España que en otros países europeos. El mayor impacto relativo en España parece venir explicado por la competencia intermodal y el gran peso del turismo, pues las emisiones fueron un 13% menores en rutas afectadas por la competencia del tren de alta velocidad y un 11% menores en rutas turísticas. La reducción de las emisiones se explica principalmente por la reducción de la oferta de vuelos.

Palabras clave: mercado de emisiones, cambio climático, precio del carbono, aviación.

Clasificación JEL: D22, L93, Q54.

Abstract

Since 2012, all air routes starting or finishing in the European Economic Area are included in the EU Emissions Trading System (ETS). Empirical evidence has shown that this policy instrument reduced emissions by 5% as compared to the counterfactual at the EU level (Fageda & Teixidó, 2022). However, this effect is potentially heterogeneous across countries. Applying a difference-in-difference strategy, here we focus on Spain, a country with high speed rail deployment and with a significant tourism industry. We find that Spanish aviation emissions were up to 10% lower because of the EU ETS, 13% lower if there was a HSR connection and 11% less when focusing only on tourist destinations. All these reductions in emissions were driven by a reduction in flights.

Keywords: emissions trading, climate change, carbon price, aviation.

* Agradecemos la financiación recibida de proyectos del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades: J. Teixidó (PID2019-104319RB-I00) y X. Fageda (RTI2018-096155-B-I00).

1. Introducción

España es uno de los diez países del mundo con mayores emisiones derivadas de vuelos internacionales, registrando uno de los mayores incrementos de emisiones de efecto invernadero en los últimos años (Graver *et al.*, 2020). Entre 2013 y 2019, las emisiones contabilizadas en salidas de aeropuertos españoles aumentaron un 45 %, comparado con el incremento medio del 30 % de la Unión Europea (UE) en el mismo periodo; este aumento supuso el mayor incremento de emisiones en términos absolutos de toda la UE (Graver *et al.*, 2019; European Environment Agency [EEA], 2020). Buena parte de estas cifras vienen justificadas por la industria del turismo del país, la cual llegó a representar hasta un 12 % del PIB en 2018, comparado con un 4,4 % en los países de la OCDE (OECD, 2020).

A nivel global, el transporte es el único sector que desde 1990 no ha conseguido reducir sus emisiones de dióxido de carbono. La aviación, aunque supone un porcentaje menor del total de emisiones del transporte, se caracteriza por tener un crecimiento muy elevado del tráfico (con permiso de la pandemia). También se caracteriza por un avance tecnológico sostenido, en la medida que las nuevas generaciones de aviones son más eficientes en términos de consumo de combustible, pero de difícil y lenta aplicación. Por ello, se prevé que sus emisiones se tripliquen en 2050, cuando se estima que llegarán a suponer un 22 % del impacto global del cambio climático (Cames *et al.*, 2015). Además, las emisiones de volar se distinguen también por tener un impacto climático entre 1,3 y 2,9 mayor que las emisiones generadas en la superficie (Azar y Johansson, 2012; Lee *et al.*, 2021). Así, aproximadamente un 5 % del impacto climático antropogénico se puede atribuir a la aviación, el cual se concentra en una capa muy reducida de la población mundial: solo el 1 % de la población es responsable de la mitad de las emisiones globales de la aviación (Gössling y Humpe, 2020).

Así, la Comisión Europea incluyó la aviación en el Mercado Europeo de Emisiones (*EU Emissions Trading System*, o ETS), obligando a las aerolíneas a comprar permisos por cada tonelada de CO₂ emitida. Este artículo tiene como objetivo analizar e identificar el efecto que esta política climática tiene sobre las emisiones de la aviación comercial en España, con especial atención a dos rasgos que caracterizan a este país: el peso de su industria turística y su extensa red de tren de alta velocidad (TAV), solo superada por China en kilómetros operativos de vía.

Para identificar el efecto causal del ETS explotamos un cambio de rumbo exógeno en la puesta en marcha de la política sucedido en 2013: en su versión inicial, el ETS debía de afectar a cualquier vuelo que aterrizara o despegara de cualquier aeropuerto europeo. Sin embargo, esto creó un gran malestar entre las aerolíneas no europeas, principalmente estadounidenses y chinas, que consideraban que la política vulneraba la soberanía de los países no europeos. Ante diversas presiones internacionales, la Comisión Europea acabó por limitar el ETS solo a los vuelos con salida y llegada a aeropuertos del Espacio Económico Europeo (EEE), dejando fuera los aterrizajes/despegues de fuera del EEE. La decisión fue formalizada en abril

de 2013, justo antes de que las aerolíneas tuvieran que entregar los derechos de emisión correspondientes a su actividad de 2012. Este cambio de rumbo, por desafortunado que sea desde el punto de vista ambiental, nos permite a los investigadores disponer de un grupo control, comparativo, para poder analizar el efecto del tratamiento, aquí consistente en el ETS.

Para poder analizar el impacto del ETS en las emisiones de CO₂, hemos recogido datos para el periodo 2010-2016, incluyendo todas las rutas aéreas en Europa y países cercanos (norte de África y Oriente Medio). Nuestra estrategia empírica consiste así en un estimador de diferencias en diferencias (DD) donde el grupo tratado consiste en los vuelos con al menos un aeropuerto situado en España y que tengan como origen o destino aeropuertos del EEE. El grupo de tratamiento, por tanto, identifica los vuelos afectados por la regulación del mercado de emisiones. El grupo de control consiste en todas las demás rutas comparables (vuelos en los que un aeropuerto está en territorio español y el otro fuera del EEE). Por ejemplo, el Barcelona-París pertenece al grupo de tratamiento, mientras que el Barcelona-Zúrich es del grupo control (ambas rutas tienen la misma distancia y conectan Barcelona con ciudades europeas de renta alta)¹. El grupo de control nos permite estimar el escenario contrafactual, lo que hubiera sucedido si la política no se hubiera implementado (después de comprobar que el Barcelona-París y el Barcelona-Zúrich comparten ciertas características en común y, sobre todo, que han seguido tendencias paralelas antes de la puesta en marcha del ETS).

Nuestros resultados muestran que, a pesar de un precio relativamente bajo durante el periodo analizado (7 euros de media por tonelada de CO₂), el ETS tiene efectos significativos en la mitigación del impacto climático causado por la aviación. En concreto vemos que las emisiones del sector en España se redujeron entre un 4% y un 10% de media entre 2013 y 2016 comparado con lo que hubiera sucedido de no existir el mercado de emisiones. Es de suponer que, con los precios más elevados que se observan desde el 2018, este efecto ha ido aumentando con el paso del tiempo. En segundo lugar, encontramos que el efecto es mayor si la ruta dispone de alternativa con TAV: gracias al ETS, estas rutas aéreas emiten un 13% menos en la media comparado con el contrafactual. Esto invita a pensar que, en tanto que los costes están justificados, el TAV puede ser un buen complemento al ETS. Finalmente, el ETS es también más efectivo en reducir emisiones cuando nos centramos en las rutas turísticas: en este tipo de rutas, las emisiones son un 11% menores de lo que hubieran sido sin la medida. Esto puede venir explicado por la mayor elasticidad, tanto de la oferta como de la demanda, de las rutas turísticas en comparación con rutas que conectan grandes ciudades.

Estos resultados contribuyen, de manera general, a establecer la efectividad ambiental de los mecanismos de precio del carbono y, en concreto, del mercado de emisiones europeo (EU ETS). Asimismo, estudios previos han demostrado efectos

¹ El archipiélago canario es considerado territorio remoto, por lo que los vuelos con origen o destino a cualquiera de sus aeropuertos no están sujetos al ETS y como tal pertenece al grupo control en este análisis. Los vuelos que tienen como origen y como destino aeropuertos canarios, sin embargo, sí están sujetos al ETS.

significativos del ETS europeo en la industria manufacturera alemana (Petrick y Wagner, 2014), francesa (Wagner *et al.*, 2014) o Noruega (Klemetsen *et al.*, 2016), con efectos de reducción de emisiones del 25 %, 13 % y 33 %, respectivamente. Nuestro análisis se centra en un sector diferente, el de la aviación, que además tiene la particularidad de que más que el efecto en empresas, capturamos el efecto en el conjunto de los mercados (pues medimos emisiones a nivel de ruta aérea, y cada ruta es un mercado).

En segundo lugar, estos resultados ayudan a estudiar la heterogeneidad que el ETS tiene a nivel de país: Fageda y Teixidó (2022) estudian el efecto del ETS en la aviación a nivel europeo y encuentran un efecto del 5 %, el cual viene sobre todo explicado por el mayor efecto en las rutas de menos de 1.000 kilómetros (-10 %) y de las aerolíneas de bajo coste (-11 %). El análisis para España ofrece un contexto ideal para estudiar el efecto del ETS cuando las rutas aéreas son turísticas o existe tren de alta velocidad. En este sentido, el mayor impacto relativo del ETS en España respecto a otros países europeos podría explicarse por la relevancia del mercado doméstico con varias rutas sujetas a competencia intermodal, y por el mayor peso relativo del turismo y las aerolíneas de bajo coste.

El artículo se estructura de la forma siguiente. En el segundo apartado, explicamos el funcionamiento del mercado europeo de emisiones y su aplicación en el mercado de la aviación. En el apartado tercero, detallamos los datos con los que contamos para hacer el análisis y la estrategia de identificación empírica. En el apartado cuarto, presentamos y discutimos los resultados del análisis econométrico. El último apartado se centra en las implicaciones de política que pueden derivarse del estudio.

2. El mercado de emisiones y la aviación

El mercado de emisiones europeo, iniciado en 2005, es aún hoy la política climática más ambiciosa a nivel internacional por el número de países y sectores implicados. Cubre hasta alrededor del 45 % de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE y abarca más de 11.000 unidades entre instalaciones y aerolíneas. El sistema consiste en la fijación de una cantidad máxima de emisiones que se va reduciendo con el tiempo y la distribución entre las empresas reguladas de la misma cantidad de permisos que pueden comerciar entre ellas. La posibilidad de comerciar con los permisos asegura que el instrumento sea coste-efectivo a la vez que determina un precio del carbono que incentiva de manera dinámica la reducción de emisiones, ya sea mediante la adopción de tecnologías más limpias o mediante el ajuste de la propia producción.

Así, a partir de la Directiva 2008/101/EC del Parlamento Europeo, desde enero de 2012, todas las aerolíneas aterrizando o despegando desde algún aeropuerto del EEE estarían sujetas al mercado de emisiones y, en consecuencia, obligadas a monitorear y reportar sus emisiones a la vez que a disponer de los permisos

correspondientes al final de cada periodo. Sin embargo, esta decisión estuvo sujeta a intensas presiones internacionales de la propia industria que, entre otras concesiones, como el límite sectorial del sector o el número de permisos distribuidos de forma gratuita, consiguieron limitar el alcance a solo vuelos dentro del EEE (Transport and Environment, 2016).

Ya en 2009 (un año después de la directiva europea), varias aerolíneas estadounidenses presentaron una demanda contra la Directiva por considerarla contra el derecho internacional. A la presión desde los Estados Unidos se le sumaron aerolíneas de la misma UE, China, Rusia, India, entre muchas otras, conformando una coalición que denunciaría la normativa por violar el derecho internacional. Así, a pesar de que el Tribunal de Justicia de la UE dictaminó que la norma era totalmente respetuosa con la legalidad internacional, en abril de 2013, justo antes de que las aerolíneas tuvieran que entregar los permisos correspondientes al año 2012, un acuerdo entre el Consejo y el Parlamento Europeo redujo, de manera retroactiva, el alcance del mercado de emisiones a los vuelos con despegue y aterrizaje en aeropuertos del EEE, quedando fuera los demás. La decisión se justificó en el marco de la Asamblea de la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO, por sus siglas en inglés), donde existía (y existe aún) la propuesta del CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), consistente en un mecanismo de compensación de emisiones para la aviación internacional. Así, el mercado de emisiones se introdujo de manera efectiva a partir de enero 2013, momento a partir del cual las aerolíneas estarán obligadas a entregar permisos del ETS por sus emisiones provenientes de vuelos entre aeropuertos del EEE.

Este cambio inesperado de la política es importante para nuestra estrategia de identificación empírica: de haberse aprobado la introducción del ETS con el alcance previsto, no se dispondría de un grupo control contra el cual comparar el efecto de la política. Asimismo, con la ayuda de la econometría, las rutas aéreas afectadas por el ETS (entre aeropuertos EEE) serán comparadas con rutas aéreas control (con al menos un aeropuerto no EEE), que sean comparables en todas las características observables. En esta línea, adoptamos la estrategia empírica ejecutada en Fageda y Teixidó (2022).

3. Análisis empírico

3.1. Muestra y estrategia de identificación

Para evaluar el efecto del mercado europeo de emisiones en las emisiones de la aviación, aplicamos la lógica de diferencias en diferencias (DD), una metodología común adoptada dentro del marco de la evaluación de políticas (Angrist y Pischke, 2008).

La estimación por DD exige contar con datos anteriores y posteriores a la aplicación de la política, y datos que incluyen un subconjunto de observaciones afectadas por la política (grupo de tratamiento) y un subconjunto de observaciones no

afectadas por la política (grupo de control). La implementación del DD nos permite identificar la relación causal entre la variable de interés (en nuestro caso las emisiones) y la política (ETS) comparando los cambios en el grupo de tratamiento respecto a los cambios en el grupo de control tras la aplicación de la política. Es necesario comprobar que el grupo de control es un buen contrafactual del grupo de tratamiento. En tal caso, la evolución del grupo de control nos permite predecir qué le hubiera pasado al grupo de tratamiento de no aplicarse la política.

Contamos con datos trimestrales de 2010 a 2016 de todos los vuelos dentro de Europa –incluyendo a Turquía y Rusia– y países cercanos (norte de África y Oriente Medio) al nivel de aerolínea y ruta aérea. Dado que el ETS entra en la práctica en funcionamiento en 2013, tenemos datos para antes (2010-2012) y después (2013-2016) de aplicación de la política.

El análisis se centra en los efectos de la política a corto plazo, dado que únicamente consideramos los años inmediatamente anteriores y posteriores a la introducción de la política. En este sentido, podría haber efectos temporales no observables que pueden alterar las estrategias de adaptación de las aerolíneas a dicha política. La ventaja de centrarse en el corto plazo es que podemos esperar que tales efectos temporales no observables tengan un efecto limitado en un periodo de tiempo que abarca unos pocos años. En cualquier caso, esta es una posible limitación que debe tenerse en cuenta en la interpretación de los resultados de nuestro análisis.

Las rutas de tratamiento son vuelos entre países que forman parte del EEE (Unión Europea, Noruega, Islandia y Liechtenstein)². En nuestro caso, restringimos el grupo de tratamiento a vuelos que conectan España con otros países del EEE dado que nuestro interés está en examinar el impacto del ETS en las emisiones de la aviación en España.

Las rutas tratadas (rutas entre España y EEE) son rutas de corta o media distancia. Para tener rutas tratadas y de control comparables en términos de distancia, centramos el análisis en rutas que conectan aeropuertos de Europa, norte de África y Oriente Medio. Es decir, excluimos del análisis rutas de larga distancia como podrían ser, por ejemplo, vuelos entre Europa y Estados Unidos³. Por tanto, las rutas de control incluyen vuelos entre España y países cercanos fuera del EEE.

La muestra cuenta con más de 125.000 observaciones. La base de datos tiene la estructura típica de datos de panel en la medida que se cuenta con información de rutas aéreas repetidas en el tiempo. Se trata de un panel no balanceado, ya que algunos pares ruta/aerolínea no tienen vuelos o tienen menos de un vuelo por semana en al menos un trimestre del periodo considerado⁴.

² Los países europeos que no forman parte del EEE incluye a Albania, Armenia, Azerbaiyán, Bielorrusia, Bosnia y Herzegovina, Georgia, Macedonia, Montenegro, Moldavia, Rusia, Serbia, Suiza, Turquía y Ucrania. Por otro lado, el Reino Unido es parte de la Unión Europea en el periodo considerado y Croacia lo es desde julio de 2013 (entra en el ETS en el 2014).

³ Las rutas de larga distancia utilizan aviones más grandes y (con muy pocas excepciones) operan con muchos menos vuelos que las rutas de corta y media distancia.

⁴ Para minimizar las distorsiones de los vuelos que no se ofrecen en la mayoría de los trimestres del periodo considerado, restringimos nuestra muestra a pares rutas/aerolíneas con al menos un vuelo por semana.

En este contexto, nuestro estimador del DD es una variable binaria que toma el valor 1 para rutas que conectan España con países del EEE para el periodo 2013-2016. El estimador del DD nos permite identificar los cambios en emisiones desde 2013 en rutas que conectan España con el EEE respecto a los cambios en rutas entre países de la muestra en los que al menos uno de ellos no está en el EEE. Por ejemplo, podemos ver los cambios en vuelos de Barcelona a París (afectados por el ETS desde 2013) con vuelos de Barcelona a Zúrich (no afectados por el ETS).

Nuestra hipótesis es que el ETS puede conllevar una reducción de emisiones vía reducción de la oferta de vuelos, ya sea en términos de asientos o de frecuencias. El ETS impone un coste a las aerolíneas en términos de la compra de derechos de emisiones (o en términos del coste de oportunidad de no venderlos). Dado que las aerolíneas operan en un contexto de competencia imperfecta, un aumento de costes debería implicar una reducción de la oferta. Por otro lado, este aumento de costes puede trasladarse, total o parcialmente, al consumidor vía aumento de precios. Y el aumento de precios implicará una reducción de la demanda.

El traslado de costes a precios dependerá del tipo de competencia que prevalece en el mercado y de la elasticidad de la demanda. La literatura generalmente asume que el traslado de aumento de costes a precios por parte de las aerolíneas será elevado, dado que el sector aéreo es un mercado competitivo en el que los márgenes de beneficios en muchas rutas son modestos, o incluso negativos en periodos de baja demanda (Vivid Economics, 2007; Koopmans y Lieshout, 2016; Zimmerman y Carlson, 2010).

En cualquier caso, sea cual sea el traslado de costes a precios, el efecto esperado es una reducción de la oferta y emisiones. Es decir, las aerolíneas reducirán oferta porque asumen más costes o reducirán oferta porque el mayor precio conlleva menos demanda. El porcentaje del coste que se traslada al precio determinará los efectos distributivos de la medida entre aerolíneas y consumidores, pero no afecta a nuestra hipótesis de que el ETS debería reducir la oferta y las emisiones.

Cabe señalar aquí que esperamos que el efecto de reducción de emisiones venga principalmente vía reducción de la oferta. Otra vía por la que el ETS también podría afectar a la reducción de emisiones es mediante la creación de incentivos para el cambio tecnológico en la línea de utilizar aviones menos contaminantes. Las nuevas generaciones de aviones son más eficientes en el consumo de combustible y, por tanto, más limpios. Sin embargo, dicho cambio tecnológico esperamos que pueda ser relevante en un análisis a largo plazo, dado que en el corto la flota de aviones, para la gran mayoría de aerolíneas, no cambia de forma relevante. Como comentábamos anteriormente, nuestra estimación del impacto del ETS se centra en los efectos a corto plazo. Por otro lado, más allá del cambio a aviones más eficientes, las posibilidades de una auténtica revolución tecnológica en el sector son limitadas. Por ejemplo, la tecnología basada en aviones propulsados por hidrógeno está lejos de ser viable tanto desde el punto de vista técnico (poca autonomía en términos de horas de vuelo) como económico (coste elevadísimo respecto a aviones propulsados por queroseno).

3.2. Modelo y variables

La ejecución del modelo de DD se lleva a cabo mediante la estimación econométrica de la siguiente Ecuación [1] para el par ruta/aerolínea i en el trimestre q y año t ⁵:

$$\log(\text{emisiones})_{igt} = \alpha + \beta \text{ETS}_{it} + \lambda X_{it} + \gamma_i + \eta_t + \nu_q + \varepsilon_{igt} \quad [1]$$

En donde la principal variable dependiente es el logaritmo natural de las emisiones de CO₂ de la aerolínea i en el trimestre q del año t . Los datos de emisiones han sido calculados a partir de la información de oferta con la que contamos. Disponemos de datos a nivel de ruta y aerolínea que incluyen el número total de asientos, las frecuencias, el tamaño y tipo de avión, y la distancia de la ruta. Los datos han sido obtenidos de RDC Aviación. Para estimar las emisiones a nivel de ruta aérea, utilizamos la herramienta de pequeños emisores (SET) de Eurocontrol, diseñada para ayudar a los operadores de aeronaves en sus obligaciones de seguimiento y notificación para el ETS. El SET se basa en muestras de consumo de combustible de operaciones de vuelos reales y proporciona estimaciones precisas de las emisiones para cualquier distancia y tipo de aeronave. Con el tipo de aeronave, la distancia de la ruta y la cantidad de vuelos, podemos estimar las emisiones a nivel de ruta de la aerolínea por trimestre.

La principal variable explicativa es el ETS, que es una variable ficticia que toma el valor 1 para el par ruta/aerolínea que se ve afectado por el ETS en el periodo t . En nuestro caso, la variable ETS toma el valor 1 en rutas que conectan España con países del EEE desde 2013. Y toma el valor 0 cuando el origen o destino de la ruta es un país que no forma parte del EEE.

X_{it} denota el conjunto de variables de control. Dado que las emisiones están determinadas principalmente por las decisiones de oferta de las aerolíneas, nuestras estimaciones se basan en una ecuación de oferta. En los estudios de aviación, comúnmente se asume que las aerolíneas primero toman decisiones de oferta y luego ajustan precios según la evolución de la demanda. Por tanto, los precios no se incluyen habitualmente como variable explicativa en las ecuaciones de oferta.

Dada la fuerte correlación entre la demanda y la oferta, variables que afectan a la demanda (población, renta) suelen incluirse como controles. La distancia (que en nuestro contexto se captura mediante los efectos fijos de la ruta y la línea aérea) y la intensidad de la competencia también suelen considerarse como determinantes relevantes de la oferta de las aerolíneas. Teniendo esto en cuenta, incluimos como variables de control la población y el PIB per cápita.

Así, consideramos la población de las áreas urbanas en los puntos de origen y destino de las rutas. Para áreas urbanas con más de 300.000 habitantes, los datos se han obtenido de la base de datos World Urbanization Prospects de la ONU. Para

⁵ Todas las variables continuas se transforman mediante logaritmos, de modo que se reduce la influencia de los valores atípicos y las estimaciones de los parámetros se pueden interpretar como elasticidades.

áreas urbanas con menos de 300.000 habitantes en el EEE, Suiza y Turquía, hemos recopilado datos de Eurostat (NUTS 3). Para las áreas urbanas del resto de países con menos de 300.000 habitantes, hemos recopilado datos de las agencias nacionales de estadística.

También consideramos el PIB per cápita en el origen y destino de la ruta. Los datos de esta variable no están tan desagregados como los datos de población, pues fuera de la Unión Europea solo están disponibles a nivel de país. Los datos a nivel de país se han obtenido de la base de datos de Indicadores de Desarrollo del Banco Mundial.

La otra variable de control es el índice de Herfindahl-Hirschman, que informa sobre la concentración del mercado. Consiste en la suma de los cuadrados de las cuotas de mercado de cada aerolínea a nivel de ruta, de modo que un valor elevado implica alta concentración. Las cuotas se calculan a partir de los datos de oferta (vuelos) que proporciona RDC Aviación. Utilizamos esta variable como *proxy* de poder de mercado.

Los datos utilizados presentan una estructura de panel, por lo que empleamos las técnicas típicamente aplicadas en el marco de los modelos de datos de panel. Por lo tanto, la especificación incluye efectos fijos de ruta/aerolínea, así como efectos fijos de año y trimestre. Una clara ventaja del modelo de efectos fijos de ruta/aerolínea es que nos permite controlar por variables omitidas que están correlacionadas con las variables de interés y que no cambian con el tiempo (Verbeek, 2000).

El modelo de efectos fijos ruta/aerolínea explota la llamada variabilidad *within*; cambios en el valor de las observaciones respecto a su media. Es, por tanto, el modelo de datos de panel más adecuado para evaluar políticas, dado que pone la atención en el efecto de cambios de las variables, y no tanto en el efecto medio estimado. Además, nos permite controlar por variables constantes en el tiempo –observables y no observables– como la distancia recorrida, los vínculos históricos entre países y la heterogeneidad de costes y estrategias de negocios de las aerolíneas. Además, añadimos variables binarias de año para controlar por *shocks* temporales que pueden ser comunes a todos los pares ruta/aerolínea (por ejemplo, la crisis financiera global con efectos especialmente al inicio del periodo considerado) y variables binarias de trimestre para controlar los efectos estacionales (por ejemplo, hay más tráfico en verano que en invierno). Además, en atención al reciente trabajo de Sant’Anna y Zhao (2020), donde alertan de potenciales sesgos en el estimador de efectos fijos cuando se utilizan variables control con variación temporal, como es nuestro caso, complementamos nuestras estimaciones con el estimador de DD doblemente robusto (DRDD, por sus siglas en inglés). Finalmente, los errores estándar de la estimación son robustos a la heterocedasticidad y se aplican *clusters* a nivel de ruta para tener en cuenta la posible correlación entre observaciones de una misma ruta y por estar el tratamiento definido a nivel de ruta.

Dos aspectos que son imprescindibles a tener en cuenta en nuestro análisis son la comparabilidad entre el grupo de tratamiento y de control, y que se cumpla el supuesto de tendencias paralelas. Podría ser que diferencias prepolítica entre el

grupo de control y de tratamiento condicionen el resultado esperado de la política. Por ejemplo, el grupo de control incluye a países de menor renta que España como Turquía, Rusia o Marruecos, o países de mayor renta como Suiza. Para abordar esta cuestión utilizamos el método de balanceo entrópico (Hainmueller, 2012) que permite contar con un grupo de control y de tratamiento similar en términos de las características observables.

El Cuadro 1 muestra la estadística descriptiva referente al grupo tratado y grupo control, antes y después de ponderar el grupo control con el método del balanceo entrópico. La Figura 1 muestra cómo las diferencias entre tratados y controles se han reducido significativamente, siendo estas menores al 10% del sesgo estandarizado comúnmente usado como referencia. Es particularmente relevante, dadas las grandes diferencias en la muestra sin ponderar, que la aplicación del método del balanceo entrópico permita contar con una muestra de rutas de tratamiento y de control comparables en términos de PIB per cápita.

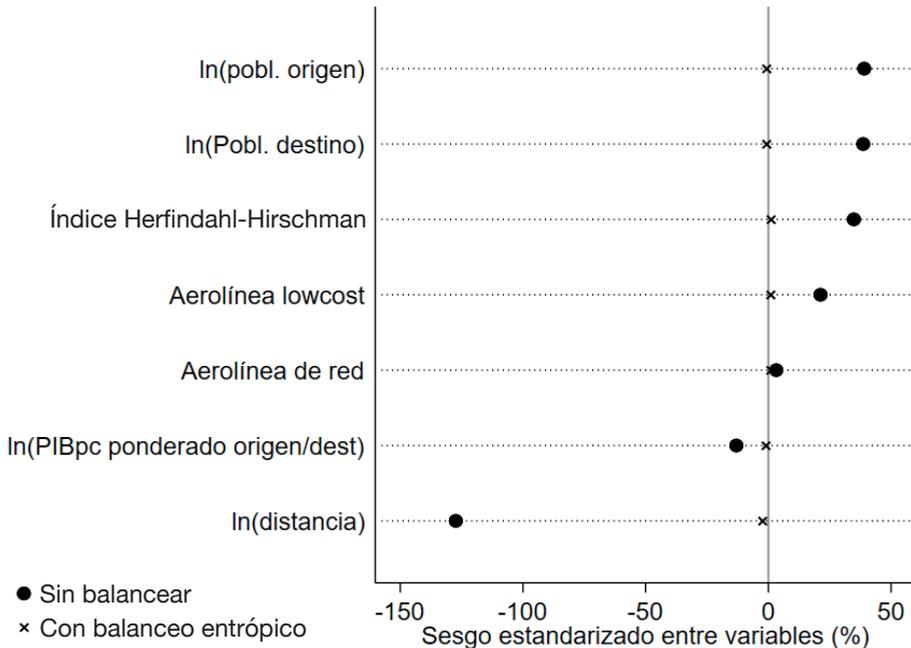
Por otro lado, para comprobar que se cumple el supuesto de tendencias paralelas, interaccionamos nuestra variable de tratamiento (una variable binaria que toma el valor 1 para rutas que conectan España con países del EEE) con cada uno de los años

CUADRO 1
ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS ENTRE GRUPO TRATADO Y GRUPO CONTROL ANTES DE 2013

Sin balancear				
	Grupo tratado		Grupo control	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
ln(PIBpc Pond. Origen/Destino)	10,45	0,15	10,47	0,31
ln(Pobl. Pond. Origen/Destino)	14,55	0,90	14,20	1,01
Índice Herfindahl-Hirschman	0,72	0,28	0,65	0,28
ln(Pobl. Origen)	14,02	1,16	13,61	1,26
ln(Pobl. Destino)	14,02	1,16	13,61	1,26
Con balanceo entrópico				
	Grupo tratado		Grupo control	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
ln(PIBpc Pond. Origen/Destino)	10,45	0,14	10,45	0,14
ln(Pobl. Pond. Origen/Destino)	14,67	0,87	14,95	0,74
Índice Herfindahl-Hirschman	0,70	0,28	0,70	0,29
ln(Pobl. Origen)	14,15	1,14	14,16	1,16
ln(Pobl. Destino)	14,14	1,14	14,15	1,16

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 1
SESGO ESTANDARIZADO ENTRE TRATADOS Y CONTROLES DE MUESTRAS SIN Y CON BALANCEO ENTRÓPICO



FUENTE: Elaboración propia.

del periodo considerado. Ello nos permite examinar si, antes de la aplicación de la política, los grupos de control y tratamiento siguieron una evolución parecida, y nos permite también evaluar el impacto de la política a lo largo del tiempo. En este sentido, solo podremos afirmar que encontramos un efecto causal, y no una correlación en la relación entre las emisiones y la política, si se cumple el supuesto de tendencias paralelas.

Finalmente, como mencionábamos anteriormente, hay dos submercados de la aviación en España que es de interés tener en cuenta. En primer lugar, un hecho diferencial del caso español respecto a muchos otros países europeos es el gran peso que tiene el turismo en el mercado aéreo. Así, por ejemplo, en torno a un 25%-30% del mercado incluye rutas que tienen como origen y/o destino a islas, submercado que se caracteriza por una fuerte predominancia del tráfico turístico operado por aerolíneas de bajo coste y vuelos chárter.

Podemos esperar un mayor impacto del ETS en rutas que incluyen a grandes destinos turísticos, dado que tanto la elasticidad de la oferta de las aerolíneas a costes como la demanda de pasajeros a precios pueden ser más altas que en otros submercados, como por ejemplo el tráfico canalizado en Madrid por aerolíneas de red.

Para examinar si realmente es el caso, realizamos una estimación que utiliza una submuestra de rutas con aeropuertos de importantes destinos turísticos. Así pues, generamos una variable que identifica a tales destinos turísticos, considerando únicamente aquellos aeropuertos con más de un millón de pasajeros al año. Se incluyen aquí: islas en España (Gran Canaria, Tenerife, Lanzarote, Fuerteventura, Palma de Mallorca, Ibiza, Menorca), Italia (Catania, Palermo, Cagliari, Olbia/Costa Esmeralda, Alguero), Francia (Ajaccio), Grecia (Heraklion, Rodas, Corfú, Zákynthos, Creta, Mikonos, Santorini) y Portugal (Madeira, Ponta Delgada). Además, se incluyen Málaga, Alicante, Faro, Bari, Reus, Niza y grandes destinos turísticos del norte de África y Turquía (Bodrum, Kayseri, Marrakech, Monastir, Enfidha-Hammamet, Djerba, Sharm el-Sheikh, Hurghada, Marsa Alam y Luxor). Cabe señalar aquí que grandes ciudades europeas como Londres, París, Roma, Ámsterdam o Barcelona reciben muchos turistas al año, pero también reciben (o generan) mucho tráfico aéreo que está relacionado con viajes de negocios u otros motivos. El sentido de esta variable, sin embargo, es centrarse en rutas aéreas que sabemos que cuentan con una elevada proporción de viajeros por turismo.

Por otro lado, la aviación en varias rutas del mercado aéreo español está afectada por la fuerte competencia del tren de alta velocidad. En particular, las rutas que unen Madrid con Alicante, Barcelona, Málaga, Sevilla, Valencia y Zaragoza, y la ruta Barcelona-París. En estas rutas, el impacto del ETS puede ser también elevado, dado que tanto la oferta como la demanda pueden ser muy elásticas.

4. Resultados

El Cuadro 2 recoge el coeficiente del estimador de diferencias en diferencias para distintas especificaciones y modelos. Mostramos los resultados de regresiones que incluyen como variable dependiente las emisiones de CO₂ y la oferta total de vuelos. Esto nos permitirá confirmar si el impacto del ETS sobre las emisiones viene explicado principalmente por la reducción de la oferta de vuelos.

La columna (1) recoge el efecto del ETS usando el grupo control sin ponderar. Según este, el ETS reduce las emisiones en casi un 9% y el coeficiente es estadísticamente diferente a cero. Sin embargo, este resultado podría estar distorsionado por sesgos relevantes al no considerarse aquí las diferencias entre el grupo tratado y de control: las rutas aéreas entre estos dos grupos no son comparables en características observables y no observables, por lo que el efecto del ETS se confunde con otros factores distintos a la política climática. Así, si incluimos las variables de control mencionadas anteriormente en la especificación, el efecto del ETS se reduce a un 4% y es estadísticamente significativo. Sin embargo, esto implica asumir que las variables que cambian en el tiempo siguen también tendencias paralelas (Sant'Anna y Zhao, 2020). Para relajar este supuesto, la columna (3) estima de nuevo el modelo sin variables de control y en su lugar pondera las rutas del grupo de control según esas mismas variables observables mediante el método de balance entrópico mencionado previamente

(Hainmueller, 2012). El balance entrópico asegura que la media y la varianza de las variables explicativas para el grupo de control sean idénticas a las del grupo tratado (ver Cuadro 1). Con esto, de nuevo, el efecto se mantiene cercano y vemos que la reducción de emisiones es de 4,5% (y es estadísticamente significativo) en comparación a lo que hubiera sucedido sin la política. Finalmente, la columna (4) evita el uso del estimador de efectos fijos, y en su lugar se usa el estimador doblemente robusto de diferencias en diferencias (DRDD), que permite controlar por errores de especificación en las variables de control dos veces, mediante un procedimiento de *matching* y de regresión (Sant'Anna y Zhao, 2020): según este, el ETS reduce las emisiones en un 10%.

En resumen, podemos decir a la luz de estos resultados que el mercado de emisiones ha tenido un impacto estadísticamente significativo en la reducción de emisiones, de entre el 4% y el 10%. Este impacto es superior al encontrado por Fageda y Teixidó (2022) utilizando una metodología similar para el conjunto de países del EEE. Por otro lado, el impacto es muy similar en todas las regresiones cuando consideramos el número de vuelos en vez del total de emisiones como variable dependiente. De ahí, como podría esperarse al menos en un análisis de corto plazo, el impacto del ETS viene explicado por la reducción de la oferta.

CUADRO 2
EFFECTO DEL EU ETS EN LAS EMISIONES DE LA AVIACIÓN EN ESPAÑA

	(1)	(2)	(3)	(4)
Panel A: ln(emisiones)				
Mercado de emisiones ETS	-0,087*** (0,015)	-0,040*** (0,015)	-0,045* (0,025)	-0,104*** (0,028)
Observaciones	125,235	125,168	72,965	88,609
Panel B: ln(vuelos)				
Mercado de emisiones ETS	-0,096*** (0,015)	-0,042*** (0,015)	-0,051** (0,023)	-0,139*** (0,020)
Observaciones	125,243	125,168	72,965	88,609
Estimador	TWFE	TWFE	TWFE	DRDD
Control vars.	NO	SÍ	Entropía B.	SÍ
Aerol.-ruta FE	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Año FE	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Trimestre FE	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

NOTAS: Este cuadro recoge el coeficiente del estimador de diferencias en diferencias para distintas especificaciones y modelos. La columna (1) recoge el efecto del ETS usando el grupo control sin ponderar. La columna (2) incluye variables control en la especificación. La columna (3) estima de nuevo el modelo sin variables control, y en su lugar pondera las rutas del grupo control según esas mismas variables observables mediante el método de balance entrópico (Hainmueller, 2012). La columna (4) usa el estimador doblemente robusto DRDD de diferencias en diferencias (Sant'Anna y Zhao, 2020). Errores estándar robustos entre paréntesis.

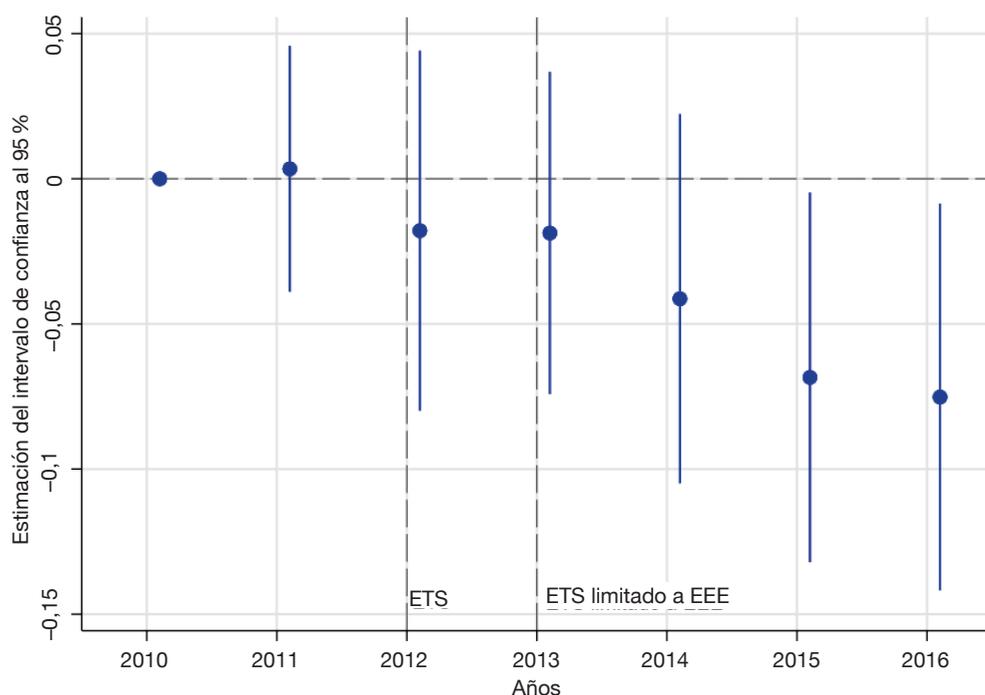
*** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$.

FUENTE: Elaboración propia.

Sin embargo, la identificación del efecto causal depende de que se cumpla la hipótesis de tendencias paralelas. Es decir, no debería haber diferencias significativas en las tendencias en emisiones seguidas por los grupos de control y tratamiento antes de la aplicación de la política. Cabe tener en cuenta aquí que el año 2012 es un año de incertidumbre regulatoria, dado que no estaba claro qué rutas estarían finalmente afectadas por el ETS. Así pues, el año 2013 es el momento en el que se aclara que solo las rutas entre aeropuertos del EEE estarían realmente afectadas por la política, pero eso no excluye la posibilidad de que esta ya produjera algunos efectos en el año 2012.

La Figura 2 muestra que el supuesto de tendencias paralelas es factible en tanto que no hay diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de control y tratamiento antes de la aplicación de la política, aunque un cierto impacto (no significativo) se observa ya en el 2012. Por otro lado, el impacto de la política es gradual, ya que sus efectos en términos de reducción de emisiones van creciendo en los años posteriores a la introducción de la política.

FIGURA 2
DIFERENCIAS EN DIFERENCIAS DEL ETS SOBRE LAS EMISIONES COMO ESTUDIO DE EVENTOS



NOTA: Esta figura muestra los resultados de los coeficientes de la interacción entre la variable que identifica vuelos entre países del EEE y cada uno de los años considerados. El año de referencia es el 2010 y los intervalos de confianza son al 95%. Ver Borusyak y Jaravel (2020) para más detalles sobre esta técnica de estimación.

FUENTE: Elaboración propia.

El mayor impacto del mercado de emisiones en España respecto al conjunto de países del EEE podría explicarse por dos motivos. En primer lugar, el mercado doméstico tiene mayor peso en España que en otros países europeos (España tiene, de hecho, el mayor mercado doméstico europeo de aviación). Asimismo, varias rutas domésticas están afectadas por la competencia de otros modos de transporte en la medida que cubren distancias menores a los 600 kilómetros. Además, la competencia que pueda ejercer el tren de alta velocidad o el transporte por carretera es más importante en España que en otros países europeos (con la excepción de Francia).

En segundo lugar, España cuenta con varios destinos turísticos conocidos a nivel internacional, de manera que una parte substancial del tráfico aéreo en aeropuertos españoles se relaciona con el turismo. De hecho, solo Estados Unidos y Francia reciben más turistas al año en todo el mundo. Aproximadamente el 70% de los turistas internacionales llegan a España por avión. Cabe señalar aquí que, dado el número de rutas implicadas, podemos esperar que tenga mayor relevancia el peso del tráfico turístico que la competencia ejercida por el tren de alta velocidad a la hora de explicar el mayor impacto del ETS en España que en el conjunto de países europeos.

Como comentábamos anteriormente, el mercado de emisiones implica un coste adicional para las aerolíneas que, en mayor o menor medida, trasladan al consumidor en forma de aumento de precios. Puede esperarse que el impacto de dicho aumento de costes y/o precios sobre la oferta y las emisiones sea mayor en rutas afectadas por la competencia intermodal y en rutas con elevada proporción de viajeros por turismo. En ambos casos, las elasticidades de la oferta a costes y de la demanda a precios pueden ser particularmente elevadas.

El Cuadro 3 y la Figura 3 muestran el efecto del ETS tanto en emisiones como en vuelos añadiendo la interacción entre la variable de ETS y una variable binaria que toma el valor 1 en rutas afectadas por la competencia del tren de alta velocidad. Los resultados de esta estimación adicional aportan evidencia clara de que el impacto de la política es mayor en aquellas rutas afectadas por la competencia del tren de alta velocidad. Es de esperar que la elasticidad de la demanda sea mayor en rutas afectadas por la competencia intermodal (en particular por la competencia intensa que ejerce el tren de alta velocidad) que en rutas donde las aerolíneas monopolizan el tráfico (Brons *et al.*, 2002). Por otro lado, el impacto es más relevante en términos de menor oferta de vuelos que en términos de menos emisiones. Por tanto, parece que en estas rutas las aerolíneas reaccionan reduciendo frecuencias, pero utilizando aviones más grandes que pueden ser más eficientes en términos de consumo de combustible por kilómetro.

El Cuadro 4 muestra el efecto del ETS utilizando la submuestra que solo considera rutas con aeropuertos de grandes destinos turísticos. El impacto es mayor del 11%, tanto en términos de emisiones como de vuelos. El supuesto de tendencias paralelas (Figura 4) no muestra diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de control y tratamiento antes de la implementación de la política.

Por tanto, encontramos evidencia clara de que el impacto del ETS es mayor en rutas aéreas con gran proporción de viajeros por turismo. Dado el gran peso del

CUADRO 3
EFFECTO DEL ETS EN LAS EMISIONES
DE LA AVIACIÓN DE ESPAÑA CON
INTERACCIÓN CON EL TREN DE ALTA
VELOCIDAD

	(1)
Panel A: ln(emisiones)	
ETS	-0,043* (0,025)
ETS x TAV	-0,132* (0,069)
Observaciones	72,965
Panel B: ln(vuelos)	
Mercado de emisiones ETS	-0,047** (0,023)
ETS x TAV	-0,212*** (0,043)
Observaciones	72,965
Estimador	TWFE
Control vars.	Entropía B.
Aerol.-ruta FE	SÍ
Año FE	SÍ
Trimestre FE	SÍ

NOTA: Errores estándar robustos a heterocedasticidad.
 *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$.

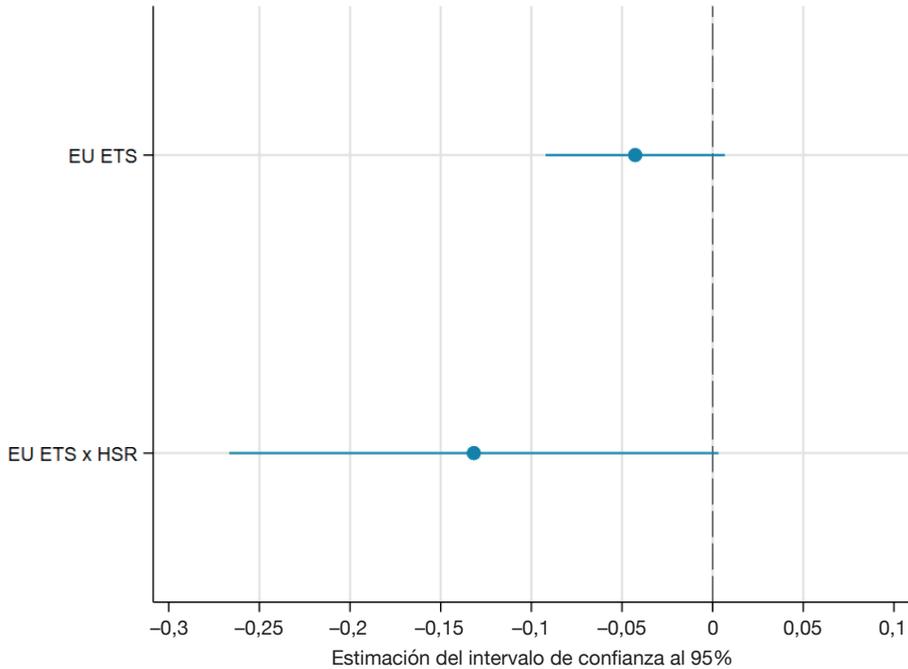
FUENTE: Elaboración propia.

turismo en el mercado de la aviación en España, esto explicaría que tal impacto sea mayor aquí que para el conjunto de países del EEE.

Como en la estimación anterior, una elevada elasticidad de la demanda implicará un mayor efecto del ETS. Asimismo, podemos esperar que la elasticidad de la demanda al precio sea mayor para viajeros por turismo que para viajeros por otros motivos como trabajo o visitas a familiares y amigos que tienen mayor peso en, por ejemplo, rutas entre grandes ciudades (Brons *et al.*, 2002). Por otro lado, la elasticidad de la oferta a mayores costes también puede ser elevada en este caso.

Las aerolíneas de red como Iberia operan desde aeropuertos *hub*, desde donde articulan complejas redes de rutas basadas en el tráfico de conexión (las llamadas redes *hub-and-spoke*). Este tipo de aerolíneas están muy ligadas a sus aeropuertos *hub* y a su país de origen, de manera que difícilmente trasladarán su negocio a otros aeropuertos y países a no ser que el aumento de costes sea realmente muy elevado. En cambio, las aerolíneas de bajo coste y, más aún, las aerolíneas de vuelos *chárter*

FIGURA 3
EFFECTO EN EMISIONES DE LA INTERACCIÓN ETS Y TREN DE ALTA VELOCIDAD



FUENTE: Elaboración propia.

no tienen un vínculo tan estrecho con ningún aeropuerto o país (a no ser que sean subsidiarias de las aerolíneas de red como es el caso de Vueling).

Teniendo esto en cuenta, casi todo el tráfico turístico es canalizado por aerolíneas de bajo coste o aerolíneas chárter y estas pueden fácilmente trasladar sus aviones y empleados a otros aeropuertos o países en respuesta a un aumento de costes. De hecho, un efecto colateral del ETS podría ser el desplazamiento del tráfico de este tipo de aerolíneas a otros mercados turísticos (Turquía, Marruecos, Egipto, Túnez, etc.) que compiten directamente con el mercado europeo. Esto conllevaría el llamado fenómeno del *carbon leakage*, que implica que la reducción de emisiones en la zona regulada es en realidad un aumento de emisiones en las zonas no reguladas, poniendo en cuestión el objetivo de reducción global de las emisiones de CO₂. Por este motivo, las políticas climáticas son más efectivas en la lucha contra el cambio climático en la medida que la regulación ambiental se extiende a más países, en nuestro caso más allá del mercado europeo. Aun así, Fageda y Teixidó (2022) no encuentran evidencia a nivel europeo de *carbon leakage* en el sector.

CUADRO 4
EFFECTO DEL ETS EN LAS EMISIONES
DE LA AVIACIÓN DE ESPAÑA EN
RUTAS TURÍSTICAS

	(1)
Panel A: ln(emisiones)	
ETS	-0,116*** (0,020)
Observaciones	41,312
Panel B: ln(vuelos)	
ETS	-0,111*** (0,020)
Observaciones	41,312
Estimador	TWFE
Control vars.	Entropía B.
Aerol.-ruta FE	SÍ
Año FE	SÍ
Trimestre FE	SÍ

NOTA: Errores estándar entre paréntesis.

*** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,1.

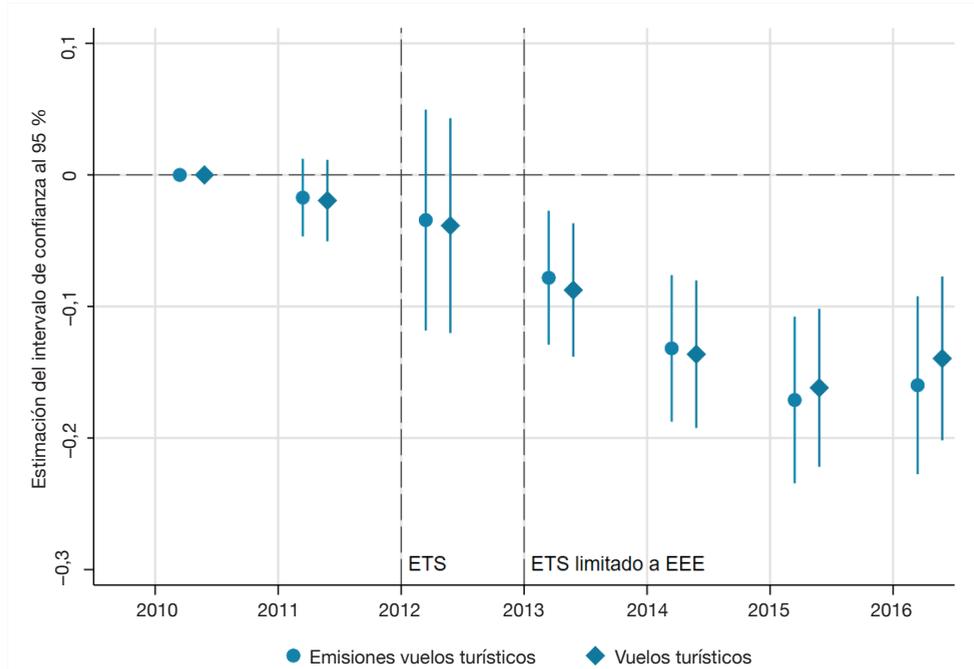
FUENTE: Elaboración propia.

5. Conclusiones

En este estudio, hemos examinado el impacto del mercado europeo de emisiones sobre la oferta y las emisiones de las aerolíneas que operan en aeropuertos españoles. Encontramos evidencia robusta de un fuerte impacto de esta política en España, de mayor magnitud del encontrado previamente para el conjunto de países del Espacio Económico Europeo. El mayor impacto relativo en el mercado español podría explicarse por la mayor influencia de la competencia intermodal, particularmente del tren de alta velocidad, pero sobre todo por el gran peso que el turismo tiene en la aviación y la economía españolas en comparación al resto de Europa.

Las rutas turísticas son principalmente operadas por aerolíneas de bajo coste y aerolíneas chárter que pueden fácilmente desplazar su actividad a otros aeropuertos y países en caso de un aumento de costes como el que conlleva el ETS. En este sentido, los márgenes de beneficios que obtienen estas aerolíneas en muchas rutas son estrechos y de hecho suelen ser negativos en la temporada de invierno. Es habitual que las aerolíneas trabajen con factores de ocupación y precios que les permitan, por

FIGURA 4
EFFECTO DEL ETS EN LAS EMISIONES DE LOS VUELOS TURÍSTICOS



NOTA: Esta figura muestra los resultados de los coeficientes de la interacción entre la variable que identifica vuelos entre países del EEE y cada uno de los años considerados. El año de referencia es el 2010 y los intervalos de confianza son al 95%. Ver Borusyak y Jaravel (2020) para más detalles sobre esta técnica de estimación.

FUENTE: Elaboración propia.

lo menos, no tener pérdidas. Es decir, su operativa está ya muy ajustada en términos de ingresos y costes. Por tanto, no es de extrañar que puedan reaccionar de forma significativa a aumentos de costes incluso si tales aumentos son modestos, como es el caso del aumento de costes, que implica el ETS en el periodo considerado. Por otro lado, la demanda basada en el turismo es elástica, así que aumentos de precios conllevan significativas reducciones de demanda, con la consiguiente reacción de las aerolíneas en forma de menos oferta y, con ello, menos emisiones. Por todo ello, no puede descartarse que el tráfico turístico podría estar particularmente afectado por la problemática asociada al *carbon leakage*, que implica un desplazamiento del lugar donde se originan las emisiones, pero no de una reducción global de emisiones.

El hecho de que el impacto del ETS sea elevado en rutas afectadas por la competencia intermodal aporta evidencia de que la inversión en modos de transporte más «limpios» que el avión, singularmente el tren, puede ser una estrategia complementaria para lidiar con el cambio climático. Sin embargo, es necesario hacer dos apuntes aquí que ponen en cuestión la relevancia práctica de esta estrategia. El transporte aéreo es el modo de transporte con mayores emisiones de CO₂ por pasajero-kilóme-

tro, más aún que las emisiones de los coches (European Commission, 2019). El servicio de tren, y particularmente el tren de alta velocidad, contamina muy poco, pero el impacto ambiental de la construcción de las vías férreas puede ser considerable. Y el coste económico del tren de alta velocidad es muy elevado, demasiado elevado como para esperar que afecte a un gran número de rutas, al menos el número que sería necesario para realmente combatir el cambio climático.

Así las cosas, encontramos evidencia de que el ETS es un instrumento relativamente eficaz, aunque su efectividad sería aún mayor si su cobertura geográfica fuera mayor que la que abarca actualmente. Esto evitaría distorsiones en potencia en la competitividad relativa entre los mercados turísticos afectados y no afectados por el mercado de emisiones.

Finalmente, indicar que los esfuerzos a realizar son todavía ingentes en atención a que, como se mencionaba al principio de este artículo, las emisiones provenientes de la aviación no han dejado de aumentar, y en España menos: simplemente el crecimiento de las emisiones en rutas de tratamiento es menor que el crecimiento de emisiones en rutas de control, pero esto no implica que no haya habido un incremento en valor absoluto de las emisiones en España (y en los demás países afectados por la política).

Referencias bibliográficas

- Angrist, J. D., & Pischke, J.-S. (2008). *Mostly harmless econometrics*. Princeton University Press.
- Azar, C., & Johansson, D. J. A. (2012). Valuing the non-CO₂ climate impacts of aviation. *Climatic Change*, *111*, 559-579. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0168-8>
- Borusyak, K., & Jaravel, X. (2020). *Revisiting Event Study Designs*. (Working Paper, Harvard University).
- Brons, M., Pels, E., Nijkamp, P., & Rietveld, P. (2002). Price elasticities of demand for passenger air travel: a meta-analysis. *Journal of Air Transport Management*, *8*(3), 165-175.
- Cames, M., Graichen, J., Siemons, A., & Cook, V. (2015). *Emission Reduction Targets for International Aviation and Shipping*. Directorate General For Internal Policies Policy Department A: Economic and Scientific Policy. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/569964/IPOL_STU\(2015\)569964_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/569964/IPOL_STU(2015)569964_EN.pdf)
- European Commission. (2019). *Handbook on the external costs of transport*. Directorate General for Mobility and Transport, European Commission. <https://cedelft.eu/publications/handbook-on-the-external-costs-of-transport-version-2019/>
- European Environment Agency. (2020). *EEA greenhouse gases - data viewer*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>
- Fageda, X., & Teixidó, J. 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/https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102591>
- Gössling, S., & Humpe, A. (2020). The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, *65*, 102194. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102194>

- Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2019). *CO2 emissions from commercial aviation* (ICCT Working Paper No. 2019-16). The International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_CO2-commercial-aviation-2018_20190918.pdf
- Graver, B., Rutherford, D., & Zengh, S. (2020). *CO2 emissions from commercial aviation. 2013, 2018 and 2019*. ICCT, The International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/CO2-commercial-aviation-oct2020.pdf>
- Hainmueller, J. (2012). Entropy Balancing for Causal Effects: A Multivariate Reweighting Method to Produce Balanced Samples in Observational Studies. *Political Analysis*, 20(1), 25-46. <https://doi.org/DOI: 10.1093/pan/mpr025>
- Klemetsen, M. E., Rosendahl, K. E., & Jakobsen, A. L. (2016). *The impacts of the EU ETS on Norwegian plants' environmental and economic performance*. Statistics Norway, Research Department Discussion Papers No. 833. <http://hdl.handle.net/10419/192815>
- Koopmans, C., & Lieshout, R. (2016). Airline cost changes: To what extent are they passed through to the passenger? *Journal of Air Transport Management*, 53(3), 1-11.
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., & Wilcox, L. J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>
- OECD. (2020). OECD Data - Tourism GDP. <https://data.oecd.org/industry/tourism-gdp.htm>
- Petrick, S., & Wagner, U. J. (2014). *The Impact of Carbon Trading on Industry: Evidence from German Manufacturing Firms* (Kiel Working Papers No. 1912). Kiel Institute.
- Sant'Anna, P. H. C., & Zhao, J. (2020). Doubly robust difference-in-differences estimators. *Journal of Econometrics*, 219(1), 101-122. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.06.003>
- Transport and Environment. (2016). *Aviation ETS - gaining altitude* (J. Dings, ed.).
- Verbeek, M. (2000). *A guide to modern econometrics*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Vivid Economics. (2007). *A Study to Estimate Ticket Price Changes for Aviation in the EU ETS*. Defra, Climate Change Economics Division.
- Wagner, U. J., Muûls, M., Martin, R., & Colmer, J. (2014). The causal effect of the European Union Emissions Trading Scheme: Evidence from French Manufacturing Plants. In *Unpublished*.
- Zimmerman, P. R., & Carlson, J. A. (2010). Competition and Cost Pass-through in Differentiated Oligopolies. US Federal Trade Commission.