

LA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TURÍSTICA SOBRE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: EL CASO DE MALLORCA¹

Jaume Rosselló-Nadal y Óscar Sáenz-de-Miera
Universitat de les Illes Balears

RESUMEN

El incremento de la movilidad de turistas en los destinos está asociado a un aumento de las externalidades del transporte rodado. Dichas externalidades han sido consideradas en la literatura y la agenda política de muchos países. Sin embargo, para una economía turística, el papel que éstas desempeñan no se ha analizado en profundidad. Este trabajo pretende vincular la contaminación del aire con el tráfico inducido por el turismo. Según los resultados, diferentes niveles de contaminación pueden asociarse al «stock» diario de población, cuya principal fuente de variación radica en el turismo.

Palabras clave: externalidades, contaminación atmosférica, transporte rodado, Mallorca.

The influence of tourist activities on air pollution: the case of Mallorca

ABSTRACT

The increase in tourists' mobility in destinations is associated with a increase in traffic externalities. Road transport externalities have been present both in the literature and on the policy agenda for many countries. However, for a tourist economy, the role of such externalities has not been analyzed in depth. This study aims at relating air pollution with the road transport induced by tourism activity. Results show how different levels of pollution can be associated to the daily stock of people, whose main source of variability lies in the tourism level.

Key words: externalities, atmospheric pollution, road transport, Majorca.

Fecha de recepción: 24 de abril de 2009

Fecha de aceptación: 14 de abril de 2010

Centre de Recerca Econòmica. Universitat de les Illes Balears. 07122 PALMA DE MALLORCA (España).
E-mail: jrossello@uib.es

¹ Los autores agradecen la ayuda recibida a través del proyecto de investigación ETRET (Externalidades del Transporte Rodado en Economías Turísticas) financiado por el Govern de les Illes Balears y por el Ministerio de Ciencia y Innovación (SEJ2007-67910). Los autores agradecen también la ayuda proporcionada por David Martínez (Centre de Recerca Econòmica) en la estimación del stock diario de turistas en las Islas Baleares.

1. INTRODUCCIÓN

Los beneficios económicos que trae consigo la actividad turística suelen gozar de un elevado conocimiento por parte de la población y las administraciones públicas. Más allá de las apuestas por la calidad ligada a mejoras en el entorno natural o cultural (Flores, 2008; Foronda y García, 2009; Marrero y Santana, 2008; Ponce, 2007) desde un punto de vista de gestión social, es importante evaluar sus ganancias netas, lo cual implica considerar también los costes externos derivados del turismo. Para esta labor, Dwyer y Forsyth (1997) sugieren estudiar el turismo desde una perspectiva integral, la cual permite considerar el nivel de gasto hecho por los turistas y los costes directos que supone la provisión de servicios turísticos, así como factores adicionales. Dichos factores incluyen costes que pueden incidir directamente en los beneficios de las empresas pero también externalidades (Dwyer y Forsyth, 1993).

Una importante causa de las externalidades radica en las actividades de transporte, que son cruciales para el desplazamiento de los turistas. Según Palmer et al. (2007), el incremento en la circulación de turistas dentro de los países o regiones de destino ha implicado un aumento en las externalidades ligadas a este tipo de actividad, lo cual debe vincularse a los medios de transporte empleados por los turistas y que ha supuesto, durante los últimos años, la popularización de medios de transporte privado, en general, y de coche de alquiler, en particular. En el caso del transporte rodado, las externalidades suelen derivarse de la decisión de un usuario de incorporarse a una determinada infraestructura tomando en consideración los beneficios privados pero obviando los efectos negativos sobre otros usuarios (De Rus et al., 2003). Dichos costes pueden incluir desde la pérdida de tiempo, polución o ruido.

Más precisamente, al estudiar las externalidades ocasionadas por el uso de transporte rodado, Qingyu et al. (2007), Verhoef et al. (2000) y Lakshmanan et al. (2001) han sugerido una clasificación que divide a las externalidades en «intra-sectoriales», las cuales incluyen los costes que los usuarios se imponen mutuamente y «inter-sectoriales» que son impuestos sobre la sociedad como conjunto e incluyen polución y ruido. En cualquier caso, a la hora de establecer determinantes sobre los niveles de externalidad la literatura Verhoef (2000), Qingyu et al. (2007) y Maibach et al. (2008) coinciden en distinguir cuatro grandes categorías: (i) congestión, que se traduce en pérdida de tiempo y consumo de combustible a bajas velocidades, (ii) ruido, (iii) accidentes y (iv) contaminación del aire, cuestión relacionada también con la literatura del cambio climático.

Ha sido precisamente esta última, y más concretamente, la emisión de gases de efecto invernadero, la que ha generado en los últimos años un creciente interés por parte del sector turístico ante la evidencia de un calentamiento global del planeta y la necesidad de atribuir responsabilidades a los diferentes sectores económicos implicados. La importancia de este problema ha sido enfatizada por Gossling et al. (2005), quien sostiene que el uso de combustibles fósiles y la consiguiente emisión de gases de efecto invernadero constituyen, desde una perspectiva global, el problema ambiental más apremiante para el turismo. Es más, el análisis de la emisión de contaminantes atmosféricos es una manera de considerar el problema, aun mas amplio, que representa el calentamiento global. De hecho, el cambio climático y el calentamiento global son principalmente ocasionados por

la emisión de gases invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄).

Volviendo así al efecto que el tránsito rodado ha tenido sobre la contaminación atmosférica, tanto a la hora de entender los determinantes como para predecir los niveles futuros de contaminación atmosférica, la literatura ha identificado un conjunto de variables cuya utilización se ha ido generalizando y consensuando. Entre estas variables, cabe destacar las referidas a las condiciones climáticas, el nivel de exposición y otras variables cualitativas, cuya función ha sido la de reflejar el efecto de leyes de seguridad y variaciones estacionales. Al incluir estas últimas muchos estudios toman en cuenta que, la existencia de días festivos y de temporadas altas en los destinos turísticos, desempeñan un papel primordial para determinar los niveles de contaminación atmosférica. A pesar de esto, la revisión de la literatura muestra como hasta ahora no se ha incluido como variable ninguna medida cuantitativa con la cual se considere, de manera explícita, el efecto del volumen de turistas sobre la contaminación atmosférica. Es por esto que el presente estudio tiene como objetivo principal el de tratar de relacionar el efecto del volumen de turistas sobre la contaminación atmosférica, utilizando para ello el caso de estudio de la isla de Mallorca. Las razones para la utilización de la isla de Mallorca como caso de estudio radican en (i) la importancia relativa del turismo en la isla, que con casi 10 millones de turistas anuales cuenta con una población de tan sólo 0,8 millones de habitantes; (ii) la características geográficas de la isla, que hacen posible el cálculo detallado del stock de población presente en el territorio a nivel diario a través del los flujos de puertos y aeropuertos y (iii) la disponibilidad del resto de variables meteorológicas necesarias para llevar a cabo un estudio de esta naturaleza.

Es importante insistir en la evaluación del papel que desempeña el transporte de turistas sobre los niveles de emisiones atmosféricas pues, según Peeters et al., (2007) y Gossling et al. (2002), dentro de la literatura no se han considerado los impactos ambientales derivados de segmentos específicos como el transporte de turistas. Por estas razones, en el presente estudio se intenta explicar el nivel de concentración de contaminantes en la atmosfera, a partir de datos diarios a través del uso de la mayoría de las variables sugeridas por la revisión de la literatura e incluyendo una medida del stock de turistas en el destino turístico.

2. LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE GENERADA POR EMISIONES DE TRÁFICO

Los costes externos que cada usuario impone sobre otros usuarios de una carretera han sido tomados en cuenta durante varias décadas desde el surgimiento de lo que Johansson-Stenman (2006) llama la discusión clásica sobre costes externos de Pigou. Sin embargo no ha sido hasta años mas recientes cuando las externalidades vinculadas a la contaminación del aire han empezado a recibir un elevado grado de atención por parte de la literatura académica. Muestra de ello son estudios como el de Maibach et al. (2008) donde se sostiene que la contaminación del aire es una categoría esencial de los costes externos, y en donde se revisan como dichos contaminantes acaban derivando en costes sobre la salud,

daños materiales y de edificaciones, pérdida de cosechas e impactos sobre la biosfera, biodiversidad y ecosistemas (suelos, aguas superficiales y aguas subterráneas).

La contaminación del aire ocasionada por el transporte rodado se suele asociar a contaminantes específicos que, según Maibach et al. (2008), incluyen partículas de 10 y 2,5 micrómetros (PM_{10} , $PM_{2.5}$), óxidos de nitrógeno (NO_x , NO_2), dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3) y compuestos orgánicos volátiles (COVs). El ozono troposférico (O_3), identificado como el componente más importante del humo fotoquímico, es uno de los principales contaminantes que deterioran la calidad del aire. Adicionalmente, los altos niveles de ozono no sólo desempeñan un papel importante en el daño a especies vegetales, materiales naturales y bienes manufacturados, sino que también conducen al daño de tejidos humanos (Abdul-Wahab et al., 2005). Los llamados compuestos orgánicos volátiles (COVs), que incluyen al benceno y al 1,3 butadieno, desempeñan un importante papel en la formación de ozono al mismo tiempo que se han señalado como responsables de diversas enfermedades respiratorias. Además, son agentes tóxicos por sí mismos: el benceno es una conocida causa de leucemia en ambientes laborales además de estar asociado a otros tipos de efectos sobre la salud no relacionados con el cáncer; el 1,3 butadieno, por su parte, también ha sido reconocido como causa de leucemia en ambientes laborales y se ha demostrado que tiene efectos sobre el desarrollo y la salud reproductiva de los animales.

Durante las últimas décadas, el incremento global en la concentración de contaminantes como el ozono troposférico ha sido atribuido principalmente a las emisiones de tipo antropogénico, de la industria y el tráfico. Sousa et al. (2007) centra su enfoque en el ozono y sostiene que las interacciones fotoquímicas entre los contaminantes emitidos (óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles) con unas condiciones meteorológicas favorables (altas temperaturas y fuerte radiación solar) pueden conducir a elevadas concentraciones de ozono. Existen contaminantes cuyos niveles de concentración se deben principalmente a las emisiones provenientes de fuentes móviles. Reiss (2006) coincide con esto, ya que al considerar las concentraciones de benceno y 1,3-butadieno en puntos seleccionados de Houston, Texas, sostiene que las emisiones móviles constituyen la principal fuente de emisiones.

2.1. Determinantes de la contaminación del aire

De las variables determinantes normalmente utilizadas para explicar la concentración de contaminantes, la primera gran categoría que se considera en los estudios se refiere a las variables meteorológicas. En el caso del ozono, Thompson et al. (2001) afirma que la variabilidad de dicho contaminante, particularmente cuando excede los niveles estándares, puede verse sustancialmente afectada por las condiciones meteorológicas. Es por esta razón que una buena parte de los estudios tratan de explicar la evolución de los niveles de ozono a través de las condiciones climatológicas. En este sentido, los periodos de alta concentración de ozono suelen relacionarse con periodos climáticos de alta presión y escaso movimiento que resultan en sol, altas temperaturas y aire estancado.

Tal como sucede con el ozono, según Reiss (2006), la concentración de materiales tóxicos en el aire varía en función de las condiciones meteorológicas. Este es el caso de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ que, de acuerdo con Chaloulakou et al. (2003),

se explican a partir de variables como temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, época del año y día de la semana. Una clara muestra de la influencia de este tipo de variables son los trabajos de Cox y Chu (1993, 1996) que considera alrededor de 100 variables meteorológicas. De acuerdo con dichos estudios, la temperatura máxima superficial, la velocidad del viento, la humedad relativa, la altura de mezcla, la cubierta de nubes y la velocidad del viento por interacción de temperatura son predictores significativos en la mayoría de las áreas metropolitanas de los Estados Unidos (Thompson et al., 2001).

La utilización de tendencias lineales con el fin de recoger cambios estructurales progresivos (mejoras tecnológicas, mejoras en las infraestructuras, etc.) ha sido también una práctica habitual en este tipo de estudios (Reiss, 2006 y Aleksic et al., 2005). Sin embargo, cabe reconocer que la mayoría de autores acaban reconociendo las limitaciones que implica la suposición de linealidad en la tasa de concentración a lo largo del tiempo.

Buena parte de la literatura también ha dedicado especial atención al hecho de que, la concentración de ciertos contaminantes se explica por la presencia de otros contaminantes. El más claro ejemplo es el ozono, cuyo comportamiento en la atmósfera humana resulta bastante complejo. Por una parte, las concentraciones de ozono se ven influenciadas por varios factores meteorológicos como radiación solar, temperatura, dirección y velocidad del viento. Por otra parte, dichas concentraciones se relacionan de modo intrincado con las concentraciones de NO_x y COVs, ambos precursores del ozono (Sandanaga et al., 2008). De manera similar, Abdul-Wahab et al. (2005) ha sugerido que el ozono es un contaminante fotoquímico secundario, producido a partir de precursores antropogénicos que incluyen emisiones industriales y vehiculares, de COVs y NO_x . El ozono se produce cuando los contaminantes primarios NO_x y COVs (llamados con frecuencia hidrocarburos libres de metano; NMHC por sus siglas en inglés) reaccionan bajo el efecto del sol. De manera conjunta, se suele hacer referencia al NO_x y los COVs como precursores del ozono. Es por esto que los estudios utilizan datos sobre concentración de contaminantes ambientales (CH_4 , NMHC, CO, CO_2 , NO, NO_2 y SO_2) y variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento, temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar) para predecir la concentración de ozono en la atmósfera usando modelos, tanto de regresión lineal como de componentes principales.

De modo similar, Shi et al. (1997) centra su enfoque en la influencia que el dióxido de nitrógeno (NO_2) ejerce sobre el NO_x . De acuerdo con dicho estudio, las emisiones vehiculares y de combustión son la principal fuente de óxidos de nitrógeno en el ambiente urbano. La mayoría del NO_x primario es emitido en forma de monóxido de nitrógeno (NO) pero la mayor parte termina convirtiéndose en dióxido de nitrógeno (NO_2) al reaccionar con el ozono (O_3) en la atmósfera. Según los resultados del estudio, las emisiones primarias y la velocidad del viento son los principales factores que influyen sobre los niveles de concentración de NO_x . Además de esto, la reacción del dióxido de nitrógeno (NO_2) con el ozono (O_3), es una importante influencia en las concentraciones de NO_x .

El otro tipo de variables que se ha utilizado para predecir la concentración de contaminantes tiene que ver con el tráfico. Carlslaw et al. (2007) incluye el flujo de vehículos de carga pesada y ligera como variable explicativa mientras que; el tráfico se encuentra entre la lista de variables explicativas empleadas por Aldrin et al. (2005) y Shi et al (2007). De

modo similar, Reiss (2006) considera las diferencias en emisiones que se dan entre días de la semana y fines de semana, que se deben principalmente a diferencias en patrones de tráfico vehicular.

Este último estudio es un ejemplo de los muchos que han sugerido considerar las diferencias en los niveles de concentración, dependiendo de si es un día entre semana o durante el fin de la misma. Así, Sandanaga et al. (2008) analiza esta diferencia para contaminantes como NO_x e hidrocarburos libres de metano (NMHCs) en Tokio y Osaka, Japón, de 2001 a 2004 con la finalidad de investigar lo que se denomina efecto de fin de semana del ozono. De acuerdo con el estudio, este efecto es un fenómeno propio del comportamiento del ozono, comúnmente observado en la atmósfera urbana, que muestra como las concentraciones de ozono durante el fin de semana son mayores que las del resto de la semana aún habiendo menores concentraciones de precursores del ozono. Este efecto fue descubierto en los Estados Unidos, durante los setenta y, recientemente ha sido reconocido en muchos otros países.

2.1.1. Contaminación del aire en el entorno Mediterráneo

La isla de Mallorca, situada en la cuenca mediterránea occidental, se distingue por presentar unas características geográficas similares a las de su área, con una topografía abrupta que deriva en bajas velocidades del viento que dificultan la circulación del aire (Gangoiti et al., 2001; Rodríguez et al., 2007). Debido a estas y otras características específicas de esta región, como las tasas relativamente bajas de precipitación, la acumulación de partículas contaminantes se ve favorecida (Rodríguez et al., 2007). El polvo mineral y partículas acumuladas que son «re-suspendidas» contribuyen significativamente a los niveles de PM₁₀ (Querol et al., 2008; Rodríguez et al., 2007).

Los fenómenos climatológicos y el comportamiento de los contaminantes en el aire de la región mediterránea también se ven determinados por factores estacionales, como una fuerte insolación durante el verano, circunstancia que favorece que las emisiones de NO_x y otros precursores, sean transformados en oxidantes, compuestos ácidos, aerosoles y O₃ gracias a procesos que resultan en un fenómeno llamado «re-circulación» (Gangoiti et al., 2001, Millán et al., 2002, Sanz y Millán, 1998).

Otro factor que caracteriza a las Baleares y contribuye a la concentración de contaminantes en dicha región es la presencia recurrente de «episodios de polvo africano». Diversos autores (Astitha et al., 2008; Querol et al., 2008; Rodríguez et al., 2007) coinciden en que la presencia de polvo del Sahara influye de manera significativa en los niveles de concentración de partículas contaminantes en el Mediterráneo, incluso ocasionando que dichos niveles excedan los límites establecidos por la Unión Europea.

Una vez señalados los principales factores que determinan el comportamiento de los contaminantes en la zona occidental del Mediterráneo, es necesario enfatizar la influencia de la actividad humana sobre los niveles de contaminación. Según Rodríguez et al. (2007), las actividades humanas alteran la composición natural del PM e incrementan sus niveles de concentración en el ambiente muy por encima de los que suele tener en su entorno natural. Además, según Sanz et al. (2002), la cantidad de nitrógeno inorgánico derivado de la atmósfera en la Cuenca Mediterránea ha sido subestimada. Según dicho estudio hay

que considerar el impacto fenómenos como la creciente industrialización y el tráfico no se tenían en cuenta hace algunas décadas y han dado origen a la formación de ozono, ácidos nitrosos, nitratos y otros compuestos del nitrógeno, incluyendo aerosoles, que se generan a partir de emisiones de NO_x y vapores orgánicos. Es por ello que en este trabajo se trata de vincular una de las principales actividades humanas que caracterizan al archipiélago Balear, el turismo, con los principales niveles de contaminación atmosférica.

2.2. Metodologías

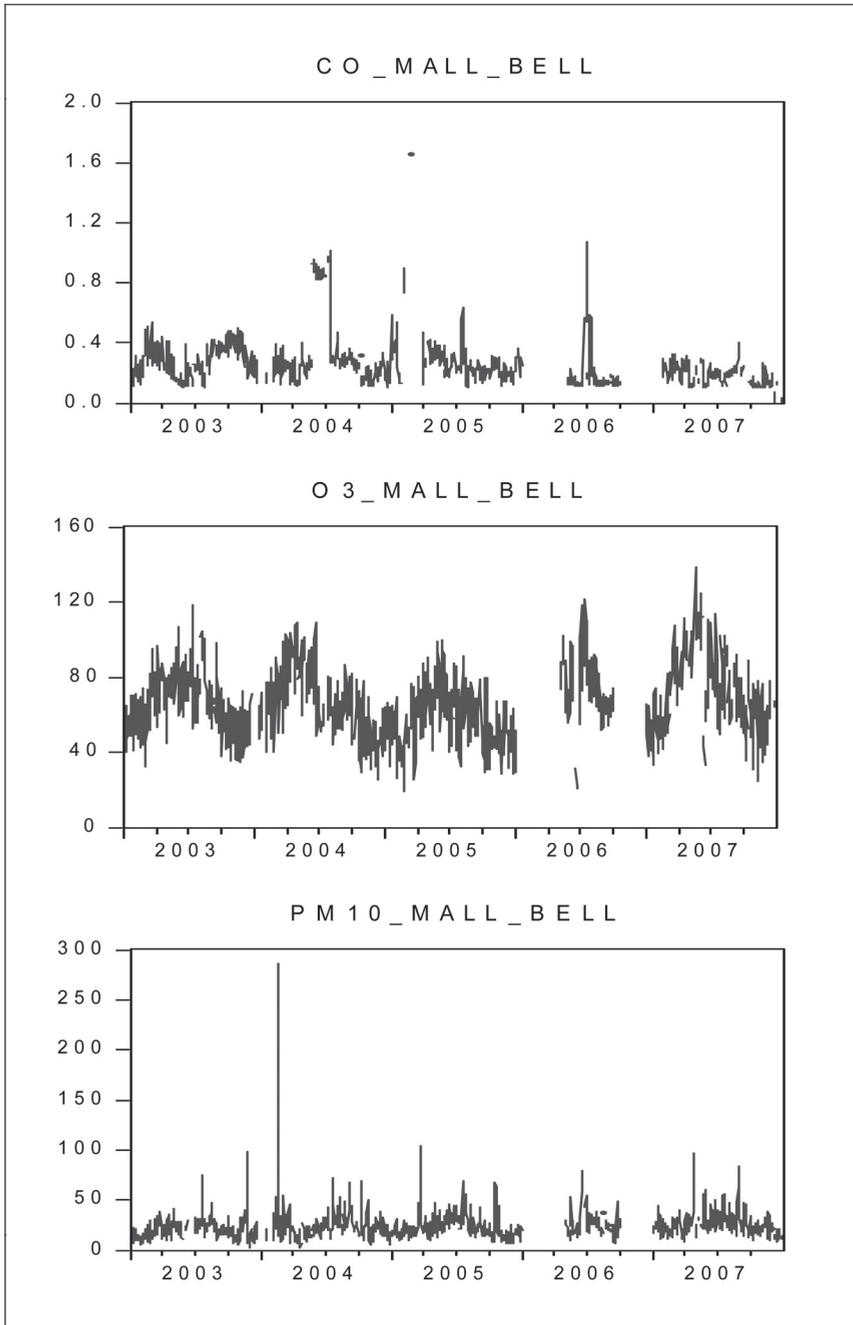
Durante los últimos años han sido múltiples las técnicas estadísticas desarrolladas con el fin de predecir y analizar los determinantes de los contaminantes atmosféricos con relación al tránsito rodado (Thompson et al., 2001).

De esta manera, un primer grupo de trabajos estaría representado por los modelos basados en redes neuronales, los cuales han adquirido gran popularidad por su capacidad de considera relaciones no lineales entre las variables. Aunque existe cierta controversia sobre su capacidad de mejorar las predicciones con relación a otros métodos más tradicionales (Aldrin et al., 2005; Gardner y Dorling, 1999; Kukkonen et al., 2003 y Schlink et al., 2003), la utilización de redes neuronales suele limitarse a trabajos cuyo principal objetivo es la predicción de los niveles de contaminación dado que existen dificultades para cuantificar las relaciones entre los determinares y las variables dependientes a través de la utilización de redes neuronales (Carlslaw et al., 2007).

Otro método, que ha adquirido popularidad en la última década, se basa en la metodología conocida como modelos aditivos generalizados (GAM por sus siglas en inglés), desarrollada por Hastie y Tibshirani (1990). La estructura del modelo relaja también la suposición de linealidad entre la variable dependiente y las independientes al hacer ajustes, con cuñas naturales, para cada variable (Reiss, 2006). Carlslaw et al. (2007) utiliza un modelo GAM para evaluar las tendencias en la concentración diaria de NO_x , NO_2 , CO, benceno y 1,3-butadieno, en una zona específica de Londres donde las concentraciones son predominantemente ocasionadas por los vehículos encontrando evidencia de la no linealidad entre los niveles de contaminación y determinadas variables meteorológicas. El modelo también fue aplicado para modelar tendencias de azufre y nitrógeno en el este de los Estados Unidos así como para estimar tendencias espaciales en Holland et al. (2000) y para considerar tendencias temporales de benceno y 1,3-butadieno en Houston por Reiss (2006).

En cualquier caso, cuando el objetivo pasa por determinar la influencia de un determinado factor sobre los niveles de contaminación, la más común de las metodologías suele basarse en la regresión, que, de esta manera, ante la presencia de relaciones no lineales, es capaz de ofrece un valor medio de la relación. Existen múltiples estudios que han centrado su atención en los modelos de regresión como por ejemplo Shi et al. (1997), el cual analizar los principales determinantes de NO_x y NO_2 en Londres con el fin de predecir, a largo plazo, los niveles de contaminación. Abdul-Wahab et al. (2005) basa también su estudio en un modelo regresión lineal múltiple en la que, con anterioridad, se utiliza la técnica de componentes principales, con el fin de mostrar los factores que contribuyen a la producción de ozono.

Figura 1
CO, O3 Y PM10 DE LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE BELLVER



dentro de la isla, tales como Cala Major, Calvià, Andratx y Peguera, al estar situada cerca de las principales vías de comunicación terrestres con dichas zonas.

Por su parte, las variables meteorológicas provienen del *Instituto Nacional de Meteorología* de las Islas Baleares y se refieren a la estación situada en el aeropuerto de Palma. Por último, el stock diario de población es elaborado periódicamente por el Centre de Recerca Econòmica. Dada la importancia que esta última variable desempeña en el desarrollo del presente estudio, los detalles acerca de su estimación se presentan en la próxima sección.

3.1. El stock de población diaria en Mallorca

La variable utilizada para determinar el efecto del turismo, sobre el nivel de concentración de contaminantes atmosféricos, es la población diaria presente en la isla de Mallorca o Indicador Diario de Presión Humana (IDPH), indicador desarrollado inicialmente por Riera y Mateu (2007). El IDPH estima la carga demográfica diaria cuantificando la gente que hay en un momento determinado a partir de los flujos de llegadas y salidas de puertos y aeropuertos.

Esta metodología toma como punto de referencia a la población del primer día de cada año (PR_0). Para cada uno de los días siguientes (t), el balance diario entre llegadas y salidas de población se deriva del tránsito de pasajeros en puertos y aeropuertos ($L_t - S_t$) y se le añade a continuación una estimación diaria del crecimiento natural de la población (V_t). En este último caso el supuesto utilizado es que la probabilidad, tanto de nacer como de morir, es la misma para cada día del año. De manera analítica:

$$IDPH_t^{RP} = PR_0 + \sum_{t=1}^{365} (L_t - S_t) + \sum_{t=1}^{365} V_t \quad [1]$$

Aunque esta primera ecuación resume la idea básica, no está exenta de algunos inconvenientes, a nivel práctico. Primero, al número de residentes de cada primer día del año, es necesario añadirle los no residentes (turistas) que se encuentran en Mallorca durante este periodo inicial ($PNRP_0$). De modo similar, los residentes que no están presentes durante este periodo inicial ($PRNP_0$) deberían ser restados. Ambas variables pueden estimarse a partir de las estadísticas de Frontur (en el caso de los turistas extranjeros) y de los registros de los establecimientos de alojamiento y a partir de los datos de Familitur para el caso de los residentes en Mallorca que se encuentran fuera de las islas. En este sentido, en realidad, la variable PR_0 , debería corregirse como:

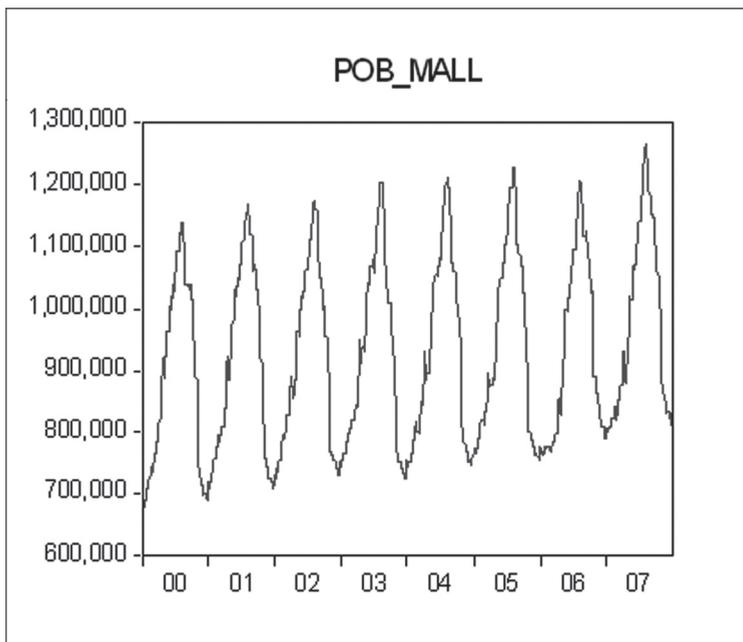
$$POB_0 = PR_0 + PNRP_0 + PRNP_0 \quad [2]$$

De manera que la Ecuación 1 se viera corregida de la siguiente manera:

$$IDPH_t = POB_0 + \sum_{t=1}^{365} (L_t - S_t) + \sum_{t=1}^{365} V_t \quad [3]$$

El segundo punto a tomar en cuenta se deriva del hecho de que las llegadas en los aeropuertos son una estimación, mientras que las salidas son un registro. Esta circunstancia deriva en la presencia de un error sistemático en las estimaciones de llegadas que debe ser corregido de manera proporcional a lo largo del año con el fin de que el stock de población a 1 de enero de cada año coincida. Tras las correcciones efectuadas el IDPH para Mallorca, con los datos disponibles, puede ser calculado para el periodo que va del 1 de enero de 2000 al 31 de diciembre de 2007. La Figura 2 muestra su evolución observándose el comportamiento estacional típico de las llegadas de turistas a la isla.

Figura 2
IDPH EN MALLORCA



4. ANÁLISIS EMPÍRICO

Siguiendo las consideraciones señaladas en la sección 3, el modelo utilizado para capturar los principales determinantes de la contaminación del aire en Mallorca y la influencia del transporte rodado de turistas puede ser expresado como:

$$y_t^i = f(x_t^z, D_t^k, T_t, IDPH_t) \quad [4]$$

\mathcal{V}_t^i representa el nivel de concentración para el día t del contaminante i donde, $i =$ Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O3) y partículas de 10 micrómetros o menos (PM10); x_t^z se refiere al grupo de variables diarias que se relacionan con el clima donde, $z =$ horas de sol, presión máxima y mínima, temperatura máxima y mínima, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento; D_t^k representa variables cualitativas cuya función es capturar los diferentes patrones de uso del transporte rodado que se dan a lo largo de la semana (k); T_t es una tendencia lineal utilizada con frecuencia en otros estudios, para captar las tendencias en el uso de transporte rodado o similar; y $IDPH_t$ es el stock diario de población en la isla de Mallorca, calculado como se menciona en la sección 3.1. Los resultados de la estimación se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1
RESULTADOS PARA LA ESTACIÓN DE MONITOREO DE BELLVER

	O ₃	CO	PM ₁₀
Constant	-321.4138	-3.527538**	-383.1893***
AR(1)	0.7711	0.8189***	0.529171***
D1	-3.5554***	-	2.206242**
D2	-4.4031***	-	2.140259*
D3	-4.3331***	-	1.487114
D4	-3.9534***	-	0.960723
D5	-3.5374***	-	2.388146**
D6	-1.5734**	-	1.998423**
WIND	0.1352***	-0.0008***	-
RH	-0.1471***	-	-
PREC	-0.1294**	-	-0.2024***
PRES	-	0.0010**	-
SUN	0.613***	-0.0024***	-0.4831***
TREND	-	-0.0001*	-
IDPH	28.363***	0.217705**	29.7419***
Equation Statistics			
Adjusted R-squared	0.688707	0.864101	0.340375
Durbin-Watson stat	2.211449	2.034418	2.069442
Mean dependent var	67.04566	0.261203	24.1119
S.D. dependent var	18.09752	0.153627	13.80437
F-statistic	251.1869	1333.488	69.47491

***, ** y * representan la significancia estadística, al 1%, 5% y 10 % respectivamente.

Debido a la alta correlación entre variables meteorológicas, no todas resultaron significativas y el modelo incluye humedad relativa (RH), precipitación, (PREC), velocidad del viento (WIND), presión máxima (PRES) y horas de sol (SUN). Las variables ficticias para el día de la semana también fueron incluidas (de D1 a D6, esto es de lunes a sábado) referidas al domingo, con resultados significativos solamente en las ecuaciones de O_3 y PM_{10} . Asimismo un retardo de la variable dependiente fue incluido como regresor con el fin de capturar la importante autocorrelación de la serie temporal. Finalmente, la variable IDPH resultó ser altamente significativa para las ecuaciones de O_3 y PM_{10} , pero solamente lo fue al 5% en el caso del CO.

Los signos de las ecuaciones estimadas implican diferentes interpretaciones. De esta manera, no se puede llegar a conclusiones claras a partir de los resultados de la variable WIND, ya que los signos son distintos para cada contaminante. Conforme a los resultados, un incremento en la velocidad del viento supondría una disminución en los niveles de CO en el aire, mientras que una inesperada relación positiva fue encontrada para el caso del O_3 (Thompson et al., 2001, señala que el aire estancado favorece la formación de Ozono en el aire). En cuanto a la variable RH, esta resultó significativa solo en la ecuación de O_3 , mostrando una relación negativa. La cantidad de lluvia (PREC) fue también significativa presentando un signo negativo para las ecuaciones de O_3 y PM_{10} . Mientras tanto, la presión máxima (PRES) fue significativa solo en el caso del CO, presentando la relación positiva que se esperaba. La variable de horas de sol (SUN) resultó ser significativa en los tres modelos. Mientras que el signo fue negativo para CO y PM_{10} , el signo positivo obtenido para el caso del O_3 , va de acuerdo a lo que se esperaba. La literatura relevante incluye las horas de sol como una de las condiciones normalmente asociadas con periodos de altas concentraciones de ozono (Thompson et al., 2001).

En lo que a las ficticias de día de la semana (D1 a D6), parece claro que durante los domingos se obtiene un bajo nivel de O_3 , en comparación con los resultados de otros días. Sin embargo, los resultados para el PM_{10} indican justo lo opuesto. En cualquier caso, cabe recordar que tal y como se ha comentado en la revisión de la literatura, esta contraposición en las variables del día de la semana era la esperada. En el caso del CO, estas variables no fueron significativas. En contraposición, sólo la ecuación de CO presenta una tendencia decreciente significativa (T).

Por ultimo, la variable de stock de población (IDPH) fue significativa y tuvo el signo esperado para los tres modelos, exhibiendo la relación positiva entre población diaria y nivel de contaminación. De esta forma teniendo en cuenta como la principal variabilidad de dicha variable proviene de la presión turística con su consecuente movilidad, se evidencia el impacto que el turismo está ejerciendo sobre los niveles de contaminación del aire en la Isla de Mallorca.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Tal y como la literatura ya había evidenciado, las variables meteorológicas juegan un papel crucial al la hora de determinar los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos considerados para la estación de Bellver (Mallorca). La inclusión de varia-

bles ficticias de día de la semana, cuya finalidad es la de recoger la diferente utilización de los vehículos, también ha resultado ser de enorme utilidad.

En cualquier caso, la importancia de la actividad turística sobre el nivel de los tres tipos de contaminantes analizados, aproximada para el caso de Mallorca a través del volumen diario de turistas, se ha mostrado como un determinante más a tener en cuenta en posteriores estudios. En este sentido, la dificultad de atribuir niveles de externalidad al sector turístico, dada la inexistencia de un sector económico como tal, se ha visto superada mediante la utilización de una variable poblacional cuya variación principal puede atribuirse a la demanda turística en el caso de Mallorca. Así los resultados del estudio han permitido situar a la actividad turística como un determinante más de los niveles de contaminación registrados en los últimos siete años.

Aunque los niveles de contaminación que se alcanzan en la estación de Bellver, hoy por hoy, no constituyen un motivo de preocupación para la salud, existen diferentes medidas de política turística que se han venido planteado últimamente y que, con un objetivo último de reducir el nivel de transporte rodado en las islas, podrían incidir positivamente en los niveles de contaminación. De esta manera, la efectividad de introducción de el impuesto por carburante, discriminando por temporadas, la imposición de una tasa por vehículo de alquiler (Palmer et al. 2007) o la simple imposición de tasas en determinados espacios naturales (Simancas, 2008) podría verse trasladado en una reducción de este tipo de externalidades ligadas a la actividad turística y a la utilización de transporte rodado.

Dentro de la literatura relevante no se encontraron estudios de caso que incluyeran una medida explícita del turismo. Es por esto que el presente estudio ha proporcionado un primer intento, obteniendo la relación positiva que se esperaba, la cual indica que el incremento de la población ocasionado por los turistas, conduce a un incremento en las externalidades. Esto también resulta de especial interés para la isla de Mallorca, donde la actividad turística desempeña un papel crucial.

En cualquier caso, los resultados presentados en este trabajo constituyen una primera evidencia de la existencia de una relación entre la actividad turística y los niveles de concentración de Monóxido de Carbono, Ozono y partículas de 10 micrómetros o menos. No debe descartarse la existencia de estructuras más complejas de interrelación entre los contaminantes, o de relaciones no lineales incapaces de ser capturadas con la metodología utilizada. En este sentido será necesario seguir profundizando, tanto en el esquema teórico como en la metodología empírica, para tratar de determinar la complejidad inherente a este tipo de situaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUL-WAHAB, S. A., BAKHEIT, C. S. y AL-ALAWI, S. M. (2005): «Principal component and Multiple Regression Analysis in Modelling of Ground-level Ozone and Factors Affecting its Concentrations», *Environmental Modelling & Software*, nº 20, pp. 1263-1271.
- ALDRIN, M. y HOBČK-HAFF, I. (2005): «Generalized Additive Modelling of air Pollution, Traffic Volume and Meteorology», *Atmospheric Environment*, nº 39, pp. 2145-2155.

- ALEKSIC, N., BOYNTON, G., SISTLA, G. y PERRY, J. (2005): «Concentrations and trends of benzene in ambient air over New York State during 1990-2003», *Atmospheric Environment*, nº 39, pp. 7894-7905.
- ASTITHA, M., KALLOS, G., KATSAFADOS, P. (2008) «Air pollution modeling in the Mediterranean Region: Analysis and forecasting of episodes», *Atmospheric Research*, nº 89, pp. 358-364.
- CARLSLAW, D. C., BEEVERS, S. D., TATE, J. E. (2007): «Modelling and Assessing Trends in Traffic-Related Emissions Using a Generalised Additive Modelling Approach», *Atmospheric Environment*, nº 41, pp. 5289-5299.
- CHALOULAKOU A., KASSOMENOS, P., SPYRELLIS, N., DEMOKRITOU, P. y KOUTRAKIS, P. (2003): «Measurements of PM10 and PM2.5 particle concentrations in Athens, Greece», *Atmospheric Environment*, nº 37, pp. 649-660.
- COX, W. y CHU, S., (1993): «Meteorologically Adjusted Ozone Trends in Urban Areas: a Probabilistic Approach», *Atmospheric Environment*, nº 27, pp. 425-434.
- COX, W. y CHU, S., (1996): «Assessment of Interannual Ozone Variation in Urban Areas from a Climatological Perspective», *Atmospheric Environment*, nº 30, pp. 2615-2625.
- DE RUS, G., CAMPOS, J. y NOMBELA, G. (2003): Economía del Transporte. Barcelona: A. Bosch. (Chapter 8):
- DWYER, L. y FORSYTH, P. (1993): «Assessing the Benefits and Costs of Inbound Tourism», *Annals of Tourism Research*, nº 20, pp. 751-68.
- DWYER, L. y FORSYTH, P. (1997): «Measuring the benefits and yield from foreign tourism», *International Journal of Social Economics*, nº 24, pp. 223-236.
- FLORES D. (2008): «Segmentación del Turismo en Parques Naturales. Un Análisis Comparado en Andalucía», *Papers de Turisme*, nº 43-44, pp. 169-190.
- FORONDA, C. y GARCÍA A.M. (2009): «La Apuesta por la Calidad como Elemento Diferenciador en los Destinos Turísticos: Planes Renovados», *Cuadernos de Turismo*, nº 23, pp. 89-110.
- GANGOITI, G., MILLÁN, M. M., SALVADOR, R., MANTILLA, E. (2001) «Long-Range Transport and Re-circulation of Pollutants in the Western Mediterranean During the Project Regional Cycles of Air Pollution in the West-Central Mediterranean Area», *Atmospheric Environment*, nº 35, pp. 6267-6276.
- GARDNER, M.W. y DORLING, S.R., (1999): «Neural Network Modelling and Prediction of Hourly NOx and NO2 Concentrations in Urban Air in London», *Atmospheric Environment*, nº 33, pp. 709-719.
- GOSSLING, S., BORGSTROM H., C., HORSTMEIER, O. y SAGGEL, S. (2002): «Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability», *Ecological Economics*, nº 43, pp. 199-211.
- GOSSLING, S., PEETERS, P., CERON, J., DUBOIS, G., PATTERSON, T. y RICHARDSON, R. B. (2005): «The eco-efficiency of tourism», *Ecological Economics*, nº 54, pp. 417-434.
- HASTIE, T. y TIBSHIRANI, R. (1990): «Generalized Additive Models», *Statistical Science*, nº 1, pp. 297-318.

- HOLLAND, D. M., DE OLIVEIRA, V., COX, L. H. y SMITH, R. L. (2000): «Estimation of regional trends in sulfur dioxide over the eastern United States», *Environmetrics*, n° 2000; 11, pp. 373-393.
- JOHANSSON-STENMAN, O. (2006): «Optimal Environmental Road Pricing», *Economics Letters*, n° 90 (2), pp. 225-229.
- KUKKONEN, J., PRATANEN, L., KARPPINEN, A., RUUSKANEN, J., JUNNINEN, H., KOLEHMAINEN, M., NISKA, H., DORLING, S., CHATTERTON, T., FOXALL, R. y CAWLEY, G., (2003): «Extensive Evaluation of Neural Network Models for the Prediction of NO₂ and PM₁₀ Concentrations, Compared with a Deterministic Modelling System and Measurements in Central Helsinki», *Atmospheric Environment*, n° 37, pp. 4539-4550.
- LAKSHMANAN, T. R., NIJKAMP, P., RIETVELD, P. y VERHOEF, E. T. (2001): «Benefits and costs of transport Classification, methodologies and policies», *Papers Regional Science*, n° 80, pp. 139-164.
- MAlBACH, M., SCHREYER, C., SUTTER, D., H. P. VAN ESSEN, B. H. BOON, R. SMOKERS, A. SCHROTEN C. DOLL B. PAWLOWSKA y M. BAK (2008): *Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT): Version 1.1.* Delft, CE.
- MARRERO, J. R. y SANTANA M. A. (2008): «Competitividad y Calidad en los Destinos Turísticos e Sol y Playa. El caso de las Islas Canarias» *Cuadernos de Turismo*, n° 22, pp. 123-143.
- MAYERES, I. (2002): «Taxes and Transport Externalities», *Public Finance and Management* 3, 94-116.
- MILLÁN, M. M., SANZ, M. J. SALVADOR R., MANTILLA, E. (2002): «Atmospheric Dynamics and Ozone Cycles Related to Nitrogen Deposition in the Western Mediterranean», *Environmental Pollution*, n° 118, pp. 167-186.
- PALMER, T., RIERA, A. y ROSELLO, J. (2007): «Taxing Tourism: The Case of Rental Cars in Mallorca», *Tourism Management*, n° 28, pp. 271- 279.
- PEETERS, P., SZIMBA, E. y DUIJNISVELD, M. (2007): «Major environmental impacts of European tourist transport», *Journal of Transport Geography*, n° 15, pp. 83-93.
- PONCE, M. D. (2007): «Salzillo, Testigo de un Siglo. La Implementación de la Calidad en la Gestión Turística de un Recurso Cultural» *Cuadernos de Turismo*, n° 20, pp. 7-26.
- QINGYU, L., ZHICAI, J., BAOFENG, S. y HONGFEI, J. (2007): «Method Research on Measuring the External Costs of Urban Traffic Congestion», *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, n° 7, pp. 9-12.
- QUEROL, X., ALASTUEY, A., MORENO, T., VIANA, M.M., CASTILLO, S., PEYA, J., RODRÍGUEZ, S., ARTIÑANO, B., SALVADOR, P., SÁNCHEZ, M., GARCIA DOS SANTOS, S., HERCE GARRALETA, M.D., FERNANDEZ-PATIER, R., MORENO-GRAU, S., NEGRAL, L., MINGUILLÓN, M.C., MONFORT, E., SANZ, M.J., PALOMO-MARÍN, R., PINILLA-GIL, E., CUEVAS, E., DE LA ROSA, J., SÁNCHEZ DE LA CAMPA, A. (2008) «Spatial and Temporal Variations in Airborne Particulate Matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) Across Spain 1999-2005», *Atmospheric Environment*, n° 42, pp. 3964-3979.

- REISS, R. (2006): «Temporal trends and weekend-weekday differences for benzene and 1,3-butadiene in Houston, Texas», *Atmospheric Environment*, nº 40, pp. 4711-4724.
- RIERA, A. y MATEU, J. (2007): «Aproximación al volumen de turismo residencial en la Comunidad Autónoma de las Illes Balears a partir del cómputo de la carga demográfica real», *Estudios Turísticos*, nº 174, pp. 59-71.
- RODRÍGUEZ, S., QUEROL, X., ALASTUEY, A., DE LA ROSA, J. (2007) «Atmospheric Particulate Matter and Air Quality in the Mediterranean: a Review», *Environmental Chemistry Letters*, nº 5, pp. 1-7.
- SANDANAGA, Y., SHIBATA, S., HAMANA, M., TAKENAKA, N. y BANDOW, H. (2008): «Weekday/weekend Difference of Ozone and its Precursors in Urban Areas of Japan, Focusing on Nitrogen Oxides and Hydrocarbons», *Atmospheric Environment*, nº 42, pp. 4708-4723.
- SANZ, M. J., MILLÁN, M. M. (1998) «The Dynamics of Aged Airmasses and Ozone in the Western Mediterranean: Relevance To Forest Ecosystems», *Chemosphere*, nº 36 (4-5), pp. 1089-1094.
- SANZ, M. J., CARRATALÁ, A., GIMENO, C., MILLÁN, M. M. (2002). «Atmospheric Nitrogen Deposition on the East Coast of Spain: Relevance of Dry Deposition in Semi-Arid Mediterranean Regions», *Environmental Pollution*, nº 118, pp. 259-272.
- SCHLINK, U., DORLING, S., PELIKAN, E., NUNNARI, G., CAWLEY, G., JUNNINEN, H., GREIG, A., FOXALL, R., EBEN, K., CHATTERTON, T., VONDRACEK, J., RICHTER, M., DOSTAL, M., BERTUCCO, L., KOLEHMAINEN, M. y DOYLE, M. (2003): «A Rigorous Intercomparison of Ground-level Ozone Predictions», *Atmospheric Environment*, nº 37, pp. 3237-3253.
- SHI, J. P. y HARRISON, R. M. (1997): «Regression Modelling of Hourly NO_x and NO₂ Concentrations in Urban Air in London», *Atmospheric Environment*, nº 31, pp. 4081-4094.
- SIMANCAS, M. R. (2008): «El Sistema de Cobro de una Tasa Pública por la Prestación de Servicios Turísticos en las Áreas Protegidas de Canarias» *Cuadernos de Turismo*, nº 21, pp. 201-237.
- SOUSA, S.I.V., MARTINS, F.G., ALVIM-FERRAZ, M.C.M., PEREIRA, M.C. (2007): «Multiple Linear Regression and Artificial Neural Networks Based on Principal Components to Predict Ozone Concentrations», *Environmental Modelling & Software*, nº 22, pp. 97-103.
- THOMPSON, M. L., REYNOLDS, J., COX, L. H., GUTTORP, P. y SAMPSON, P. D. (2001): «A review of statistical methods for the meteorological adjustment of tropospheric ozone», *Atmospheric Environment*, nº 35, pp. 617-630.
- VERHOEF, E. T. (2000): «The implementation of marginal external cost pricing in road transport. Long run vs short run and first-best vs second-best», *Papers Regional Science*, nº 79, pp. 307-332.

