

Fedea Policy Papers - 2018/04

**Atascos y contaminación en grandes ciudades:
Análisis y soluciones**

Xavier Fageda

(Dep. de Economía Aplicada y GIM, Universitat de Barcelona)

Ricardo Flores-Fillol

(Dep. de Economía y CREIP, Universitat Rovira i Virgili)

fedea

Las opiniones recogidas en este documento son las de sus autores y no coinciden necesariamente con las de FEDEA.

Resumen ejecutivo

1. Diagnóstico

Los atascos y la contaminación atmosférica asociados al uso del vehículo particular en los accesos a grandes ciudades son extraordinariamente graves.

1.1. Atascos. Las pérdidas de tiempo se cuantifican en 119 horas por persona al volante en Barcelona (equivalentes a 14 días laborables) y 105 en Madrid. Este tiempo se traduce en un coste económico enorme de 175,5 millones de euros en Barcelona y 187,5 millones de euros en la capital española. Para el conjunto de empresas españolas, la pérdida asociada a los atascos supera los 840 millones de euros al año (con datos de 2016).

1.2. Contaminación atmosférica. Las emisiones contaminantes provocan la muerte de 3,3 millones de personas al año en el mundo (más que el SIDA, la malaria y la gripe juntas) y el tráfico es una de sus principales causas. En España, 31.520 personas mueren anualmente debido a la contaminación atmosférica según la Agencia Europea del Medio Ambiente.

Nuestros datos sugieren que estos dos problemas están fuera de control y tienen visos de agravarse en el futuro próximo.

Madrid y Barcelona han aplicado algunas medidas restrictivas de tráfico vía cantidades. En casos de contaminación grave, Madrid dispone de un sistema de restricciones basadas en el número de matrícula (además de limitaciones de velocidad y aparcamiento). Por su lado, Barcelona ha implementado una zona de baja emisión aplicable en casos de emergencia que restringe el acceso a los núcleos urbanos de los vehículos más contaminantes. En la práctica, dichas actuaciones se han hecho efectivas muy pocas veces, aunque se espera que vaya endureciéndose su aplicación en los próximos años con el propósito de que sus efectos no sean tan limitados. En Barcelona, se prevé una aplicación progresiva de la zona de baja emisión hasta su establecimiento permanente en 2020. En cualquier caso, estas medidas tienen por objetivo exclusivo la reducción de la contaminación, por lo que ignoran el problema de los atascos. Además, presentan una serie de desventajas que se exponen un poco más adelante.

2. Análisis de las principales medidas para combatir estos problemas

Existen tres medidas principales para afrontar estos problemas: las inversiones en infraestructuras, las restricciones vía cantidades y las restricciones vía precios.

2.1. Inversiones en mejorar las infraestructuras. Estas inversiones sólo intentan resolver el problema de los atascos (y no la contaminación). Además, en núcleos urbanos con infraestructuras maduras, las inversiones destinadas a la mejora de la oferta implican costes muy elevados y una baja rentabilidad social, dada su *eficacia incierta* y sus *posibles efectos regresivos*.

- *Eficacia incierta.* La nueva oferta de carreteras puede generar demanda adicional como respuesta a la reducción del coste generalizado del viaje, por lo que las inversiones pueden resultar finalmente poco (o nada) eficaces, contribuyendo a perpetuar el problema de la congestión.

- *Posibles efectos regresivos.* Estas inversiones se financian en parte con impuestos de base amplia (IVA e IRPF) que no tienen un efecto global progresivo. Además, el coste de oportunidad asociado a las mismas es muy importante, ya que retraen cuantiosos recursos de otras posibles partidas de gasto claramente progresivas y redistributivas, tales como las destinadas a Educación, Sanidad o políticas sociales (cabe recordar que la redistribución de la renta en España tiene lugar fundamentalmente a través del gasto público).

2.2. Restricciones vía cantidades. Las dos medidas más importantes en esta categoría son las basadas en el número de matrícula y las zonas de baja emisión (que restringen el acceso a los núcleos urbanos de los vehículos más contaminantes). Estas medidas son generalmente ineficientes, ineficaces a medio plazo y regresivas.

- *Ineficientes.* Son indiscriminadas ya que no tienen en cuenta las valoraciones de los usuarios. Conductores con una gran necesidad de acceder al centro de la ciudad son expulsados.

- *Ineficaces a medio plazo.* Por un lado, las restricciones basadas en el número de matrícula generan incentivos en los usuarios a comprar nuevos vehículos para sortear dicha regulación. El resultado es una mayor demanda al cabo de un tiempo que restaura la congestión con los consecuentes atascos y contaminación atmosférica (especialmente si los coches adquiridos son de segunda mano y, por tanto, más antiguos y contaminantes). Por otro lado, las zonas de baja emisión pierden progresivamente su eficacia en cuanto a prevención de los atascos a medida que se renueva la flota de coches por otros menos contaminantes (aunque pueden ser eficaces en cuanto a la reducción de la polución).

- *Regresivas.* En cuanto a las restricciones basadas en el número de matrícula, parece claro que la posibilidad de sortear la medida a través de la adquisición de un nuevo vehículo está sólo al alcance de las familias con mayor nivel de renta. En cuanto a las zonas de baja emisión, restringen el acceso a los núcleos urbanos de los vehículos más contaminantes, que son los más antiguos. Obviamente, estos coches pertenecen a las familias con menor poder adquisitivo que difícilmente podrán afrontar la sustitución del vehículo actual por otro más "limpio".

2.3. Restricciones vía precios: Los peajes de congestión. Si están bien diseñados, son eficientes, eficaces y no regresivos.

- *Eficientes.* Tienen la virtud de conseguir que aquellos usuarios que valoran más la infraestructura sean precisamente los que la acaben utilizando. Los conductores que tienen verdadera necesidad de acceder a las ciudades en horas punta, lo hacen en unas condiciones óptimas sin congestión. De la misma forma, los que valoran menos el uso de la infraestructura, adaptan sus decisiones de viaje (racionalizando sus viajes o

reubicándolos en horas valle), de forma que evitan sufrir la congestión y descongestionan la vía.

- *Eficaces*. El establecimiento de un importe adecuado tiene la capacidad de reducir el tráfico en la proporción necesaria para eliminar el exceso de tráfico provocado por los atascos. El comportamiento exponencial de la congestión viaria hace que una reducción moderada de tráfico (que puede ser conseguida con peajes bajos) pueda resolver completamente el problema. Obviamente, la desaparición de los atascos implica una menor contaminación y ruido asociados a la circulación dilatada y alargada en marchas cortas.

- *No regresivos si están bien diseñados e implementados*. Los peajes de congestión podrían ser considerados como regresivos al no tener en cuenta la renta de los conductores que los terminan pagando. Ante esta crítica razonable, cabe considerar los siguientes argumentos.

♦ *Importe bajo*. El importe de los peajes suele ser bajo, con lo que el potencial efecto regresivo también lo es. Por ejemplo, en Estocolmo, el importe de los peajes oscila entre 1€ y 2€. Este coste es prácticamente irrelevante si lo comparamos, por ejemplo, con el impuesto sobre hidrocarburos que pagan irremediamente todos los conductores al repostar en las estaciones de servicio (que representan más del 50% del precio final del carburante) y que tienen un relevante efecto regresivo. Las experiencias existentes demuestran que, pese a representar un sobre coste bajo, los peajes de congestión pueden ser muy eficaces. Además, si tenemos en cuenta el ahorro de carburante resultante de la eliminación de los atascos, el peaje podría incluso tener un efecto neto positivo sobre el gasto de los conductores (incluso sin tener en cuenta el importante ahorro de tiempo).

♦ *Generan recursos*. Los peajes de congestión generan ingresos adicionales que pueden ser destinados a la mejora del transporte público o a otras políticas sociales progresivas. Incluso se podría destinar la recaudación a reducir el impuesto sobre hidrocarburos de forma que los conductores resultaran perfectamente compensados. No obstante, la aplicabilidad de medida es complicada dado que las entidades fiscales que recaudan y gestionan estos impuestos pertenecen a ámbitos territoriales diferentes (local en el caso de los peajes de congestión y estatal en el caso de los impuestos sobre hidrocarburos). Además, la aplicación de esta reducción del impuesto sobre hidrocarburos contribuiría a perpetuar un sistema que es claramente regresivo. Por todo ello, parece una mejor alternativa destinar estos ingresos adicionales a medidas claramente progresivas.

♦ *Aceptados socialmente a medio plazo*. La implantación de un sistema de peajes puede resultar impopular a corto plazo al hacer pagar a los consumidores por algo que antes era gratis. Además, los peajes pueden ser tildados de recaudatorios. En cambio, las experiencias internacionales demuestran que pueden acabar gozando de una gran aceptación a medio plazo, una vez que la población experimenta sus efectos positivos. En el caso de Estocolmo, el apoyo social a los peajes de congestión pasó del 30% antes de la aplicación a un 70% un año después de ponerlos en funcionamiento. Aunque parezca sorprendente, los conductores se mostraron mayoritariamente de acuerdo en pagar por algo que anteriormente era gratis. En cualquier caso, parece evidente que este tipo de medidas requiere de una cierta valentía política, que tiene una mayor

probabilidad de materializarse si las autoridades competentes comprenden el trasfondo económico de la congestión viaria y observan las experiencias internacionales exitosas. No es necesario inventar nada nuevo, basta con observar y adaptar las medidas que ya funcionan en otros lugares. La inacción que consiste en perpetuar un statu-quo ineficiente puede acabar implicando grandes pérdidas sociales.

3. Propuesta de peaje de congestión para Madrid y Barcelona

Como consecuencia del anterior análisis, proponemos un replanteamiento de las medidas restrictivas de tráfico vía cantidades que se están aplicando en Madrid y Barcelona y el establecimiento de un peaje de congestión que regule el acceso al centro de las ciudades en horas punta.

Este sistema tiene la capacidad de acabar definitiva y permanentemente con los atascos. El efecto de la ausencia de atascos sobre la contaminación atmosférica también sería rápidamente apreciable. Además, los peajes de congestión son fáciles de diseñar e implementar y producen resultados inmediatos a la vez que genera recursos adicionales.

La regla para determinar el importe óptimo del peaje de congestión es sencilla: debe ser aquel que elimine la congestión. Sugerimos fijar un impuesto muy bajo en una fase de prueba y evaluar cuál es el efecto de la reducción de tráfico sobre la congestión viaria. A partir de aquí, se puede ir ajustando el importe si es necesario hasta conseguir un tráfico fluido de acceso al centro de las ciudades. Insistimos en que el comportamiento exponencial de la congestión viaria permite que importes bajos reduzcan la congestión sustancialmente.

El objetivo principal de los peajes de congestión es resolver el problema de los atascos, mientras que el objetivo de reducción de la contaminación atmosférica se consigue como consecuencia del anterior. Por tanto, podría ser que eliminar los atascos no fuera suficiente para reducir las emisiones hasta alcanzar niveles aceptables. En ese caso, sería recomendable combinar la implementación de los peajes de congestión con otro tipo de medidas centradas en la reducción de la polución que no interfirieran con los peajes aplicados, como los incentivos a la compra de vehículos limpios o el fomento de la economía colaborativa en cuanto a movilidad

Atascos y contaminación en grandes ciudades: Análisis y soluciones

Xavier Fageda^a y Ricardo Flores-Fillol^b

^a Dep. de Economía Aplicada y GIM, Universitat de Barcelona, Av. Diagonal 690, Barcelona (xfageda@ub.edu)

^b Dep. de Economía y CREIP, Universitat Rovira i Virgili, Av. de la Universitat 1, Reus (ricardo.flores@urv.cat)

Resumen

Los atascos (pérdida de tiempo) y la contaminación atmosférica (salud pública) asociados al uso del vehículo particular en los accesos a grandes ciudades son extraordinariamente graves. Nuestros datos sugieren que estos dos problemas están fuera de control y tienen visos de agravarse en el futuro próximo. Existen tres medidas principales para combatir estos problemas: las inversiones en infraestructuras, las restricciones vía cantidades y las restricciones vía precios. En el caso de núcleos urbanos con infraestructuras maduras, las inversiones destinadas a mejorar la oferta implican costes muy elevados, tienen una baja rentabilidad social y pueden tener efectos regresivos. Las medidas restrictivas vía cantidades (donde destacan las restricciones basadas en el número de matrícula y las zonas de baja emisión) son generalmente ineficientes, ineficaces a medio plazo y regresivas. Estas medidas son las que se han aplicado parcialmente en Madrid y Barcelona. En cambio, las medidas restrictivas vía precios basadas en peajes de congestión son eficientes, eficaces y no regresivas si están bien diseñadas. Este estudio propone el establecimiento de un peaje de congestión que regule el acceso al centro de Madrid y Barcelona en horas punta. Creemos que este sistema puede resolver definitiva y permanentemente el problema de los atascos, a la vez que ayudaría a mitigar el problema de la contaminación atmosférica. Además es sencillo de diseñar e implementar y produce resultados inmediatos a la vez que genera recursos adicionales.

Índice de contenidos

1. Introducción y principales intuiciones económicas.....	4
1.1. Dimensión del problema.....	4
a) Atascos (problema de tiempo perdido).....	4
b) Contaminación (problema de salud pública).....	8
1.2. Posibles soluciones.....	11
a) Medidas restrictivas vía cantidades y vía precios.....	11
b) Medidas adoptadas en Madrid y Barcelona.....	12
2. Una explicación técnica sencilla.....	14
2.1. El problema de la congestión como externalidad negativa.....	14
2.2. El equilibrio y el óptimo social.....	17
2.3. Las medidas que se pueden adoptar.....	18
a) Medidas vía precios: Los peajes de congestión.....	18
b) Medidas vía cantidades: La contracción de la demanda.....	19
c) Razones por las que los peajes de congestión son preferibles.....	20
3. Prácticas implementadas en grandes ciudades.....	22
3.1. Vía precios.....	22
a) Singapur.....	24
b) Londres.....	25
c) Estocolmo.....	27
d) Milán.....	28
e) Gotemburgo.....	30
3.2. Vía cantidades.....	31
a) Restricciones de entrada en días alternativos.....	32
b) Zonas de baja emisión.....	36
4. Análisis de las principales ciudades europeas.....	37
4.1. Los datos.....	38
4.2. Análisis de congestión.....	38
4.3. Análisis de contaminación.....	43
4.4. Análisis de políticas para mitigar la congestión y la contaminación.....	47
5. Conclusiones generales y propuesta de un peaje de congestión para Madrid y Barcelona.....	50
5.1. Conclusiones generales.....	50
a) Revisión de la literatura.....	50
b) Análisis de ciudades europeas.....	51
5.2. Propuesta de peaje de congestión para Madrid y Barcelona.....	52
6. Referencias.....	55

Índice de Figuras y Tablas

Figura 1: Mapa de ciudades más congestionadas en el mundo.....	5
Figura 2: Mapa de ciudades más congestionadas en Europa.....	7
Figura 3: Representación gráfica de la externalidad negativa generada por la congestión.....	16
Figura 4: El equilibrio y el óptimo social.....	18
Figura 5: Una política contractiva de demanda.....	19
Figura 6: Congestión en grandes ciudades europeas (> 1.000.000 habitantes).....	40
Figura 7: Congestión en ciudades europeas medianas (500.000 - 1.000.000 habitantes).....	41
Figura 8: Evolución de la congestión en ciudades españolas medianas y grandes.....	42
Figura 9: Polución medida en PM2.5 en grandes ciudades europeas (> 1.000.000 habitantes).....	45
Figura 10: Polución medida en PM2.5 en ciudades europeas medianas (500.000 - 1.000.000 habitantes).....	46
Tabla 1: Ranking <i>top ten</i> de ciudades más congestionadas en el mundo.....	5
Tabla 2: Ranking de capitales europeas más congestionadas (más Barcelona y Valencia).....	7
Tabla 3: Polución en las ciudades más congestionadas en el mundo.....	9
Tabla 4: Polución en las capitales europeas más congestionadas (más Barcelona y Valencia).....	10
Tabla 5: Coste empresarial derivado de la congestión en ciudades españolas.....	42
Tabla 6: Políticas aplicadas para mitigar la congestión y la contaminación.....	47
Tabla 7: Correlación entre congestión/contaminación y políticas/características de ciudades.....	48

1. Introducción

El gran peso que tiene el coche como medio de movilidad en grandes ciudades genera importantes externalidades negativas en términos de congestión, contaminación y accidentes.

En particular, el problema de la congestión viaria en núcleos urbanos se explica porque la oferta (infraestructura) es incapaz de absorber la demanda, sobre todo a primera hora de la mañana y a última hora de la tarde, que es cuando existe la mayor necesidad de desplazamientos. La coexistencia de una oferta fija y de una demanda muy variable (caracterizada por horas punta y valle) conlleva un dilema importante: si la oferta es la adecuada para atender la demanda en las horas punta, habrá exceso de capacidad en los períodos valle; en cambio, si la oferta es la adecuada para atender la demanda en horas valle, habrá exceso de demanda en los períodos punta. El segundo escenario es el más habitual en las grandes ciudades.

El resultado es la congestión de las infraestructuras que se traduce en grandes atascos que representan problemas para los ocupantes de los vehículos y, simultáneamente, para los habitantes de las ciudades que encuentran sus calles bloqueadas por un número excesivo de vehículos que producen ruido y contaminación. Las pérdidas son múltiples en términos económicos, de tiempo perdido y de salud pública. En este sentido, la relación entre congestión y contaminación es clara, pues el uso de marchas cortas a velocidades reducidas tiene un efecto notable en la emisión de sustancias contaminantes. De hecho, las emisiones contaminantes son la causa principal de la muerte de 3,3 millones de personas al año en el mundo (más que el SIDA, la malaria y la gripe juntas) y, no hay duda, que el tráfico es una de las principales causas (aunque no la única).¹

Pese a la dimensión del problema, parece que las autoridades competentes (fundamentalmente, los Ayuntamientos) no disponen de análisis rigurosos que les permitan tomar medidas efectivas y eficientes. A menudo, la congestión urbana y la contaminación que genera se consideran como un mal endémico de difícil o imposible solución que es inherente a las grandes ciudades.

1.1. Dimensión del problema

En esta sección, podemos distinguir entre los dos grandes efectos derivados de la congestión: los atascos (problema de tiempo perdido) y la contaminación (problema de salud pública).

a) Atascos (problema de tiempo perdido)

¹ En España, las muertes anuales por contaminación atmosférica son 31.520 según la Agencia Europea del Medio Ambiente. Información aquí: <https://www.elperiodico.com/es/medio-ambiente/20171011/la-contaminacion-atmosferica-provoca-428000-muertes-prematuras-cada-ano-en-europa-6347094>

Utilizando datos de TomTom correspondientes a 2016 para ciudades del mundo con más de 800.000 habitantes (390 ciudades en 48 países de los 6 continentes),² en la Figura 1 y Tabla 1 podemos obtener una perspectiva global de los núcleos urbanos más congestionados en el planeta.

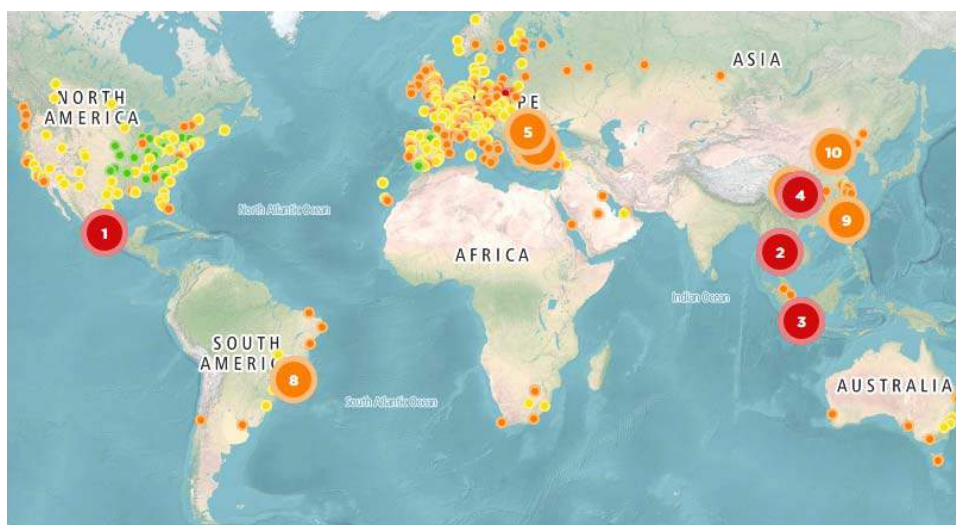


Figura 1: Mapa de ciudades más congestionadas en el mundo.

Ranking mundial	Ciudad	Congestión	Variación interanual	Hora punta mañana	Hora punta tarde
1	Ciudad de México	66%	+7%	96%	101%
2	Bangkok	61%	+4%	91%	118%
3	Yakarta	58%	--	63%	95%
4	Chongqing	52%	+14%	90%	94%
5	Bucarest	50%	+7%	90%	98%
6	Estambul	49%	-1%	63%	91%
7	Chengdu	47%	+6%	74%	79%
8	Río de Janeiro	47%	0%	63%	81%
9	Tainan	46%	+10%	51%	71%
10	Pekín	46%	+8%	72%	84%

Tabla 1: Ranking *top ten* de ciudades más congestionadas en el mundo.

² https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/

La gama de colores en la Figura 1 (rojo, naranja, amarillo y verde) reflejan de forma visual la diferente intensidad del problema en cada una de las ciudades que son objeto de análisis. Cabe señalar que, en la Tabla 1, la congestión se mide como el incremento en el tiempo que necesita un vehículo para circular por una vía en comparación con una situación de tráfico fluido. El valor de congestión que se proporciona en la tabla corresponde a un promedio (aunque también se pueden observar los valores extremos durante las horas punta de la mañana y de la tarde). Además, también se proporciona información sobre la variación interanual respecto a 2015.

Así, por ejemplo, los atascos en Ciudad de México hacen que un vehículo tarde un 66% más de tiempo en promedio en comparación con la situación de tráfico fluido. Las pérdidas económicas relacionadas con esta pérdida de tiempo son enormes: la Confederación Patronal de la República Mexicana estimó que los atascos en Ciudad de México en 2016 representaron la pérdida de 35 millones de horas por día, lo que se cuantificó en un daño económico por valor de 300 millones de dólares americanos diarios.³ Así, un conductor en Ciudad de México pierde en promedio 59 minutos diarios en atascos, lo que representa un total de 227 horas de viaje adicionales por año.⁴

Las consultoras *INRIX* y *Centre for Economics and Business Research* realizaron en 2013 un estudio para estimar el impacto de los retrasos provocados por los atascos en las economías del Reino Unido, Francia, Alemania y Estados Unidos. En este estudio, se identifican tres costes: *i*) la reducción en la productividad del trabajo; *ii*) el efecto sobre el precio de los bienes provocado por el sobrecoste del transporte; *iii*) y el coste relacionado con las emisiones de CO₂. Se concluye que los gastos por congestión representaron 200 mil millones de dólares americanos en los cuatro países (en torno al 0,8% de su PIB conjunto). Además, dada la tendencia observada y esperada, se incluyen unas previsiones que sugieren que esa cifra podría aumentar hasta los 300 mil millones en 2030.⁵

Aunque en la Figura 1 y Tabla 1 podemos observar que los problemas más graves se encuentran en Asia oriental, la congestión también está presente de forma masiva en las ciudades europeas. La Figura 2 y Tabla 2 centran el análisis en Europa.

³ <https://es.panampost.com/elena-toledo/2017/02/24/trafico-perdidas-ciudad-de-mexico/>
<http://wipy.tv/60-mil-mdp-perdidas-genera-trafico-la-cdmx/>

⁴ <http://www.animalpolitico.com/2017/02/cdmx-trafico-tomtomo/>

⁵ <https://www.economist.com/blogs/economist-explains/2014/11/economist-explains-1>

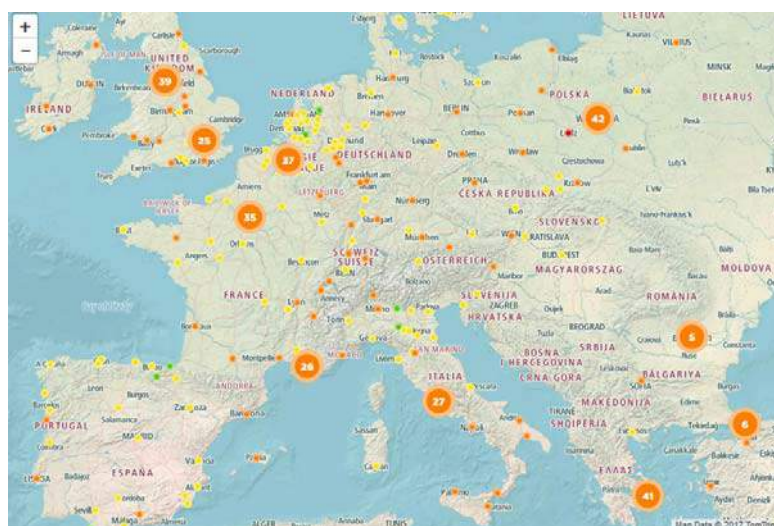


Figura 2: Mapa de ciudades más congestionadas en Europa.

Ranking en Europa	Ranking mundial	Ciudad	Congestión	Variación interanual	Hora punta mañana	Hora punta tarde
1	5	Bucarest	50%	+7%	90%	98%
2	13	Moscú	44%	0%	71%	94%
4	25	Londres	40%	+2%	64%	68%
6	27	Roma	40%	+2%	74%	68%
7	35	París	38%	+2%	68%	66%
8	37	Bruselas	38%	+3%	71%	77%
10	41	Atenas	37%	+1%	58%	56%
11	42	Varsovia	37%	-1%	65%	72%
17	67	Viena	31%	+3%	46%	54%
18	68	Barcelona	31%	+3%	51%	52%
23	81	Oslo	30%	+5%	57%	69%
24	83	Sofía	29%	--	58%	66%
25	84	Berlín	29%	+1%	43%	50%
28	92	Estocolmo	28%	-1%	48%	61%
30	94	Praga	28%	+1%	54%	46%

34	112	Madrid	25%	+2%	48%	43%
37	126	Valencia	23%	+2%	31%	32%
40	129	Ámsterdam	22%	+2%	35%	52%

Tabla 2: Ranking de capitales europeas más congestionadas (más Barcelona y Valencia).

Podemos observar cómo el problema de la congestión se encuentra de forma generalizada en la práctica totalidad de las principales ciudades europeas. Además, la tendencia parece claramente al alza. Si nos centramos en las ciudades españolas, llama la atención el caso de Barcelona que ocupa el lugar 18 con un indicador de congestión del 31% y una tendencia negativa con un incremento interanual del 3%.

b) Contaminación (problema de salud pública)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) dispone de una base de datos que mide la calidad del aire de las 3.000 ciudades más importantes del mundo (con más de 100.000 habitantes) en términos de la cantidad de partículas en suspensión de tipo PM10 y PM2.5, es decir, partículas con un diámetro aerodinámico inferior o igual a 10 y 2,5 micrómetros (μm), respectivamente.⁶

Desde hace unos años, la OMS recomienda la utilización de indicadores de PM2.5 (frente a los basados en PM10).⁷ El motivo es que las PM2.5 *i)* se consideran un mejor indicador de la contaminación urbana debido a su origen fundamentalmente antropogénico (puesto que provienen en buena medida de las emisiones de los vehículos diésel),⁸ y *ii)* sus efectos sobre nuestra salud son muy graves por su composición rica en elementos muy tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos) y por su gran capacidad de penetración en las vías respiratorias (son 100% respirables y viajan profundamente en los pulmones, depositándose en los alvéolos pulmonares e incluso pudiendo llegar al torrente sanguíneo). De hecho, las PM2.5 se asocian a la exacerbación de enfermedades de tipo respiratorio, tales como la bronquitis y dolencias de tipo cardiovascular. Este tipo de contaminación procedente del tráfico urbano está asociado con incrementos en la morbi-mortalidad de la población expuesta y con el creciente desarrollo del asma y alergias entre la población infantil. Además, su tamaño hace que sean muy ligeras por lo que, generalmente, permanecen mucho tiempo en el aire. Ello prolonga sus efectos y facilita su transporte por el viento a grandes distancias.⁹

⁶ A los micrómetros también se les denomina micras (μ).

⁷ Las partículas PM2.5 son 100 veces más delgadas que un cabello humano.

⁸ Las partículas de mayor tamaño pueden tener en su composición un importante componente de tipo natural, como partículas de polvo.

⁹ <https://www.ecologistasenaccion.org/article17842.html>

Según los Valores Guía de protección para la salud de la OMS, una concentración anual media de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sería el nivel más bajo a partir del cual se ha detectado asociación entre efectos cardiopulmonares y mortalidad debido a la exposición prolongada a PM2.5 (este valor es de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el caso de partículas PM10). Lógicamente, el riesgo aumenta con la concentración de partículas. Más concretamente, para niveles de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5 (o de 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10), la OMS cuantifica este aumento en el riesgo en un 15% (OMS, 2005).¹⁰ La OMS advierte que el 92% de la población vive en lugares con una calidad del aire nociva (datos de 2014); que la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3 millones de defunciones prematuras (estimación de 2012); y que un 88% de esas defunciones prematuras se producen en países de ingresos bajos y medianos (sobre todo en las regiones del Pacífico Occidental y Asia Sudoriental).¹¹

Puesto que nuestro objeto de estudio tiene que ver con la congestión urbana, en las Tablas 3 y 4 que se proporciona abajo, centramos el análisis de la contaminación atmosférica en las ciudades con serios problemas de congestión seleccionadas en las Tablas 1 y 2.

Ciudad	PM10 (media anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 (media anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ciudad de México	42	20
Bangkok	42	24
Chongqing	106	61
Bucarest	31	23
Estambul	53	33
Chengdu	150	71
Río de Janeiro	49	16
Tainan	44	29
Pekín	108	85

Tabla 3: Polución en las ciudades más congestionadas en el mundo.

¹⁰ La OMS también estudia los efectos a corto plazo, es decir, valores medios de PM2.5 durante 24 horas. En este caso, una concentración de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ incrementa la mortalidad a corto plazo en un 5% (OMS, 2005).

¹¹ <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

En esta tabla encontramos el nivel de polución registrado en las ciudades más congestionadas del mundo.¹² Podemos observar que, aunque no existe una correlación sistemática entre congestión viaria y polución (por ejemplo, Ciudad de México presenta mayor problemas de congestión viaria que Pekín y, en cambio, sufre de una menor polución), todas las ciudades severamente congestionadas registran valores de polución (tanto PM10 como PM2.5) muy superiores a los Valores Guía de la OMS a partir de los cuales existen efectos negativos contrastados en la salud humana (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el caso de PM10 y 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el caso de PM2.5).

Los valores más altos los encontramos en las ciudades chinas (Chongqing, Chengdu y Pekín), que registran unos índices extremos como consecuencia de la polución producida por automóviles, pero también por la combustión de carbón en viviendas, en fábricas de todo tipo y en centrales térmicas situadas en las proximidades de las ciudades.

Ciudad	PM10 (media anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 (media anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bucarest	31	23
Moscú	33	20
Londres	22	15
Roma	28	17
París	28	18
Bruselas	26	18
Atenas	40	15
Varsovia	33	26
Viena	26	18
Barcelona	24	15
Oslo	22	11
Sofía	43	22
Berlín	24	16
Estocolmo	26	6

¹² La base de datos de polución de la OMS no tiene registrado el dato para la ciudad indonesia de Yakarta.

Praga	27	19
Madrid	19	10
Valencia	17	11
Ámsterdam	23	16

Tabla 4: Polución en las capitales europeas más congestionadas (más Barcelona y Valencia).

A nivel europeo, la Tabla 4 también nos muestra cómo las ciudades más congestionadas también presentan unos índices de polución elevados que, en la mayoría de los casos, superan los Valores Guía de la OMS a partir de los cuales existen efectos negativos contrastados en la salud humana.

Mirando la columna de PM2.5 (que es el indicador recomendado por la OMS), encontramos los valores más altos en Europa del Este (Varsovia, Bucarest, Sofía, Moscú y Praga), seguidos de Europa Central (Praga, Viena, París, Bruselas), aunque otras ciudades (Roma, Berlín, Ámsterdam, Londres, Barcelona o Atenas) también presentan valores altos. Por lo tanto, aunque podría haber una correlación negativa entre renta per cápita y polución, parece claro que las causas son multifactoriales.

1.2. Posibles soluciones

Ante un problema de este tipo en el que la demanda supera con creces a la oferta en determinados períodos, evidentemente la solución pasa por *i*) mejorar la oferta de accesos a las ciudades, lo cual suele ser muy caro y complicado en las grandes urbes que ya disponen de infraestructuras maduras (y que, además, puede tener el efecto opuesto al deseado en términos de congestión si la mejora de la oferta se ve correspondida con un aumento de la demanda como respuesta a la reducción del coste generalizado del viaje),¹³ *ii*) promover el transporte público, que en el caso de metros, trenes ligeros o de cercanías no suele estar en manos de los Ayuntamientos, o *iii*) limitar la demanda, que suele ser lo más sencillo y efectivo.

a) Medidas restrictivas vía cantidades y vía precios

En lo que se refiere a las medidas restrictivas de demanda, se pueden agrupar en dos grandes bloques: *i*) mecanismos vía cantidades, o *ii*) mecanismos vía precios. El ejemplo más claro del primer bloque es la prohibición de circular a coches con matrícula par/impar en días alternos, como ha ocurrido recientemente en Madrid o Lyon (medidas similares se han adoptado en Ciudad

¹³ Duranton y Turner (2011) muestran que aumentar el número de carreteras conlleva aproximadamente un aumento parecido en el número de usuarios.

de México, Pekín, Bogotá, Caracas o Santiago de Chile).¹⁴ En cuanto al segundo bloque, encontramos los “peajes de congestión” que se aplican actualmente en ciudades como Singapur, Londres, Estocolmo, Milán o Gotemburgo (donde los vehículos que acceden al centro de las ciudades en las horas punta deben pagar).

El mecanismo vía cantidades presenta los problemas de *i*) ser indiscriminado e ineficiente, ya que no distingue entre diferentes tipos de usuarios ni tiene en cuenta su valoración del uso de la infraestructura, *ii*) tener efectos perversos que lo pueden hacer ineficaz a medio plazo, ya que genera incentivos en los usuarios a comprar un segundo coche para disponer de uno con matrícula par y otro con matrícula impar, lo que agrava la congestión y más aún si se trata de coches baratos y antiguos que son especialmente contaminantes (como ha pasado en Pekín, Bogotá o Caracas), *iii*) ser potencialmente regresivo dado que las familias con más de un vehículo tendrán más probabilidades de poder sortear la medida y *iv*) ser difícil de implementar (puesto que se crean mercados de matrículas falsas, como ha ocurrido en Bogotá)

En este trabajo, explicamos las ventajas asociadas a los mecanismos vía precios como una forma de resolver de forma rápida y eficiente los problemas de congestión y contaminación en núcleos urbanos. La puesta en marcha de un sistema de peajes viable debe abordar no sólo consideraciones de eficiencia sino también de equidad en la medida que parte de las dificultades relativas a su implementación está asociada a la idea errónea de que son inevitablemente regresivos. Un mecanismo de precios óptimo debe afrontar de forma global todos los efectos negativos que se derivan del uso del coche.

b) Medidas adoptadas en Madrid y Barcelona

Los planes de acción contra la contaminación en Madrid y Barcelona se basan en aplicar restricciones vía cantidades en episodios puntuales de elevada contaminación.

Madrid

En el caso de Madrid, existe desde enero de 2016 un protocolo para imponer restricciones de tráfico en caso de elevadas concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂). Es importante señalar que el NO₂ se encuentra estrechamente relacionado con la emisión de partículas PM_{2.5} y que los Valores Guía de la OMS a partir de los cuales existen efectos negativos contrastados en la salud

¹⁴ Existen otras medidas de restricción de la demanda como poner límites de velocidad en las vías rápidas de entrada a la ciudad o poner restricciones al estacionamiento de vehículos que pueden considerarse como medidas más suaves de restricción de la demanda. Sin poner en cuestión la posible utilidad de estas medidas, aquí centramos la atención en medidas de restricción de la demanda que pueden considerarse más severas.

humana son $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual o $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en una hora.¹⁵ Se establecen tres niveles de actuación en función del nivel alcanzado por dichas concentraciones:

- El *nivel de preaviso* se alcanza cuando dos estaciones cualesquiera de una misma zona superan los $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante dos horas consecutivas.

- El *nivel de aviso* se alcanza cuando en dos estaciones cualesquiera de una misma zona se superan los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante dos horas consecutivas.

- Al *nivel de alerta* se llega cuando tres estaciones cualesquiera de una misma zona superan los $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante tres horas consecutivas.

Teniendo en cuenta estos niveles de contaminación, se establecen diferentes escenarios que van asociados a la implementación de diferentes actuaciones (además del establecimiento de medidas informativas y refuerzo del transporte público que se aplican en todos los escenarios):

- En el *escenario 1* (un día con superación del nivel de preaviso) se establece la reducción de la velocidad a 70 km/h en la M-30 y accesos.

- En el *escenario 2* (dos días consecutivos con superación del nivel de preaviso o un día con superación del nivel de aviso) se establece, adicionalmente a los límites de velocidad, la prohibición del estacionamiento de vehículos en las plazas y el horario del Servicio de Estacionamiento Regulado (SER) en el interior de la almendra central de la ciudad.

- En el *escenario 3* (dos días consecutivos con superación del nivel de aviso), se añade a las actuaciones anteriores la restricción de la circulación en el interior de la almendra central del 50% de todos los vehículos según el número de matrícula y se recomienda la no circulación de taxis libres en el interior de dicha almendra central.

- En el *escenario 4* (tres días consecutivos de nivel de aviso o un día de nivel de alerta), se mantienen las actuaciones del escenario 3 pero además la restricción a la circulación según el número de matrícula afecta también a la M30 y se impone la restricción a la circulación de taxis libres en el interior de la almendra central.¹⁶

En la práctica, cabe señalar que las autoridades municipales han activado sólo nueve veces el protocolo por alta contaminación y sólo en una ocasión (a finales de 2016) se llegó al escenario 3 que impide circular por la almendra central a los coches según el número de la matrícula. Por otro lado, está actualmente en marcha una revisión del protocolo anterior. La principal novedad consistirá en no permitir circular por la almendra central a los vehículos sin etiqueta ambiental de la Dirección General de Tráfico a partir del escenario 2.

¹⁵ <http://www.lavanguardia.com/natural/20170226/42280025427/no2-dioxido-de-nitrogeno-peligroso.html> y <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

¹⁶ <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calaire/>

Barcelona

En Barcelona se ha implementado una zona de baja emisión desde el 1 de diciembre de 2017 que afecta a gran parte de la ciudad y municipios colindantes.¹⁷ En particular, se impide la circulación de turismos sin etiqueta ambiental de la Dirección General de Tráfico y furgonetas anteriores a Euro 1 cuando la Generalitat de Cataluña declare un episodio de contaminación por excesiva concentración de NO₂, lo que ocurre cuando los niveles registrados en más de una estación de la Red de Vigilancia y Previsión de la Contaminación Atmosférica de Cataluña de la zona superen los Valores Guía establecidos y las previsiones no indiquen mejoría.

Además, se establece el reforzamiento del transporte público en tales episodios incluyendo el aumento de la oferta de hasta el 10% y la reducción del precio a través de tarjetas verdes (T-aire y T-verde).

Cabe señalar que, en años anteriores a la implementación de la medida, los episodios de alta contaminación se han declarado entre 0 y 3 veces, mientras que no se ha declarado ninguno desde que la medida está en vigor. En cualquier caso, las restricciones pasarán a ser permanentes (con independencia de los niveles de contaminación) a partir de 2020.

Conclusión de las experiencias de Madrid y Barcelona

En definitiva, tanto Madrid como Barcelona han puesto en marcha actuaciones para restringir el tráfico en días de alta contaminación atmosférica pero, en la práctica, dichas actuaciones se han hecho efectivas muy pocos días al año. Sin embargo, se espera que en los próximos años se vaya endureciendo la aplicación de estas medidas con el propósito de que sus efectos no sean tan limitados.

Por otro lado, es importante destacar que no hay en marcha acciones específicas para abordar el problema de la congestión viaria (es decir, los atascos) en ninguna de las dos ciudades.

2. Una explicación técnica sencilla

En esta sección, presentamos de forma gráfica y sencilla el problema de la congestión como externalidad negativa, la ineficiencia que genera (que se traduce en un exceso de tráfico y en un coste social neto) y las posibles soluciones vía precios y vía cantidades.

2.1. El problema de la congestión como externalidad negativa

Tal y como se expone en Thomson y Bull (2002), “la congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los

¹⁷ <http://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/es>

demás”. En esta definición de congestión, encontramos la identificación de la congestión como externalidad negativa. No obstante, se trata de una externalidad que no aparece siempre que se incorpora un vehículo a un determinado flujo de tránsito. Sólo ocurre cuando dicho volumen de tránsito es suficientemente grande, de forma que se supera un determinado umbral. Siguiendo Thomson y Bull (2002), podemos establecer un poco de formalidad en el análisis, para identificar claramente los elementos que condicionan la aparición y la evolución de la congestión viaria.

Supongamos que el tiempo que necesita un vehículo para circular por una vía (t) es una función del volumen de tráfico existente en dicha vía (q), es decir $t=f(q)$. A partir de esta función, podemos construir otra que represente el tiempo total que necesitan todos los vehículos para circular por una vía para cada volumen de tráfico $qt=qf(q)$. Finalmente, podemos analizar el incremento en tiempo total que representa la introducción de un nuevo vehículo a la vía realizando la derivada de qt respecto de q , es decir, $\frac{\partial qt}{\partial q} = t + q \frac{\partial t}{\partial q}$. Lo interesante de esta expresión se encuentra en su segundo término, que nos permite identificar el incremento de tiempo que un nuevo vehículo puede representar para el resto de conductores, es decir la externalidad negativa que impone sobre el resto de usuarios de la vía. En este punto, podemos definir el umbral de congestión \tilde{q} de forma que, para valores relativamente bajos de tráfico tales que $q < \tilde{q}$, la introducción de un nuevo vehículo en la vía no genera ninguna externalidad y, por tanto, $\frac{\partial t}{\partial q} = 0$. En cambio, a partir del momento en que el tráfico es suficientemente denso y supera este umbral de forma que $q > \tilde{q}$, la introducción de un nuevo vehículo contribuye a la congestión de la vía, lo que se traduce en un mayor tiempo de viaje para todos los usuarios que se encuentran circulando y, por tanto, $\frac{\partial t}{\partial q} > 0$. La Figura 3 resume esta situación de forma visual y sintética.

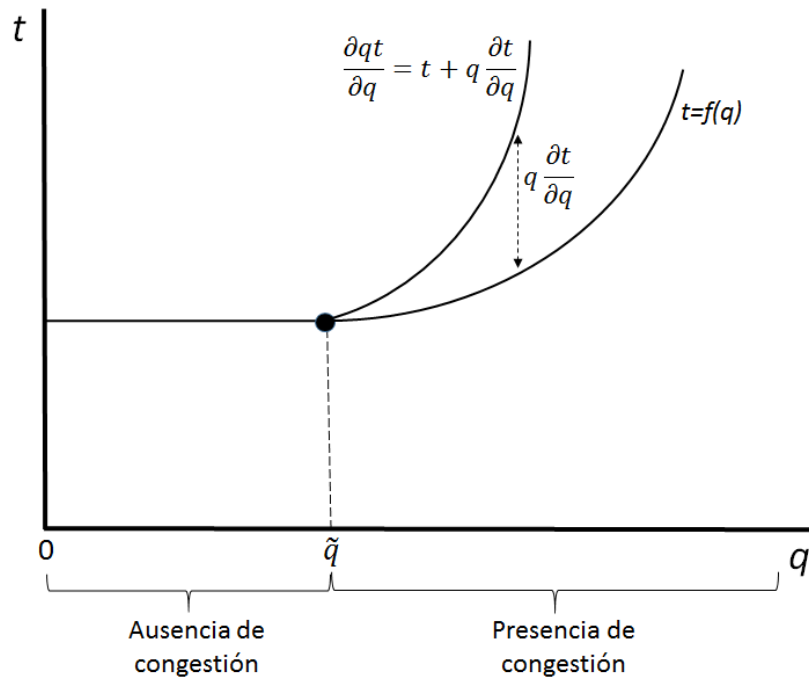


Figura 3: Representación gráfica de la externalidad negativa generada por la congestión.

Podemos observar cómo, en ausencia de congestión ($q < \tilde{q}$), el tiempo que necesita un vehículo para circular por una vía (t) es constante e independiente del volumen de tráfico existente (q). En este caso, el incremento en tiempo total que representa la introducción de un nuevo vehículo en la vía es simplemente el tiempo que necesita dicho vehículo, por lo que $\frac{\partial qt}{\partial q} = t$. En cambio, cuando aparece la congestión ($q > \tilde{q}$), el tiempo que necesita un vehículo para circular por una vía crece con el volumen de tráfico existente, por lo que la función t adquiere una pendiente positiva $\frac{\partial t}{\partial q} > 0$. En este caso, un vehículo adicional en la vía genera una externalidad negativa sobre los demás, por lo que las funciones t y $\frac{\partial qt}{\partial q}$ divergen, dado que la segunda crece con q más rápido que la primera por el efecto de la externalidad. Gráficamente, la externalidad negativa $q \frac{\partial t}{\partial q}$ es la distancia vertical existente entre las funciones t y $\frac{\partial qt}{\partial q}$.

Sobre la forma de la función t

Los estudios empíricos que estudian la congestión en vías urbanas, concluyen que el tiempo que necesita un vehículo para circular por una vía congestionada aumenta de forma exponencial con respecto al volumen de tráfico existente en dicha vía (OECD, 2007). Este es el motivo por el que la función t es creciente y convexa con respecto a q , es decir, $\frac{\partial t}{\partial q} > 0$ y $\frac{\partial^2 t}{\partial q^2} > 0$, tal y como se representa en la Figura 3.

Este comportamiento de la congestión lo convierte en un fenómeno que puede aparecer de forma bastante repentina y que, en consecuencia, deja con poco margen de reacción a los usuarios que ya se encuentran en la vía y se ven atrapados de forma imprevista en un atasco. Por otro lado, también es cierto que las medidas que se pueden adoptar para corregir los efectos de la congestión tienen la capacidad de ser especialmente efectivas, ya que reducciones relativamente modestas del volumen de tráfico en una vía pueden resolver de forma palmaria el problema de congestión. Así, por ejemplo, el peaje de congestión que se impuso en Estocolmo en 2007 redujo el tráfico de forma prácticamente inmediata en un 20% (Eliasson, 2008), lo que fue suficiente para mitigar de forma evidente y permanente los atascos en las vías de acceso al centro urbano.

2.2. El equilibrio y el óptimo social

Desde un punto de vista un poco más general, podemos reinterpretar el tiempo que necesita un vehículo para circular por una vía (t) como el coste generalizado de viajar. En ese caso, las expresiones $t=f(q)$ y $\frac{\partial qt}{\partial q} = t + q \frac{\partial t}{\partial q}$ pueden ser interpretadas como el coste privado medio y el coste social marginal asociados al viaje y se pueden representar gráficamente como la oferta privada (O_p) y la oferta social (O_s), respectivamente. Finalmente, si incorporamos en el análisis la demanda de viajar (D) como una curva con pendiente negativa (que refleja la mayor propensión a viajar a menores costes), obtenemos el equilibrio representado en la Figura 4.

El equilibrio viene dado por la intersección entre la demanda y la oferta, lo que resulta en un volumen de tráfico q^* y un coste individual de t_p^* . En cambio, la presencia de congestión, eleva el coste social a t_s^* . Por otro lado, también podemos representar la situación óptima (o eficiente) desde un punto de vista social que emergería de igualar la demanda a la oferta social que daría lugar a la situación q^{os} y t^{os} . Este óptimo social representa el caso en el que los conductores tienen en cuenta la congestión que imponen sobre el resto de usuarios de la vía, de forma que la externalidad es *internalizada* por los propios agentes que la generan. Por tanto, la diferencia $q^* - q^{os}$ capta el *exceso de tráfico* que se observa en equilibrio en comparación a lo que sería socialmente deseable (más detalles, en Lindsey y Verhoef, 2001; y en Cantillo y Ortúzar, 2014).

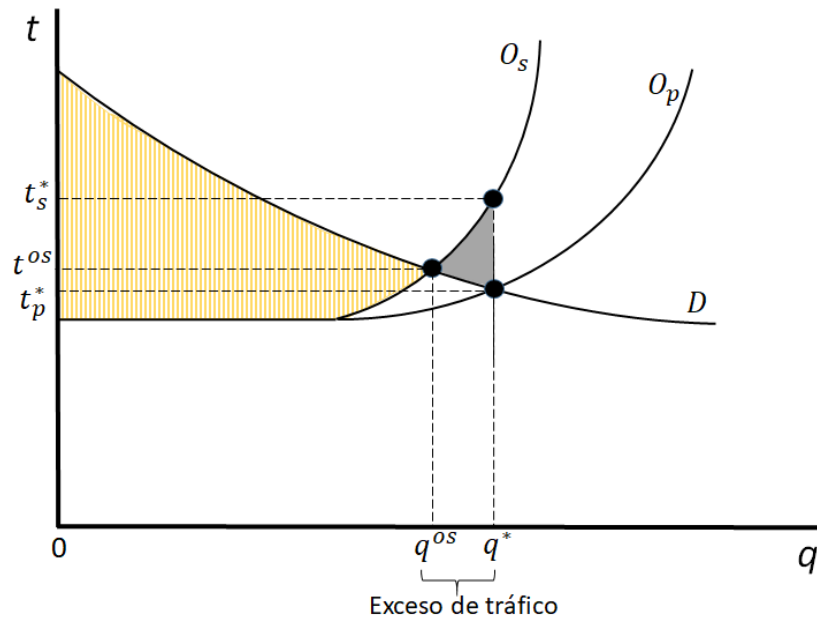


Figura 4: El equilibrio y el óptimo social.

En la figura también podemos observar el bienestar social asociado a los desplazamientos en vehículo privado, que se define como la diferencia entre la valoración que realizan los conductores (dada por su demanda D) y su coste social (dado por O_s). Esta diferencia es positiva y constituye una ganancia de bienestar social (representado por el área rallada en la figura) hasta que se alcanza el volumen de tráfico q^{os} . A partir de este nivel y hasta el equilibrio q^* , el tráfico es superior al socialmente deseable y, por tanto, implica una pérdida de bienestar social (representado por el área sombreada en la figura).

2.3. Las medidas que se pueden adoptar

Hay dos grandes tipos de medidas que se pueden adoptar para combatir la ineficiencia ocasionada por la congestión (que se traduce en un exceso de tráfico y en un coste social neto): las políticas vía precios y vía cantidades. A continuación, se analizan sus efectos y su conveniencia.

a) Medidas vía precios: Los peajes de congestión

Teniendo en cuenta el análisis gráfico anterior, un *peaje de congestión* consistiría en elevar el coste privado medio (t) hasta alcanzar el coste marginal social ($\frac{\partial qt}{\partial q}$). Es decir, que el importe del impuesto sería exactamente el valor de la externalidad ($q \frac{\partial t}{\partial q}$). Así se conseguiría que los conductores tuvieran en cuenta la congestión que imponen sobre el resto de usuarios de la vía, de forma que la externalidad quedaría *internalizada* por los propios agentes que la generan. En consecuencia, el equilibrio post-peaje conseguiría replicar el óptimo social (representado por q^{os}

y t^{os}) acabando con el *exceso de tráfico* y la pérdida de bienestar social asociada que provocaba (por lo que desaparecería el área sombreada en la Figura 4). Además, se generarían recursos adicionales que podrían ser destinados, por ejemplo, a financiar políticas de mejora de la movilidad urbana.

b) Medidas vía cantidades: La contracción de la demanda

Una política restrictiva en cuanto a cantidades se traduciría en una reducción de la demanda que daría lugar a la situación reflejada en la Figura 5 abajo.

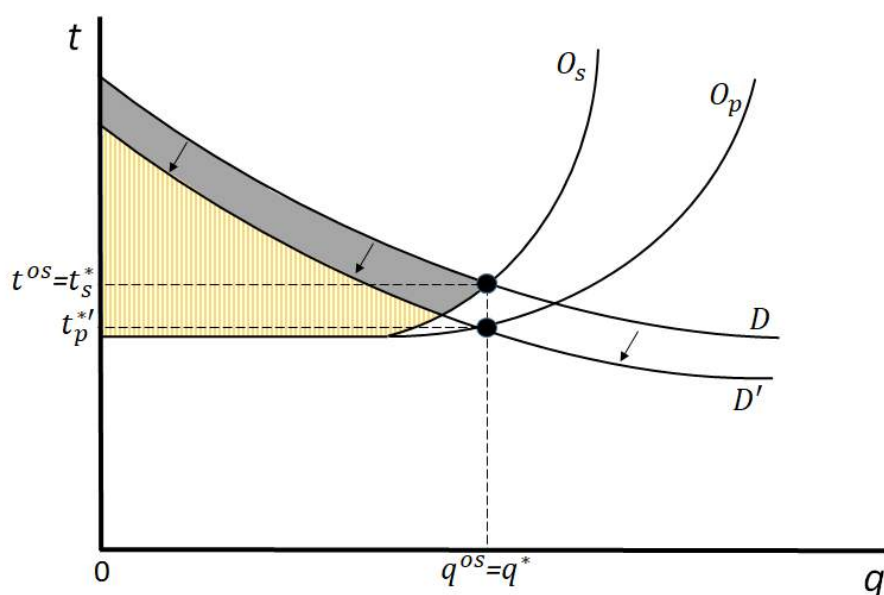


Figura 5: Una política contractiva de demanda.

Suponiendo que la contracción de la demanda fuera justo de la intensidad deseada (con un desplazamiento hacia la izquierda desde D hasta D'), la medida permitiría eliminar el *exceso de tráfico* de la Figura 4 y conseguir la cantidad óptima desde un punto de vista social (es decir, $q^{os} = q^*$). Por lo tanto, la efectividad de esta política restrictiva sería equiparable a de los peajes de congestión estudiados anteriormente.

En cambio, la gran diferencia con respecto a los mencionados peajes de congestión tiene que ver con el efecto de la medida en cuanto a bienestar social. Si bien es cierto que la contracción de demanda reflejada en la Figura 5 corrige la pérdida de bienestar social relacionada con la congestión (por lo que desaparecería el área sombreada en la Figura 4), también podemos observar la aparición de una nueva pérdida de bienestar (nueva área sombreada en la Figura 5). La causa de esta nueva ineficiencia tiene que ver con la menor valoración de los consumidores en cuanto al uso de la infraestructura al poder ser excluidos en ciertos momentos de forma indiscriminada.

c) Razones por las que los peajes de congestión son preferibles

◆ Eficiencia. La explicación de por qué los peajes de congestión son eficientes y no lo es la contracción de la demanda, tiene que ver con la virtud de los peajes en conseguir que aquellos usuarios que valoran más la infraestructura sean precisamente los que la acaban utilizando. En cambio, la restricción vía demanda no tiene en cuenta las valoraciones de los conductores. En el caso de los peajes, los conductores que tienen *verdadera necesidad* de utilizar la infraestructura son los que la utilizan y además lo hacen en unas condiciones óptimas, es decir, sin congestión. De la misma forma, aquellos usuarios que valoran menos el uso de la infraestructura, adaptan sus decisiones de viaje y descongestionan la vía. Estos mismos usuarios también evitan la congestión al adaptarse.

◆ Eficacia. Como hemos comentando, tanto los peajes como las políticas contractivas de demanda pueden ser eficaces en la eliminación del *exceso de tráfico* asociado a la congestión. No obstante, en el caso de las políticas de demanda, esta aseveración sólo es cierta a corto plazo. De hecho, las medidas contractivas de demanda han demostrado ser ineficaces a medio plazo. Por un lado, las restricciones basadas en el número de matrícula, generan incentivos en los usuarios a la compra de nuevos vehículos para sortear dicha regulación. El resultado es una mayor demanda al cabo de un tiempo que restaura el exceso de tráfico con la consiguiente pérdida de bienestar social. Por otro lado, las zonas de baja emisión (que restringen el acceso a los núcleos urbanos de los vehículos más contaminantes) pierden su eficacia progresivamente a medida que se renueva la flota de coches por otros menos contaminantes.

En resumen, las medidas restrictivas de demanda pueden ser eficaces a corto plazo aunque claramente ineficientes por su carácter indiscriminado; y son típicamente ineficaces a medio plazo. En cambio, los peajes de congestión son eficaces y eficientes tanto a corto como a medio plazo.

◆ Posible carácter regresivo de los peajes de congestión y aceptación social. Los peajes de congestión podrían ser considerados como regresivos al no tener en cuenta la renta de los conductores que los terminan pagando. Ante esta crítica razonable, cabe considerar los siguientes argumentos:

- En el caso de núcleos urbanos con infraestructuras maduras, las inversiones en carreteras destinadas a la mejora de la oferta implican costes muy elevados y una baja rentabilidad social. Además, pueden tener efectos regresivos por dos motivos. El primero es que dichas inversiones se financian en parte con impuestos de base amplia (IVA e IRPF), que no son típicamente

progresivos.¹⁸ El segundo, es el coste de oportunidad asociado a estas inversiones, ya que se retraen recursos de otras posibles partidas de gasto claramente progresivas y redistributivas como son las destinadas a Educación, Sanidad o políticas sociales (cabe recordar que la redistribución de la renta en España tiene lugar fundamentalmente a través del gasto público).¹⁹

- Las medidas contractivas de demanda también tienen efectos regresivos. Por un lado, en cuanto a las restricciones basadas en el número de matrícula, parece claro que la posibilidad de sortear la medida a través de la adquisición de un nuevo vehículo estará al alcance de las familias con mayor nivel de renta. Por otro lado, las zonas de baja emisión restringen el acceso a los núcleos urbanos de los vehículos más contaminantes, que son los más antiguos. Obviamente, los coches más antiguos pertenecen a las familias con menor poder adquisitivo que difícilmente podrán afrontar la sustitución del vehículo actual por otro más “limpio”.

- El importe de los peajes suele ser *bajo*, con lo que el potencial efecto regresivo también lo es. Por ejemplo, en Estocolmo, el importe de los peajes oscila entre 1€ y 2€. Este coste es prácticamente irrelevante si lo comparamos, por ejemplo, con el impuesto sobre hidrocarburos que pagan irremediabilmente todos los conductores al repostar en las estaciones de servicio (que representan más del 50% del precio final del carburante) y que tienen un relevante efecto regresivo. Las experiencias existentes demuestran que, pese a representar un sobrecoste *bajo*, los peajes de congestión pueden ser muy eficaces. Además, si tenemos en cuenta el ahorro de carburante resultante de la eliminación de los atascos, el peaje podría incluso tener un efecto neto positivo sobre el gasto de los conductores (incluso sin tener en cuenta el importante ahorro de tiempo).

- Además, tal y como hemos comentado anteriormente, los peajes de congestión generan ingresos adicionales que pueden ser destinados a la mejora del transporte público o a otras políticas sociales progresivas. Incluso se podría destinar la recaudación a reducir el impuesto sobre hidrocarburos de forma que los conductores resultaran perfectamente compensados. En cambio, la aplicabilidad de la medida es complicada por el hecho de que las entidades fiscales que recaudan y gestionan estos impuestos son diferentes al afectar a diferentes ámbitos territoriales (*local* en el caso de los peajes de congestión y *estatal* en el caso de los impuestos sobre hidrocarburos). Además, en caso de aplicarse esta reducción sobre el impuesto sobre hidrocarburos, lo que se

¹⁸ El IVA grava el consumo y, por tanto, no es progresivo. En cuanto al IRPF, aunque su estructura es teóricamente progresiva, dicha progresividad se aplica únicamente a los asalariados que declaran sus rentas. Por eso, en la práctica el IRPF puede no ser progresivo dado que las rentas del capital soportan un gravamen menor que las rentas del trabajo. A ello hay que añadirle *i*) la gran magnitud del fraude fiscal que se relaciona fundamentalmente con las rentas de no asalariados y *ii*) la existencia de diferentes tipos de deducciones que benefician a las rentas más elevadas.

¹⁹ Asimismo, como hemos apuntado antes, esta nueva oferta puede generar demanda adicional como respuesta a la reducción del coste generalizado del viaje, lo que las hace poco (o nada) eficaces y contribuyen a perpetuar el problema de la congestión.

conseguiría es perpetuar un sistema que es claramente regresivo. En cambio, se puede aprovechar la *oportunidad* y destinar estos ingresos adicionales a medidas netamente progresivas.

- Las experiencias internacionales demuestran que, aunque la implantación de un sistema de pajes puede resultar impopular a corto plazo (hacer pagar a los consumidores por algo que antes era gratis es típicamente impopular y puede ser considerado como una medida de *afán recaudatorio*), puede acabar gozando de una gran aceptación a medio plazo una vez que la población experimenta los efectos positivos de la medida. Por lo tanto, este tipo de medidas requiere de una cierta *valentía política*, que tiene una mayor probabilidad de tener lugar si se comprende la naturaleza económica del problema y se estudian las experiencias internacionales exitosas. No es necesario inventar nada nuevo, basta con copiar las medidas que ya funcionan en otros lugares. La inacción que consiste en perpetuar un statu-quo ineficiente puede acabar implicando grandes pérdidas sociales.

3. Prácticas implementadas en grandes ciudades

En esta sección repasamos las principales medidas, tanto vía precios como vía cantidades, que se han puesto en práctica en algunas ciudades con el objetivo de mitigar los problemas de congestión viaria y de contaminación atmosférica.

3.1. Vía precios

Desde un punto de vista teórico, hay consenso entre los economistas sobre las ventajas de cobrar un precio para poder acceder a las zonas con mayor congestión y/o contaminación como medio para resolver la problemática de las externalidades negativas asociadas a los coches. Como hemos visto con el análisis realizado a partir de la Figura 4, el argumento es que la fijación de precios induce un uso más eficiente de las infraestructuras existentes, al tiempo que genera ingresos adicionales.

En cambio, en la práctica es difícil la implementación de un sistema de peajes óptimo dado que algunas decisiones determinantes como la delimitación de la zona restringida, la cuantía de la tasa o los vehículos que quedan exentos suelen basarse en criterios políticos más que en criterios de eficiencia. Además, la evaluación empírica de los efectos de las políticas de precios es una tarea compleja. En primer lugar, es difícil contar con una zona no afectada comparable a la que está afectada por el sistema de peajes en la medida que los peajes suelen aplicarse a las áreas más céntricas y congestionadas de la ciudad. En segundo lugar, y más importante, es habitual que la imposición de un sistema de peajes venga acompañado de una mejora importante en el sistema de transporte público. Por tanto, aislar el efecto de dos políticas que se aplican de manera simultánea

y con el mismo efecto esperado no es sencillo. Finalmente, los conductores pueden anticiparse a la implementación efectiva de los peajes y cambiar antes sus hábitos.

Dicho esto, con sus limitaciones, la evidencia empírica sugiere en general que la fijación de precios es una política eficaz en la medida que suele venir asociada a una fuerte reducción del tráfico viario en las zonas restringidas y, en consecuencia, a una disminución de la congestión y de la emisión de contaminantes.²⁰ Por otro lado, el efecto parece ser especialmente significativo justo después de implementarse el sistema de peajes. Además, el apoyo público y político a los peajes urbanos aumenta después de su implementación. Finalmente, no parece que los peajes urbanos sean una política necesariamente regresiva, contrariamente a lo que podría parecer puesto que el precio que se paga no depende del nivel de renta del conductor. De hecho, los efectos de los peajes en términos de equidad dependen de las pautas específicas de viaje en cada ciudad y del uso que se haga de los ingresos del peaje. Por ejemplo, Eliasson y Mattsson (2006) encuentran que el sistema de peajes en Estocolmo es progresivo en la medida que los conductores de mayor nivel de renta viajan con mayor frecuencia a la zona restringida mientras que los ingresos del peaje se destinan en gran parte a mejorar el transporte público del que se benefician individuos de menor nivel de renta. Cabe señalar, además, que los usuarios de vehículos privados tienen en general un mayor nivel de renta que aquellos individuos que no disponen de coche.

En la práctica, pese a las ventajas que le reconoce la literatura académica, muy pocas ciudades han implementado peajes de congestión por la falta de apoyo social y político. Como indicación de las dificultades prácticas en la implementación de los peajes de congestión y/o contaminación, podemos señalar el fracaso en el intento de aplicarlo en ciudades como Copenhague, Edimburgo, Manchester, Helsinki, Nueva York o Hong Kong.

En este punto, debemos señalar que aquí centramos la atención en la aplicación de peajes para gestionar o contener la demanda en zonas urbanas. No hacemos referencia al uso de peajes para financiar, por ejemplo, carreteras de gran capacidad, puentes o túneles. Sin embargo, merece una breve mención el caso de los peajes urbanos que se aplican en varias ciudades de Noruega desde finales de los 1980s, incluyendo Oslo, Bergen y Trondheim.²¹ El uso extendido de peajes para financiar infraestructuras viarias en este país tiene dos particularidades importantes, tal y como se expone en Larsen y Østmoe (2001). En primer lugar cabe señalar que, aunque cobrar un peaje para financiar obras caras (como pueden ser túneles o puentes) es habitual en muchos países, el

²⁰ En cambio, como veremos más adelante, más dudas parecen generar las políticas no monetarias en la medida que las respuestas de los conductores pueden ser lo suficientemente importantes como para que el beneficio social neto sea nulo o incluso negativo.

²¹ Para más detalles del caso Noruega, ver Odeck y Bråthen (2002) o Ieromonachou *et al.* (2006).

caso noruego es particular porque los peajes se pueden cobrar en un lugar alejado de la infraestructura que se pretende financiar. En segundo lugar, los peajes suelen hacer referencia a zonas urbanas dónde los viajeros tienen alternativas de transporte gratuitas, a diferencia de los peajes de congestión habituales que suelen delimitar zonas dónde sólo es posible entrar pagando.

Por otro lado, también podemos encontrar ejemplos de peajes para gestionar la demanda en zonas no urbanas. Un ejemplo importante es el que aplican varias ciudades de Estados Unidos. Existen allí carreteras de varios carriles dónde uno de ellos es de alta ocupación. Los vehículos de baja ocupación pagan un peaje, mientras que los vehículos de alta ocupación pueden usar los carriles de forma gratuita o a un precio de peaje descontado. También allí podemos encontrar vías rápidas que consisten en un segmento paralelo con peaje cerca de una autopista existente muy concurrida gratuita, de modo que los conductores tienen la opción de pasar menos tiempo en la carretera pagando un peaje. Sin desmerecer la importancia de esta política, no la consideramos en este trabajo dado que el foco se centra en las prácticas que afectan a la movilidad en el interior de las zonas urbanas.

Dicho esto, los esquemas más importantes de peajes urbanos se encuentran en Singapur (1975), Londres (2003), Estocolmo (2006), Milán (2008) y Gotemburgo (2013). Existen otros ejemplos de peajes urbanos como el de Durham (2002) o Valeta (2007) pero afectan a unas pocas calles del centro histórico de ciudades pequeñas.

a) Singapur

Singapur, a través de la *Agencia Estatal de Transporte*, fue pionera en la implementación de peajes de congestión en una zona restringida del centro de la ciudad de 7 km² (incluyendo el distrito comercial principal y algunas carreteras de entrada a la ciudad), primero mediante un sistema de licencias en 1975 y después mediante un sistema electrónico de precios en 1998. El sistema de licencias requería que los conductores de automóviles y motocicletas compraran una licencia en papel que debían mostrar en su parabrisas para acceder al centro urbano en horas punta. Con dicha licencia en vigor, se podía tener un acceso ilimitado a la zona restringida durante todo el día. Este esquema fue reemplazado por un sistema electrónico dónde el pago se realiza automáticamente mediante una tarjeta inteligente prepago insertada en el vehículo cuando se pasa por uno de los pórticos que controlan el acceso a la zona restringida. Las tasas varían según el tipo de vehículo, la hora del día y la ubicación del pórtico. En este sentido, las tasas se revisan cuatro veces al año en función del desvío de las velocidades promedio efectivas respecto a una velocidad ideal fijada en 20-30 km/h en el centro de la ciudad y 45-65 km/h en carreteras de acceso (Menon,

2000). Singapur complementó los peajes de congestión con otras medidas tales como la mejora del transporte público, tanto por vía ferroviaria como por autobús.

El esquema de licencias aumentó la velocidad promedio de 19 a 36 km/h (Phang y Toh, 1997), mientras que los volúmenes de tráfico durante las horas punta de la mañana cayeron en un 45%, y las entradas de automóviles disminuyeron en un 70% (Willoughby, 2000).

Sin embargo, aunque el esquema de licencias tuvo éxito en reducir drásticamente los volúmenes de tráfico y la congestión a un coste operativo mínimo, hubo una serie de problemas como la acumulación de tráfico justo antes y después de las horas restringidas, el hecho de que la aplicación manual propiciara muchos errores por parte de los conductores y una percepción general que un esquema basado en un papel se estaba quedando desfasado en una ciudad-estado que aspiraba a ser reconocida como una ciudad de alta tecnología (Santos *et al.*, 2004). Varios estudios muestran que el cambio al sistema electrónico tuvo efectos positivos en términos de reducción de los niveles de tráfico (Olszewski y Xie, 2005; Menon, 2000). Dicha reducción se encuentra en el orden del 15%.

b) Londres

En Londres, la *Autoridad de Transporte de Londres* implementó un sistema de peajes de congestión en febrero de 2003 en una zona restringida de 22 km² que incluye sitios turísticos, el distrito financiero, el Parlamento, las principales oficinas gubernamentales y las principales calles comerciales. La zona restringida se amplió a la parte oeste de la ciudad en 2007 (ampliando la zona restringida a 40 km²) pero cuatro años después se volvió a la definición original. Por ley, se establece que los ingresos irán destinados a la mejora del transporte público que recibe por tanto un impulso simultáneo a la implementación del sistema de peajes.

La tasa se aplica a los vehículos privados y comerciales que ingresen en la zona restringida desde las 7.00h hasta las 18.30h en días laborables. Están exentos del pago las motocicletas, bicicletas, autobuses, taxis y los vehículos de emisiones ultra-bajas, mientras que los residentes pagan una tasa reducida del 10%. La tasa era inicialmente de 5£ y, actualmente, es de 11.50£. Cabe destacar aquí que, a diferencia del caso de Singapur, la tasa es fija con independencia del horario o lugar de entrada.

El sistema de Londres consiste en una licencia de área. Los conductores son responsables de pagar la tasa cuyo pago se controla por cámaras que proporcionan señales de video de alta calidad con software incorporado de reconocimiento automático de matrículas situadas en diferentes zonas de entrada y salida a la ciudad.

La *Autoridad de Transporte de Londres* reporta datos que muestran que el número de vehículos que entraron en la zona restringida cayó un 18% en el primer año de funcionamiento del peaje (33% si consideramos únicamente coches privados) y se ha mantenido desde entonces a ese nivel. La velocidad de desplazamiento dentro de la zona restringida durante el primer año de la tasa fue de entre 16 y 17 km/h, que representa un aumento de entre el 14 y el 21% con respecto a la velocidad media en el período previo a la imposición del peaje. Sin embargo, con el paso del tiempo, la reducción de los niveles de congestión ha sido menor que la consiguiente reducción en los niveles de tráfico. La explicación reside en que parte del espacio libre dejado por el menor número de coches que entran en la zona restringida ha sido ocupado por autobuses, bicicletas y peatones.

El peaje urbano de Londres ha sido objeto de diferentes análisis coste-beneficio. En 2003, la *Autoridad de Transporte de Londres* publicó un informe que examinaba los primeros 6 meses de funcionamiento del peaje. Según sus cálculos, los beneficios sociales del peaje fueron mayores que los costes en una proporción de 1,4. De hecho, incluso los conductores salen ganando dado que los ahorros de tiempo compensan el pago del peaje. Prud'homme y Bocarejo (2005) ponen en duda los cálculos de la *Autoridad de Transporte de Londres* y proponen otros cálculos que sugieren que los beneficios no llegan al 60% de los costes de implementación. Mackie (2005) compara los cálculos de ambos estudios y plantea que la diferencia está en el hecho de que la *Autoridad de Transporte de Londres* incluye los beneficios de los viajeros fuera de la zona restringida y define de forma más precisa el valor del tiempo de viaje. Una evaluación de 2007 de la *Autoridad de Transporte de Londres* confirma el beneficio social neto positivo del peaje urbano.

En general, hay bastante consenso en el éxito del peaje urbano de Londres. Incluso hay un estudio que muestra que puede tener efectos positivos en términos de reducción de accidentes viarios, un aspecto que no estaba recogido entre los objetivos explícitos de la política (Green *et al.*, 2016).²² En este sentido, Santos y Fraser (2006) argumentan que el sistema de peaje urbano en Londres ha sido un éxito pese a que tres decisiones básicas – *i*) el nivel de la tasa y si iba a diferir en función del horario o tipo de vehículo, *ii*) los horarios sujetos a peaje y *iii*) los límites exactos de la zona restringida – se tomaron a partir de consideraciones políticas más que por

²² Otros resultados generales que merecen mencionarse de la literatura empírica sobre los peajes de congestión son que en generar la sensibilidad de los conductores a los peajes es mayor cuando se aplican en vías rápidas de entrada a la ciudad que cuando afectan a la entrada al centro urbano. En el caso de las vías rápidas, los conductores suelen tener más alternativas para cambiar de itinerario o incluso pueden ser más flexibles en los horarios. Por otro lado, los conductores de coches privados tienen mayor sensibilidad a los precios que los conductores de furgonetas o vehículos de carga. Los conductores de coches tienen la opción sustitutiva del transporte público, mientras que los vehículos de carga no pueden conducir fuera de las horas laborales. Finalmente, la sensibilidad al precio es mayor a última hora de la tarde que a primera hora de la mañana dado que los conductores tienen mayor flexibilidad para esquivar los horarios sujetos a peaje.

criterios de eficiencia económica. Por otro lado, Leape (2006) y Santos (2005, 2008) destacan que el éxito del sistema de peajes urbanos de Londres debe ponerse en perspectiva teniendo en cuenta las circunstancias específicas de esta ciudad, una de las más congestionadas del mundo y con un sistema de transporte público muy desarrollado que además se ve mejorado simultáneamente a la implementación del peaje. Muy pocos estudios ponen en cuestión el peaje urbano de Londres. Únicamente Givoni (2012) plantea que antes de la implementación del peaje ya había una tendencia a la reducción del tráfico en la zona restringida, por lo que parte de su efecto puede confundirse con una tendencia temporal exógena a la política.

c) Estocolmo

Estocolmo introdujo un peaje urbano de congestión en 2006, primero durante un período de prueba de 6 meses (seguido de un referéndum) y luego permanentemente a partir de 2007. Formalmente, la decisión de implementar el peaje de congestión fue tomada por el gobierno nacional, pero la idea inicial era que el diseño y la implementación se administraran localmente. Sin embargo, pronto quedó claro que, en términos legales, la tasa de congestión tenía que definirse como un impuesto, lo que significaba que tenía que desarrollarse una nueva legislación nacional. Por lo tanto, el estado adquirió un papel importante en el desarrollo y la implementación del esquema aunque de forma coordinada con el gobierno de la ciudad.

Los vehículos que cruzan un cordón alrededor del centro de la ciudad de 30 km² en días laborables (en cualquier dirección) pagaban en un principio 2€ en horas punta (7.30h-8.30h y 16.00-17.30h), 1,5€ en los períodos de 30 minutos anterior y posterior a las horas punta, y 1€ el resto del día sujeto a peaje (6.30h-18.30h). Estos niveles de precios permanecieron esencialmente sin cambios hasta 2016, cuando se introdujo un nuevo peaje en el bypass occidental y los precios originales aumentaron hasta 3,5€ en horas punta, aumentando y disminuyendo gradualmente antes y después de estas horas. Por otro lado, quedan exentos autobuses, coches no contaminantes y el tráfico con origen o destino a la isla de Lidingo. Como sistema de control, los vehículos son registrados automáticamente por cámaras que graban las matrículas. Cabe señalar que la imposición del peaje urbano vino acompañado de una mejora del transporte público.

Eliasson (2009) llevó a cabo un análisis coste-beneficio del peaje de congestión en Estocolmo analizando el período de prueba de 6 meses. Sus cálculos sugieren un beneficio social neto positivo aunque los conductores pierden con el peaje. Aun así, el valor de tiempo ganado representa en torno al 70% de las tasas pagadas debido a que un porcentaje significativo de flujos de tráfico no cruza el cordón pero aun así se beneficia de la reducción de la congestión. Por otro

lado, el cómputo realizado sugiere que la inversión realizada para implementar el peaje de congestión puede recuperarse en términos de beneficios sociales en sólo 4 años y medio.

Eliasson (2008) realiza un análisis de series temporales para examinar el impacto del peaje de congestión en los flujos de tráfico. La reducción del tráfico en el cordón sujeto a peaje después de su imposición es del orden del 20%, tanto en el período de prueba como en el período en el que el peaje se hace permanente. Por otro lado, plantea que el cambio en la opinión pública (desde un apoyo al peaje de menos del 30% antes del período de prueba a cerca del 70% a finales de 2007) pudo deberse a que los ciudadanos subestimaban los beneficios de la reducción de la congestión. Börjesson *et al.* (2012, 2014) analizan el impacto sobre el tráfico del peaje con una serie temporal más larga y controlando por más variables que Eliasson (2008) y concluyen que la cuantía de la reducción de tráfico derivada del peaje es de entorno al 30%. Sin embargo, la pauta es similar en todos estos estudios; una fuerte reducción del tráfico en el momento inicial de la introducción del peaje para después estabilizarse en el volumen más bajo respecto al período pre-peaje.

d) Milán

La alcaldesa de Milán introdujo una tarifa ambiental llamada *Ecopass* en 2008. La tasa se aplicaba a los vehículos que ingresaban en una zona de 8 km² del centro urbano los días laborables de 7.30h a 19.30h (solo una vez por día). Los vehículos se identificaban mediante cámaras con reconocimiento automático de número de matrícula en 43 pórticos de peaje en el perímetro de la zona. El peaje se diseñó principalmente para reducir la emisión de contaminantes de los coches, por lo que se diferenció el nivel de la tasa de acuerdo con los estándares de emisión. Se otorgó acceso gratuito a la zona restringida a motos y vehículos no contaminantes. Los vehículos más contaminantes pagaban una tarifa de entre 2€ y 10€, dependiendo de los estándares de emisión. El plan *Milán Ecopass* era parte de un paquete de políticas de transporte más amplio que incluía una mejora del transporte público y un aumento de precios y restricciones para el aparcamiento de coches.

En 2012, se sustituyó esta tasa ambiental por un peaje de congestión. El nuevo sistema de peaje pasó a denominarse *Área C* que se impuso en la misma zona que el *Ecopass* y basado en la misma zona designada de tráfico restringido. El *Área C* comenzó como un programa piloto de 18 meses basado en la implementación parcial de los resultados de un referéndum que tuvo lugar en junio de 2011. El objetivo del programa era reducir drásticamente los atascos de tráfico crónicos que tenían lugar en la ciudad de Milán, promover la movilidad sostenible y el transporte público, y disminuir los niveles existentes de contaminación que se habían vuelto insostenibles desde el punto de vista de la salud pública. Aunque el programa fue suspendido temporalmente entre el 25

de julio y el 17 de septiembre de 2012 (debido a una decisión del Consejo de Estado tras las protestas de los propietarios de aparcamientos en el centro de Milán), el *Área C* fue definitivamente aprobada como programa permanente en marzo de 2013.

El sistema de tasa por congestión de Milán es parecido al de Londres en el sentido que no se diferencia por el horario de entrada en la zona restringida. La tarifa base es de 5€ para todos los vehículos que ingresen a la zona (por día), aunque los vehículos comerciales y los automóviles que aparcan en áreas de aparcamiento privadas pagan 3€. Los vehículos muy contaminantes no pueden entrar. Los residentes obtienen 40 entradas gratis por año, después de lo cual pagan 2€.

Rotaris *et al.* (2010) y Percoco (2013) reportan datos del impacto de la tarifa *Ecopass* en su primer año de funcionamiento. La tasa medioambiental consiguió reducir en un 14% el número de vehículos que entraban a la zona restringida. Por otro lado, la composición del tráfico cambió con un aumento de la proporción del número de vehículos exentos y también hubo una modificación de la distribución temporal de los vehículos con una fuerte reducción del tráfico entre las 7.30h y las 8.00h y un aumento del tráfico en la media hora después del final del período de pago. Por otro lado, se estima que la reducción de contaminantes fue de entre el 14% y el 18% aunque dicha estimación se basa en la consiguiente reducción del tráfico. Los accidentes de tráfico también cayeron un 20%.

Rotaris *et al.* (2010) llevaron a cabo un análisis coste-beneficio de *Ecopass* también en su primer año de funcionamiento. El resultado es un beneficio social neto positivo, aunque los conductores de coches y, particularmente, los conductores de vehículos comerciales (furgonetas, camiones, etc.) salen perdiendo con la tasa. Los principales beneficios sociales netos se derivan de la reducción del tiempo de viaje asociada a una menor congestión y la disminución en el número de accidentes, no tanto por el efecto medioambiental que era el principal objetivo de la política. Por otro lado, plantean dudas sobre la efectividad a medio plazo de la política en la medida que, si hay una sustitución de la flota de vehículos de más a menos contaminantes, ello ayudará al objetivo medioambiental pero no al de la congestión. De hecho, este fue el principal motivo por el que hubo un cambio de modelo desde un peaje para la reducción de la contaminación a un peaje para la reducción de la congestión (Beria, 2015).

Percoco (2013) y Gibson y Carnovale (2015) aprovechan la suspensión temporal e inesperada (y por tanto exógena) del *Área C* para analizar mediante una regresión en discontinuidad el efecto de la política sobre la reducción en la emisión de diferentes tipos de contaminantes. Aunque la estrategia de estimación es la misma, sólo Gibson y Carnovale (2015) encuentran un efecto estadístico de la suspensión de la política; el aumento en la emisión de contaminantes va del 6%

al 17% según el contaminante analizado. En este sentido, los datos de Gibson y Carnovale (2015) son más detallados, tanto en términos de tiempo como de localización geográfica. En este estudio, también se muestra que la suspensión del *Área C* conllevó un aumento del 14% en el número de vehículos que entraron en la zona restringida y una pauta de sustitución temporal (una reducción del 23% en las entradas 15 minutos antes y después del horario sujeto a peaje) y espacial (un aumento del 18% del tráfico en las carreteras a menos de un 1 km de distancia del *Área C*).

e) Gotemburgo

El peaje urbano de Gotemburgo se introdujo en 2013 como parte de un paquete más general sobre inversión en infraestructuras, de manera que junto al objetivo de reducir la congestión se incluía como objetivo explícito la generación de ingresos para financiar infraestructuras. Las tasas varían entre 1€ y 2€ dependiendo del momento del día y teniendo en cuenta que las horas sujetas a pago van de las 6.00h a las 18.30h en días laborables. Un vehículo que pasa por varios puntos de control dentro de un período de 60 minutos solo se le cobra una vez, y ningún vehículo puede pagar más de 6€ al día. Por lo demás, el sistema es muy parecido al de Estocolmo, con el diseño de un cordón restringido que afecta a prácticamente todo el centro de la ciudad y la principal carretera que lo cruza, y con métodos similares de control y pago aunque se establecieron algunos puntos de control adicionales fuera del cordón para evitar el uso de calles locales que podrían afectar a la congestión dentro del cordón.

El peaje de congestión fue decidido conjuntamente por el gobierno nacional, regional y local. En septiembre de 2014 (20 meses después de su introducción), fue sujeto a un referéndum en el que el 57% de los votantes rechazaron continuar con el peaje. Sin embargo, el gobierno de la ciudad decidió mantenerlo dado que el referéndum sólo era consultivo y que no había alternativas para cofinanciar la necesaria inversión en infraestructuras. Cabe señalar que la imposición del peaje vino acompañada de una mejora del transporte público y de políticas de fomento del uso de la bicicleta en el centro de la ciudad.

Andersson y Nässén (2016) reportan datos que muestran que la reducción del tráfico en la zona restringida un año después de la introducción del peaje fue del 10%. En este sentido, cabe destacar que Gotemburgo es una ciudad más pequeña y menos congestionada que las otras ciudades que han aplicado los peajes urbanos de congestión. Además, el peso del transporte público en el acceso a la zona sujeta al peaje es relativamente modesto.

Börjesson *et al.* (2016) muestran que la valoración de los ciudadanos del peaje de congestión ha ido mejorando con el paso del tiempo y ello no puede explicarse por una subestimación de los beneficios de la congestión. Ni la ciudad estaba tan congestionada antes de la imposición del peaje

ni el efecto del mismo ha sido tan importante sobre el volumen de tráfico, al menos en comparación a otros casos como el cercano de Estocolmo. Los autores argumentan que la explicación de la tendencia a una percepción más positiva del peaje reside en el sesgo del status quo, es decir, la resistencia al cambio. Una vez que la política está implementada, el apoyo aumenta, en parte, por este sesgo. Por otro lado Börjesson y Kristoffersson (2015) argumentan que no sólo es relevante el apoyo público a los peajes, sino también el apoyo político. En el caso de Gotemburgo, la cofinanciación del gobierno central de infraestructuras viarias locales con la introducción del peaje ha sido determinante para que no se cancelara.

3.2. Vía cantidades

Los peajes urbanos pueden utilizarse para satisfacer diferentes objetivos como la reducción de la congestión, reducción de la contaminación, generar recursos para financiar carreteras, túneles o puentes, o generar recursos para financiar la mejora del transporte público. Eso es lo que muestran los casos estudiados, aunque es cierto que el objetivo de reducción de la congestión viaria suele ser el principal (excepto en el caso del primer esquema de peajes de Milán). En cambio, los mecanismos basados en restricción de cantidades suelen tener como objetivo único la reducción de la contaminación con independencia de su efecto sobre otras externalidades negativas como la congestión o los accidentes.

Dos medidas pueden destacarse en el contexto de las políticas basadas en la restricción de cantidades para reducir la contaminación en grandes ciudades. En primer lugar, las políticas que prohíben la circulación en días específicos en toda la ciudad en función del último dígito de la matrícula del coche. Y, en segundo lugar, las zonas de baja emisión que implican la prohibición de circular en determinadas zonas geográficas de una área metropolitana a vehículos muy contaminantes. En el primer caso, puede esperarse una reducción del número total de vehículos que circulan por la ciudad (al menos a corto plazo). Por tanto, puede ser de utilidad para reducir la congestión. En el segundo caso, el objetivo explícito no es reducir el volumen total de tráfico de la zona restringida, sino de los vehículos contaminantes. Por tanto, es un instrumento que puede ser de gran utilidad para combatir la contaminación pero no necesariamente para reducir la congestión dado que, a medio plazo, podría haber un efecto sustitución de vehículos contaminantes a vehículos “limpios”. En cambio, también es cierto que las zonas de baja emisión, en la medida que siempre afectan a vehículos de carga como camiones o furgonetas, podrían tener un efecto positivo sobre los niveles de congestión.

En general, puede esperarse que estas medidas sean ineficientes dado que reducen la demanda independientemente de la disposición a pagar por conducir. Además, en el caso de las restricciones

basadas en el último dígito de la matrícula del conductor, la restricción de demanda es totalmente arbitraria.

A priori, no queda claro si las restricciones de demanda son efectivas o no. Puede esperarse que lo sean a corto plazo pero es menos claro que lo sean a largo plazo, algo que depende de las pautas de conducta de los conductores. De hecho, la evidencia empírica no es clara respecto a las restricciones de entrada en días alternativos. Sí que lo es respecto a las zonas de baja emisión, aunque el único caso estudiado con detalle es el de las ciudades alemanas, que no tiene por qué ser generalizable a ciudades de otros países.

Lo que parece claro es que son medidas que pueden tener efectos regresivos por perjudicar a los conductores de menor nivel de renta que son propietarios de los coches más antiguos (y, por tanto, más contaminantes) y no tienen la opción de comprar un nuevo vehículo.

a) Restricciones de entrada en días alternativos

Las restricciones de entrada en la ciudad en días específicos según la matrícula del coche han sido aplicadas en algunas ciudades europeas como Madrid o Lyon. Sin embargo, dicha medida suele aplicarse únicamente en períodos puntuales con niveles de contaminación que superan los umbrales permitidos por la Unión Europea.

Las ciudades pioneras en la implementación de esta política están en América Latina (Grange y Troncoso, 2011) donde las restricciones pueden ser permanentes.²³ En los años 1970s, una medida de este tipo se implementó en Buenos Aires, prohibiendo a la mitad de los coches entrar en el centro de la ciudad en un día específico de la semana en función de si el último dígito de la matrícula del coche era par o impar. Este método fue utilizado también en Caracas en los años 1980s. Sin embargo, la medida fue abandonada en ambos casos por no ser demasiado efectiva: muchos conductores compraron un segundo vehículo de segunda mano (más contaminante), aumentó el número de motocicletas y muchos otros conductores infringían la norma. A mediados de los 1990s, se implementaron medidas similares en São Paulo con el sistema conocido como *Rodízio* y en Bogotá con el programa conocido como *Pico y Placa*, con mayor éxito que en los dos casos anteriores. Sin embargo, el caso de América Latina que ha sido objeto de un contraste empírico más riguroso es el del programa *Hoy No Circula (HNC)* implementado en Ciudad de México en 1989.

²³ Otros ejemplos de la aplicación de esta política en períodos puntuales de elevada contaminación son Delhi, Guangzhou o Pekín.

El *HNC* prohíbe a la mayoría de los conductores usar sus vehículos un día laborable por semana sobre la base del último dígito de la matrícula del vehículo. Por ejemplo, los vehículos con una matrícula que finaliza en 5 o 6 no pueden usarse los lunes. Las restricciones están vigentes durante los días de semana entre las 5.00h y las 22.00h y afectan a la gran mayoría de los vehículos, tanto de pasajeros como comerciales. Las restricciones se aplican a toda el área metropolitana de la Ciudad de México. El cumplimiento del programa es casi universal dado que es fácil detectar las infracciones que implican una multa equivalente a 200 dólares estadounidenses y el soborno a policías es caro (Davis, 2008).

Davis (2008) examina el impacto del *HNC* en la calidad del aire utilizando registros de contaminación atmosférica por hora procedentes de las estaciones de control, con datos del período 1986-1993. Los niveles de contaminación se comparan antes y después de las restricciones para cinco de los contaminantes principales. La estrategia de identificación se basa en restringir la muestra a un intervalo de tiempo relativamente estrecho alrededor de la implementación del *HNC* y mediante el uso de una regresión en discontinuidad. Dentro de este intervalo, es probable que los factores no observables que influyen en la calidad del aire sean similares, de modo que las observaciones antes del *HNC* proporcionen un grupo de comparación para observaciones después del *HNC*.

Este influyente estudio no encuentra evidencia de que el programa haya mejorado la calidad del aire. La posible explicación de este resultado la plantea el autor a partir del análisis de información adicional. Después de la implementación del *HNC*, no se halla evidencia de una disminución en el consumo de gasolina o un aumento en el uso del transporte público. En cambio, el *HNC* se asocia con un aumento en el número total de vehículos privados en circulación, así como un cambio en la composición hacia vehículos de altas emisiones.

En la Ciudad de México, durante este período, había un automóvil por cada ocho personas, por lo que los conductores tienden a ser de renta alta. En este sentido, la evidencia sugiere que tales conductores no pasaron a utilizar el transporte público el día de la semana que les afectaba la política. Parece más probable que hayan preferido comprar vehículos adicionales o utilizar taxis que tienden a ser vehículos más contaminantes que la media.

Gallego *et al.* (2013) aportan evidencia complementaria al estudio de Davis (2008) sobre los efectos del *HNC* dado que analizan los efectos a corto plazo de la medida (un mes antes y después de ser puesta en práctica) y a largo plazo (un año antes y después). La variable de comparación son las emisiones de monóxido de carbono en horas punta que, además, es una buena

aproximación al tráfico de vehículos en el área urbana. La estrategia empírica es similar a la de Davis (2008) pues también aplican una regresión en discontinuidad.

En este estudio, se encuentra una reducción de las emisiones de monóxido de carbono en el rango del 5-13% durante el primer mes de implementación de la política. Este resultado a corto plazo está en línea con la percepción de un alto cumplimiento del programa y con el anuncio inicial de que el programa solo duraría tres meses. A largo plazo, encontramos un aumento de las emisiones de monóxido de carbono del 11%. Por otro lado, el aumento de emisiones está menos relacionado con un gran volumen de automóviles adicionales que con el hecho de que estos automóviles adicionales contaminan muy por encima de la media de la flota. Finalmente, otro resultado destacable es que el *HNC* tiene un mayor impacto entre individuos de renta media porque son los que tienen una mayor probabilidad de comprar un segundo coche. La explicación es que los de renta baja no se lo pueden permitir y los de renta alta ya lo tenían antes de la implementación de la política.

Otro caso del que hay evidencia econométrica hace referencia a las restricciones que se aplicaron en Santiago de Chile en 2008. En el estudio de De Grange y Troncoso (2011), se analiza el impacto sobre los flujos de tráfico de dos restricciones mediante un análisis econométrico de series temporales con datos por horas. La primera fue una restricción permanente que prohibía circular por la ciudad al 40% de los automóviles sin convertidor catalítico. Dichos vehículos no se consideraron aptos para portar una etiqueta verde en el parabrisas. La segunda restricción fue una medida adicional de emergencia impuesta en momentos de elevada contaminación que extendió la prohibición al 60% de los vehículos sin etiqueta verde y al 20% de los que sí tenían convertidores catalíticos. En la aplicación de ambas restricciones, los vehículos afectados en un día específico se determinaron en función del número de la matrícula y la vigencia de las medidas se estableció entre las 7.30h y las 21.00h.

Los principales resultados de este estudio son que la restricción permanente no tuvo un impacto significativo en los flujos de vehículos, probablemente por el reducido peso en el parque total de automóviles de coches sin convertidor catalítico y por el hecho de que los vehículos más contaminantes son propiedad de individuos de renta baja que tienden a conducir con menor regularidad que los de mayor renta. Por otro lado, las restricciones en momentos de emergencia conllevaron una reducción del 5% de los flujos de vehículos, una cifra muy inferior al total de vehículos potencialmente afectados por la medida. La diferencia puede explicarse por el hecho de que algunos conductores podían tener un segundo vehículo para usar en esos días, otros podían desplazarse antes de la hora de entrada en vigor de la medida, y otros podían infringir la medida

dado que los controles policiales afectaron a una pequeña parte de la red de carreteras de la ciudad. Finalmente, en relación también a la medida de emergencia, el estudio concluye que el aumento de pasajeros en la red de transporte público fue muy inferior a la reducción del tráfico mencionado. Esto implica que muchos conductores recurrieron a otras alternativas como usar otro automóvil, quedarse en casa, desobedecer la restricción o reprogramar horarios y/o itinerarios.

Otro caso que ha recibido atención en la literatura empírica es el Pekín. Durante los Juegos Olímpicos de 2008, el gobierno municipal implementó restricciones de tráfico para aliviar la contaminación y la congestión. Las restricciones prohibieron la circulación a la mitad de los vehículos todos los días (excepto de las 0.00h a las 3.00h) de acuerdo con el último dígito de la matrícula (impar o par) en toda la ciudad. Estas restricciones se relajaron después de los juegos olímpicos, limitando la prohibición a un día laborable a la semana de 7.00h a 20.00h. La restricción implica que, cada día laborable, se restringe la circulación a vehículos con los siguientes pares de último dígito en la matrícula: 0 y 5; 1 y 6; 2 y 7; 3 y 8; 4 y 9.

Viard y Fu (2015) analizan el impacto de estas restricciones sobre las partículas en suspensión PM10 utilizando datos diarios de estaciones de control desde enero de 2007 hasta diciembre de 2009. La estrategia empírica consiste en explotar la variabilidad temporal mediante una regresión en discontinuidad y la variabilidad espacial mediante una regresión de diferencias en diferencias. A diferencia del caso de la ciudad de México y otras ciudades de América Latina, sí se obtiene un efecto significativo de las restricciones basadas en el número de la matrícula. En concreto, se obtiene evidencia de una reducción de entre el 18% y 21% de las partículas en suspensión. Los autores justifican las diferencias con el caso de Ciudad de México por el menor nivel de renta per cápita en Pekín en 2007 siendo mucho más costoso en promedio comprar un segundo vehículo en esta última ciudad. En la misma línea, el parque de vehículos ha ido creciendo en los últimos años y es más nuevo en promedio que en ciudad de México, de manera que en Pekín es más difícil la compra de vehículos de segundo mano más contaminantes.

Gu *et al.* (2017) aportan información complementaria del caso de Pekín utilizando micro-datos de residentes en la zona restringida para el año 2010. Los autores de este estudio comparan decisiones de conductores afectados y no afectados por la restricción. Encuentran que las restricciones reducen significativamente el desplazamiento en coche pero no el total de desplazamientos, por lo que parece haber un efecto sustitución entre transporte privado y público. Por otro lado, no encuentran evidencia de que haya un aumento de desplazamientos en horas no restringidas aunque sí en días no restringidos. Además, como podía esperarse, no encuentran efecto de las restricciones en familias con dos o más coches e identifican un menor efecto en desplazamientos cortos debido a que es más fácil la infracción sin ser penalizado.

b) Zonas de baja emisión

Una de las políticas no-monetarias que puede implementarse para reducir la emisión de contaminantes de los coches es la imposición de una zona de baja emisión. Las zonas de baja emisión hacen referencia a ciertas áreas geográficas de una aglomeración urbana en la que los vehículos que no cumplen con unos estándares de emisión de contaminantes no pueden entrar. Las zonas de baja emisión siempre afectan a camiones que transportan carga pesada, a la mayoría de autobuses y pueden afectar también a furgonetas, coches y motocicletas. Esta política se ha aplicado especialmente en Europa. Alrededor de 220 ciudades de 14 países de Europa tienen zonas de baja emisión, en algunos casos de forma permanente y en otros sólo en episodios puntuales de excesiva contaminación. Entre ellas, se encuentran varias ciudades de Alemania, Suecia, Italia o Grecia, y ciudades como Londres, París, Praga o Lisboa. Barcelona puso en marcha una zona de baja emisión a finales de 2017 pero sólo para períodos puntuales de emergencia por niveles de contaminación excesivos. También pueden encontrarse ejemplos de zonas de baja emisión en algunas de las grandes ciudades asiáticas como Pekín, Tokio, Shanghái o Hong Kong.

En Europa, el impulso a esta política parte de la Directiva 1999/30/EC que establece que los Estados Miembros están obligados, desde el 1 de enero de 2005, a implementar medidas para evitar que *i)* el límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas en suspensión PM10 no se exceda en más de 35 días por año y *ii)* el promedio anual no exceda los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cuando una ciudad sobrepasa estos límites máximos permisibles, los gobiernos locales tienen que desarrollar los llamados planes de acción de aire limpio. Estos planes pueden consistir en varias medidas de regulación del tráfico, siendo la más drástica de ellas las zonas de baja emisión. Cabe resaltar aquí que las ciudades que no cumplen con lo planteado en la directiva Europea se exponen a importantes multas económicas.

En lo relativo a esta política, el caso más estudiado es el de Alemania. En marzo de 2007 entró en vigor una legislación nacional que otorgaba a los municipios el derecho a definir áreas geográficas como zonas de baja emisión. Bajo esta ley, los coches deben clasificarse por etiquetas a colocar en su parabrisas con tres colores diferentes según grado de emisión del vehículo: rojo, amarillo, verde (los más contaminantes no pueden llevar ninguna etiqueta). Las zonas de baja emisión prohíben a los vehículos que no cumplen con un límite de emisión determinado según lo indicado en la clasificación de emisiones del vehículo entrar en un área geográfica específica.

Hay tres posibles gradaciones de esta política en Alemania. En el grado 1, solo se prohíbe la entrada en la zona restringida a vehículos de muy alta emisión y sin etiqueta. En el grado 2, se prohíbe la entrada a los vehículos sin etiqueta y con etiqueta roja. En el grado 3, sólo se permite el acceso a vehículos de baja emisión con una pegatina verde. Los propietarios de vehículos que

ingresan ilegalmente en una zona de baja emisión se exponen a una multa de 80€ y, si residen en Alemania, reciben un punto de penalización en el *Registro Central de Delincuentes*. En la actualidad, hay 48 zonas de baja emisión que afectan a 76 ciudades. En la mayoría se ha ido aplicando el grado 3, aunque el endurecimiento de esta política es muy reciente.

Malina y Scheffler (2015) analizan el impacto de las zonas de baja emisión en ciudades alemanas sobre la emisión de partículas PM10. Para ello, utilizan datos diarios agregados de todas las estaciones de control del país para el período que va de 2000 a 2009. Controlando por condiciones meteorológicas, el volumen de tráfico y efectos fijos de tiempo y estación, encuentran que las zonas de baja emisión reducen significativamente los niveles de PM10 en zonas urbanas. La reducción de PM10 es del orden de $2,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando se aplica la zona de baja emisión de grado 1, mientras que la reducción es de $5,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ adicionales cuando se aplica el grado 2 (en el período estudiado no hay suficientes datos para estudiar la aplicación del grado 3, que es el más severo). En conjunto, la reducción de PM10 asociada a las zonas de baja emisión es de un 13%. Sin embargo, los propios autores plantean como limitación del trabajo que no puede medir con precisión el impacto de la política en las zonas limítrofes a las de aplicación.

Dicha limitación no es un problema en el estudio de Wolff (2014) que cuenta con datos a una escala geográfica más reducida. En particular, este autor cuenta con información detallada de 554 estaciones en 388 ciudades durante el período 2005-2008. Controlando por variables parecidas a las del estudio de Malina y Scheffler (2015), Wolff (2014) aplica una estrategia de diferencias en diferencias que implica comparar los cambios en PM10 de ciudades de tratamiento (las afectadas por la política) con los correspondientes cambios en ciudades de control (no afectadas por la política). Además, aplica una estrategia de “matching” de manera que la muestra se reduce a ciudades de control y tratamiento, comparables en términos de PM10 en el año inicial del análisis. También utiliza como estrategia adicional de identificación la comparación entre ciudades vecinas afectadas y no afectadas por la política. Teniendo esto en cuenta, Wolff (2014) obtiene que las zonas de baja emisión reducen en promedio la emisión de PM10 en un 9% con un rango que va del casi cero en ciudades pequeñas como Tubinga a un 15% en ciudades como Berlín. Por otro lado, no encuentra un aumento de la emisión de PM10 en zonas colindantes a las protegidas.

4. Análisis de las principales ciudades europeas

En esta sección, se explican los datos utilizados para analizar la situación actual en términos de congestión urbana y polución en Europa. También se evalúan las políticas que están siendo adoptadas para combatir estos problemas.

4.1. Los datos

En lo que se refiere a congestión urbana, el análisis se centra en la base de datos elaborada por la empresa de navegadores TomTom correspondiente al año 2016.²⁴ Esta base de datos proporciona un indicador de congestión para un número elevado de ciudades en todo el mundo. La congestión se mide como el incremento en el tiempo que necesita un vehículo para circular por una vía en comparación con una situación de tráfico fluido. El valor de congestión que se proporciona corresponde a un promedio (aunque también se encuentran disponibles los valores extremos durante las horas punta de la mañana y de la tarde).

En cuanto a contaminación, la base de datos considerada es la “Ambient Air Pollution Database” elaborada por la OMS para los años 2013 y 2014, que mide la calidad del aire (en términos de la cantidad de partículas en suspensión de tipo PM10 y PM2.5) en las 3.000 ciudades más importantes del mundo con más de 100.000 habitantes.

En cuanto a la información sobre políticas implementadas en ciudades europeas con el fin de mitigar los problemas asociados a la congestión viaria y la contaminación ambiental, proceden de la página web CLARS (Charging, Low Emission Zones, other Access Regulation Schemes), elaborada por Sadler Consultants Ltd.²⁵ Esta web está actualizada y proporciona datos sobre las medidas que se aplican a día de hoy.

Además, se utilizan datos de la “Urban Data Platform” de la Comisión Europea correspondientes a 2010 sobre población, renta per cápita y densidad de población de las ciudades analizadas.²⁶ Los datos hacen referencia al área urbana funcional siguiendo el criterio seguido por esta base de datos.

4.2. Análisis de congestión

Para hacer el análisis más tratable, se divide la muestra de ciudades europeas en dos grandes grupos en función de su tamaño: las ciudades medianas (que son aquellas con una población entre 500.000 y 1.000.000 de habitantes) y las grandes ciudades (que son aquellas con una población superior a 1.000.000 de habitantes). Las Figuras 6 y 7 muestran la congestión en ciudades grandes y medianas, respectivamente.

Si nos centramos en la Figura 6, podemos observar que los niveles de congestión registrados en grandes ciudades europeas son elevados. De hecho, todas ellas registran un nivel de congestión

²⁴ https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/

²⁵ <http://urbanaccessregulations.eu/>

²⁶ <http://urban.jrc.ec.europa.eu/?ind=popden&ru=fua&s=0&c=1&m=0&f=1&p=0&swLat=18.562947442888312&swLng=-66.09375&neLat=68.2042121888185&neLng=87.890625>

superior al 20%. Si nos fijamos en las dos grandes ciudades españolas, podemos observar que Barcelona (31%) se encuentra en una peor situación en comparación con Madrid (25%).

El análisis de las ciudades medianas en la Figura 7 revela una situación parecida a la descrita por la figura anterior. De nuevo, los niveles de congestión registrados exceden el 20% (sólo Róterdam se sitúa ligeramente por debajo de este valor). De hecho, la mitad de las ciudades estudiadas supera el 30% y algunas ciudades exceden incluso el 40%. En lo que se refiere a las tres ciudades españolas que figuran en el análisis (Valencia, Sevilla y Málaga), todas ellas muestran niveles de congestión destacables, aunque no son particularmente elevados en el contexto de la muestra.

Los atascos que genera la congestión viaria en los accesos a las ciudades implican importantes pérdidas de tiempo que se traducen en reducciones de productividad y sobrecostes de transporte (además del consecuente incremento de emisiones contaminantes).²⁷ Un poco más adelante, se proporcionan algunos detalles sobre el coste de los atascos en las ciudades españolas más congestionadas.

La Figura 8 ofrece un análisis de la evolución de la congestión entre 2008 y 2016 en las ciudades españolas mencionadas en las Figuras 6 y 7. En general, podemos observar una cierta caída entre 2008 y 2012, seguida de un repunte desde 2013 hasta 2016. Teniendo en cuenta los valores de partida en 2008, también se constata un aumento de la congestión en 2016 (con la excepción de Málaga, que partía en 2008 de niveles excepcionalmente altos).

²⁷ Tal y como se indica en la Subsección 1.1 de este trabajo, las consultoras *INRIX* y *Centre for Economics and Business Research* realizaron en 2013 un estudio para estimar el impacto de los retrasos provocados por los atascos en las economías del Reino Unido, Francia, Alemania y Estados Unidos. El estudio concluye que los gastos por congestión representaron 200 mil millones de dólares americanos en los cuatro países (en torno al 0,8% de su PIB conjunto). Además, dada la tendencia observada y esperada, se incluyen unas previsiones que sugieren que esa cifra podría aumentar hasta los 300 mil millones en 2030.

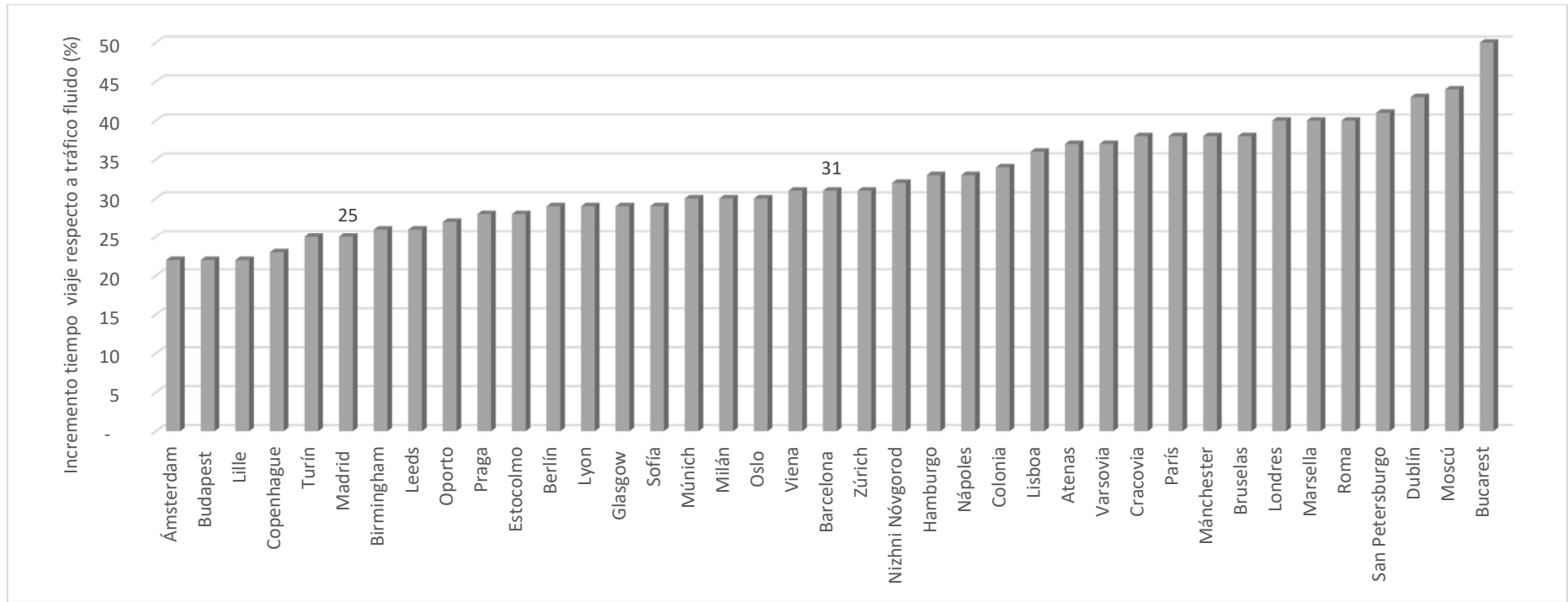


Figura 6: Congestión en grandes ciudades europeas (> 1.000.000 habitantes).

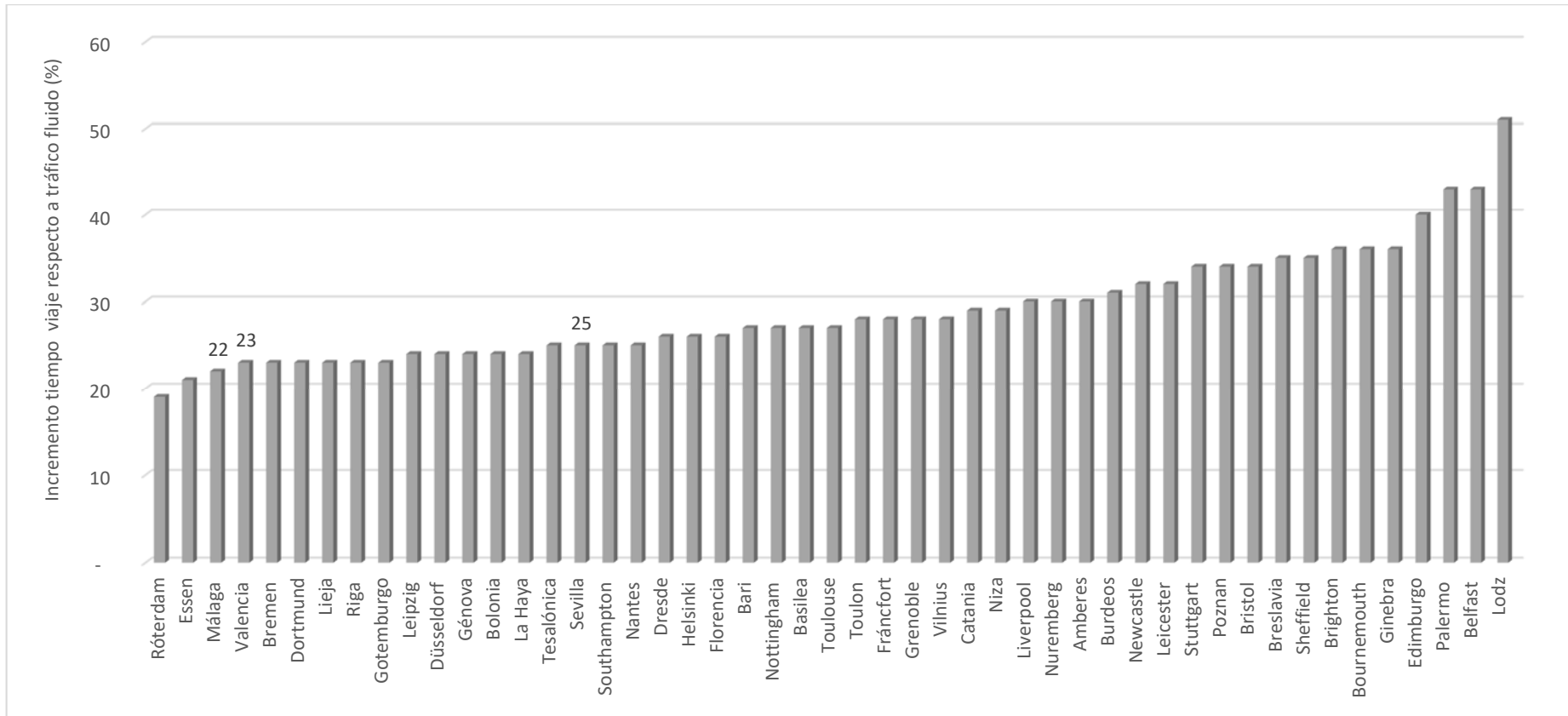


Figura 7: Congestión en ciudades europeas medianas (500.000 - 1.000.000 habitantes).

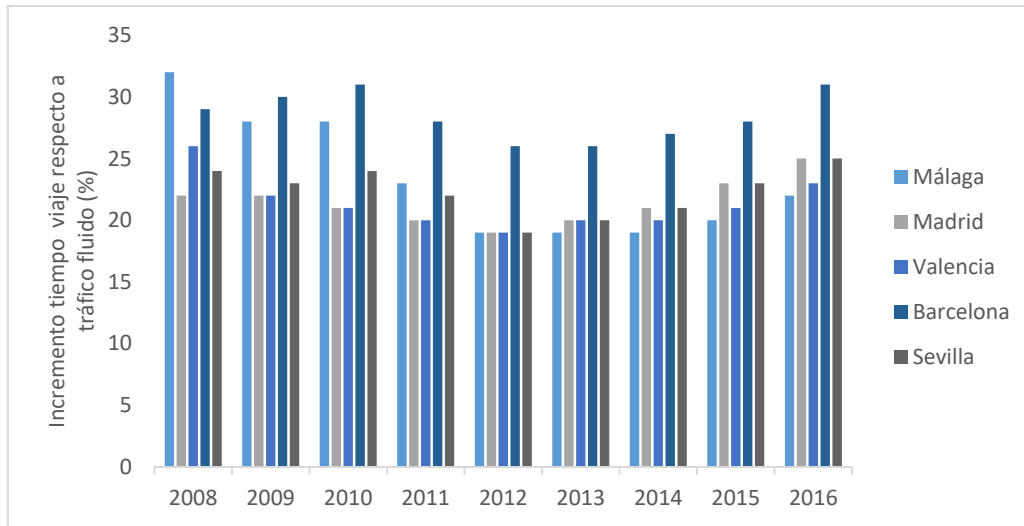


Figura 8: Evolución de la congestión en ciudades españolas medianas y grandes.

TomTom también ha realizado un informe sobre el coste que representa la congestión en las empresas españolas.²⁸ Dicho informe concluye que las empresas españolas pierden más de 840 millones de euros al año debido a los atascos (datos de 2016). La Tabla 5 nos muestra el coste empresarial derivado de la congestión en las ciudades españolas más congestionadas en 2016.

Ciudad	Congestión	Tiempo extra (horas)	Coste empresarial (€)
Barcelona	31%	119	175.513.415,35
Palma de Mallorca	29%	96	39.618.547,20
Las Palmas	27%	86	45.520.376,20
Granada	26%	81	26.567.894,70
Sevilla	25%	85	37.385.822,00
Gijón	25%	73	19.018.635,25
Sta. Cruz de Tenerife	25%	85	45.152.803,25
Madrid	25%	105	187.488.267,75
Valencia	23%	74	49.806.454,80
A Coruña	23%	68	17.221.309,40
Málaga	22%	64	32.486.249,60

Tabla 5: Coste empresarial derivado de la congestión en ciudades españolas.

²⁸ https://telematics.tomtom.com/es_es/webfleet/blog/coste-los-atascos-las-empresas/

Cabe destacar las cuantiosas pérdidas en las dos grandes ciudades españolas: 119 horas extra al volante en el caso de Barcelona (que equivalen a 14 días laborables) y 105 en el caso de Madrid. Este tiempo se traduce en una pérdida económica enorme de 175,5 millones de euros en Barcelona y 187,5 millones de euros en la capital española.

Es interesante remarcar que la densidad de vehículos es particularmente alta en las urbes españolas. Así, Madrid tiene 2.300 turismos matriculados por kilómetro cuadrado, Valencia 2.600 y Barcelona 5.700. Unas densidades muy altas si se comparan con Berlín o Roma, donde hay 1.500 vehículos matriculados por kilómetro cuadrado, o Londres que cuenta con 1.300.²⁹ El propio Ayuntamiento de Barcelona informa en su página web que Barcelona es la ciudad de Europa con mayor densidad de vehículos.³⁰ La parte positiva de este dato es que sugiere la existencia de un margen de maniobra considerable en la reducción de coches (y, por tanto, de congestión) en las ciudades españolas.

4.3. Análisis de contaminación

En este caso, examinamos las ciudades europeas más contaminadas a partir de la misma muestra utilizada en la subsección anterior aunque la información de contaminación para algunas de las ciudades, como por ejemplo Málaga, no está disponible. Mantenemos la distinción entre ciudades medianas (con una población entre 500.000 y 1.000.000 de habitantes) y grandes (con una población superior a 1.000.000 de habitantes). La Figura 9 muestra la contaminación en grandes ciudades, mientras que la Figura 10 presenta el registro de contaminación en ciudades medianas. Analizamos la concentración de partículas de tipo PM_{2.5} (media anual expresada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) siguiendo la recomendación de la OMS, que considera que es el mejor indicador de contaminación urbana. Cabe también recordar que, según los Valores Guía de protección para la salud de la OMS, a partir de una concentración anual media de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, existe una relación causa-efecto entre la exposición prolongada a la contaminación atmosférica y disfunciones cardiopulmonares e incremento de la mortalidad.³¹

La Figura 9 nos muestra un nivel de emisiones muy alto en la inmensa mayoría de las ciudades (que exceden ampliamente el umbral de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En la parte alta encontramos varias ciudades del centro-este de Europa, así como algunas ciudades italianas. Lógicamente, entre ellas figuran algunas de las ciudades más congestionadas como Bucarest, Moscú o Cracovia (ver Figura 6). En

²⁹Según los datos de Xavier Querol, profesor de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA). Ver noticia aquí: https://elpais.com/economia/2017/01/17/actualidad/1484657100_216294.html

³⁰ <http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat/es/noticia/sabzas-que-barcelona-es-la-ciudad-de-europa-con-mayor-densidad-de-vehiculos>

³¹ Más detalles en el Apartado 1.1.b.

lo que se refiere a ciudades españolas, Madrid se comporta relativamente bien ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque el valor promedio anual que se observa en la figura puede esconder puntas de contaminación considerablemente más elevadas. Barcelona se encuentra en una posición relativa intermedia ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pero no hay que olvidar que presenta un registro negativo sin paliativos que excede claramente los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En cuanto a las ciudades medianas, los datos de nuevo revelan una situación preocupante con una gran mayoría de las ciudades superando el umbral de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La observación de las ciudades españolas revela un mejor comportamiento relativo de Valencia ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) frente a un peor comportamiento de Sevilla ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Es sorprendente el alto valor registrado en Sevilla (que supera el de Barcelona), aunque podría estar explicado parcialmente por episodios de polvo sahariano que tienen lugar durante el verano y afectan al sur de la península ibérica.

En lo que se refiere al caso español, hay dos factores que contribuyen especialmente a la polución: *i*) la predominancia del combustible diésel (que es el más contaminante), y *ii*) la antigüedad del parque de vehículos (a mayor antigüedad, mayor contaminación): alrededor del 60% de coches en España tiene más de 10 años (datos de 2016), en comparación con el 50% de Italia, el 42% de Francia o el 35% del Reino Unido. En España, la crisis económica ha elevado la edad media del parque de turismos a 12 años (en 2007 era de 8 años). Además, 1 de cada 6 vehículos tiene más de 20 años, algo más del 15% del parque que supone entre el 30% y el 50% de las emisiones (AOP, 2017).

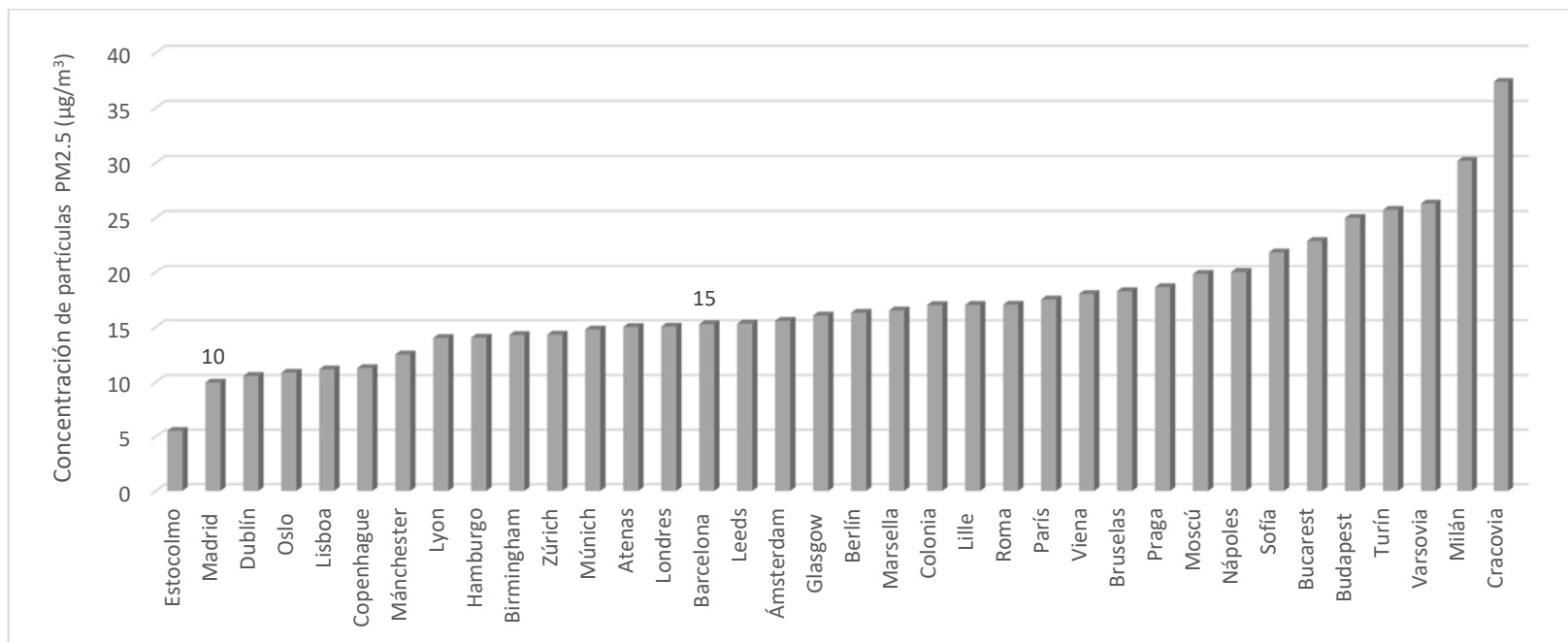


Figura 9: Polución medida en PM2.5 en grandes ciudades europeas (> 1.000.000 habitantes).

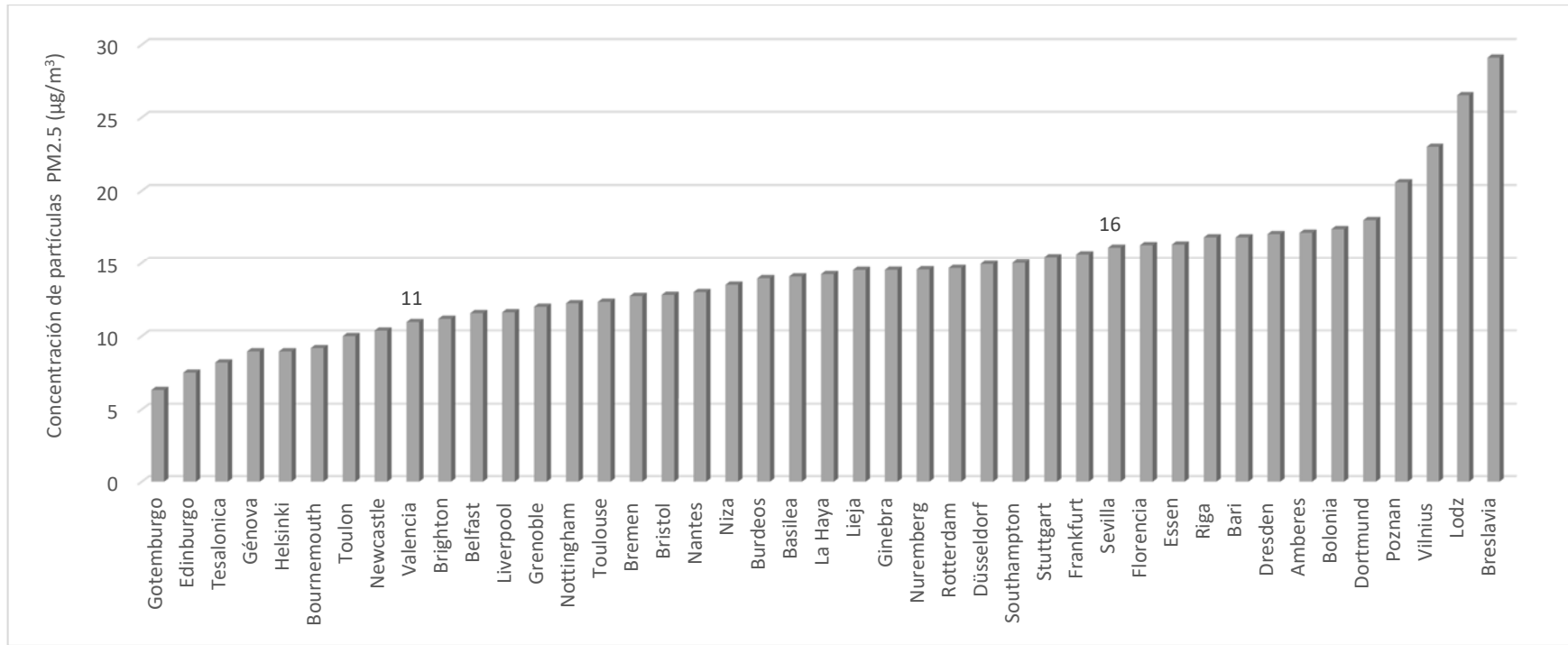


Figura 10: Polución medida en PM2.5 en ciudades europeas medianas (500.000 - 1.000.000 habitantes).

4.4. Análisis de políticas para mitigar la congestión y la contaminación

La Tabla 6 que se proporciona a continuación, presenta una revisión de las principales políticas llevadas a cabo en Europa con el propósito de mitigar los problemas de congestión viaria y contaminación en núcleos urbanos.

Ciudades	Políticas
Londres, Estocolmo, Milán, Gotemburgo, Oslo, Palermo	Peajes de congestión
Ámsterdam, Amberes, Atenas, Berlín, Bremen, Bruselas, Colonia, Copenhague, Düsseldorf, Fráncfort, Lisboa, Essen, Dortmund, La Haya, París, Róterdam, Stuttgart, Génova, Nápoles, Roma, Turín	Zonas de baja emisión
Bucarest, Budapest, Dresde, Dublín, Poznan, Sofía, Varsovia, Breslavia, Helsinki, Riga, Leipzig, Múnich, Rotterdam, Stuttgart, Londres, Estocolmo, Praga, Viena, Madrid	Zonas restringidas para vehículos pesados
Grenoble, Lyon, Toulouse, Barcelona, Florencia, Bolonia	Zonas de baja emisión (planes de emergencia)
Madrid, Lyon	Restricciones según número matrícula (planes de emergencia)

Tabla 6: Políticas aplicadas para mitigar la congestión y la contaminación.

Podemos colegir que existe una cierta variedad en la gama de políticas que están siendo aplicadas, aunque destacan claramente las zonas de baja emisión (ya sean generalizadas o sólo aplicables en caso de emergencia). De hecho, muchas de las ciudades analizadas tienen zonas de baja emisión. Queda claro que predominan las medidas cuyo objetivo principal consiste en la reducción de la contaminación (zonas de baja emisión, zonas restringidas para vehículos pesados y restricciones según el número de matrícula) frente a aquéllas que pretenden reducir los atascos (peajes de congestión). En consecuencia, prevalecen las políticas centradas en la restricción de la circulación vía cantidades (ver Apartado 3.2) en detrimento de las medidas vía precios (ver Apartado 3.1).

En conclusión, la simple observación de las prácticas actuales, nos indica que la preocupación de las autoridades locales europeas por la contaminación atmosférica parece mucho más importante que la voluntad de reducir los atascos. Cabe señalar que existe una relación evidente entre congestión y contaminación y que una política diseñada para la reducción de la polución

(como las zonas de baja emisión) podría no contribuir de forma efectiva a la reducción de la congestión viaria. En este sentido, la reacción de los conductores puede ser diferente según la política que se lleve a cabo. A continuación, analizamos algunos de estos aspectos en mayor detalle.

La Tabla 7 presenta un análisis simple de correlación para determinar si los problemas de congestión y contaminación son más acusados en las ciudades europeas que han implementado alguna(s) de las políticas anteriormente mencionadas. De la misma forma, también se tienen en cuenta las características socio-económicas (población, renta per cápita, densidad de población) de las ciudades consideradas. La muestra considerada es la misma que la utilizada en los Apartados 4.2 y 4.3.

El análisis de correlación se centra en las políticas que se aplican de forma permanente. Por tanto, quedan excluidas las políticas que sólo se aplican en días de elevada contaminación, como es el caso de la restricción de circulación en días específicos en función del último dígito de la matrícula del coche que se aplica en ciudades como Madrid. Dichas restricciones esporádicas se aplican en un número muy reducido de días al año y, por tanto, no es esperable que tengan ningún efecto en datos que son un agregado anual.

Variables	<i>Congestión</i>	<i>Contaminación (PM10)</i>	<i>Contaminación (PM2.5)</i>
<i>Población</i>	0.26	0.08	0.08
<i>Congestión media</i>	-	0.16	0.16
<i>Renta per cápita</i>	0.008	-0.12	-0.12
<i>Densidad de población</i>	0.06	0.09	0.09
<i>Zonas de baja emisión</i>	-0.01	0.24	0.21
<i>Zonas restringidas (vehículos pesados)</i>	0.09	0.20	0.18
<i>Peajes</i>	0.10	0.04	0.04
<i>Observaciones</i>	82	75	75

Tabla 7: Correlación entre congestión/contaminación y políticas/características de ciudades.

En cuanto a la congestión (segunda columna de la tabla), se constata que las ciudades más pobladas sufren más severamente los problemas derivados de la congestión viaria. Las correlaciones entre congestión y otras características de las ciudades (densidad de población, renta per cápita) son relativamente bajas. Por otro lado, se observa una correlación modesta entre niveles de congestión y la aplicación de peajes.

En lo que se refiere a la contaminación (tercera y cuarta columnas de la tabla), observamos que ciudades más pobladas y (sobretudo) congestionadas están expuestas a mayores niveles de polución. Esto sugiere que la mitigación de la congestión en grandes ciudades podría contribuir de forma efectiva a la reducción de emisiones contaminantes. Asimismo, observamos una menor contaminación en ciudades con mayor renta per cápita, lo cual puede estar causado por la existencia de una flota de vehículos más nuevos y, por tanto, más “limpios” o también por una mayor grado de concienciación ambiental.

En lo que se refiere a políticas implementadas para reducir la polución, constatamos una correlación relevante entre los niveles de contaminación (tanto PM10 como PM2.5) y el establecimiento de zonas de baja emisión. Por tanto, se deduce que las ciudades europeas más contaminadas están optando por las zonas de baja emisión. Parte de la explicación puede proceder del considerable impulso por parte de la Unión Europea en la reducción de la contaminación atmosférica.³² Dicho impulso ha venido acompañado del lanzamiento de “normas euro” para clasificar y etiquetar los automóviles según su grado de contaminación,³³ que en España se realiza a través de los distintivos ambientales de la Dirección General de Tráfico.³⁴

En suma, podemos concluir que el grave problema de la contaminación atmosférica en Europa suscita una cierta preocupación en las autoridades municipales competentes. Finalmente, podemos confirmar que las zonas de baja emisión son las políticas preferidas por los actores políticos competentes.

En lo que se refiere a las ciudades españolas, sólo Barcelona ha implementado una zona de baja emisión para abordar el problema de la polución. De momento, la zona de baja emisión se aplica en casos de emergencia. No obstante, se prevé una aplicación progresiva hasta su establecimiento permanente en 2020.³⁵ Sobre las restricciones basadas en el número de matrícula aplicadas en Madrid, merece la pena destacar que es una práctica poco frecuente en Europa (sí que es lo es en América Latina). En lo que se refiere a su efectividad, sobre todo a largo plazo, es cuanto menos cuestionable dado que genera incentivos a la compra de automóviles adicionales para sortear las restricciones (sobre de todo coches de segunda mano que típicamente son más contaminantes).³⁶

³² Especialmente la Directiva 1999/30/EC (más información en el Apartado 3.2.b).

³³ <http://es.urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main>

³⁴ <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/distintivo-ambiental/>

³⁵ <http://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/es/zona-de-bajas-emisiones>

³⁶ Más información en el Apartado 3.2.a.

5. Conclusiones generales y propuesta de un peaje de congestión para Madrid y Barcelona

En este trabajo hemos analizado el problema de los atascos (problema de pérdida de tiempo) y contaminación (problema de salud pública) asociados al uso del vehículo particular en los accesos a grandes ciudades. Después de presentar los fundamentos económicos del fenómeno, hemos revisado las experiencias existentes en lo que se refiere a políticas restrictivas vía precios (peajes de congestión) y vía cantidades. Finalmente, analizamos con mayor detalle el caso de las ciudades europeas.

5.1. Conclusiones generales

Estas conclusiones se derivan de la extensiva revisión de la literatura llevada a cabo, así como del análisis de datos relativo a ciudades europeas.

a) Revisión de la literatura

Sobre el problema de los atascos, la teoría económica muestra que la fijación de precios induce un uso más eficiente de las infraestructuras existentes. La aplicación de un peaje barato en horas punta puede ser suficiente para provocar una reducción de tráfico que mitigue la formación de atascos. De esta forma, se consigue que paguen los usuarios que más la valoran el uso de la infraestructura. En cambio, los potenciales conductores que menos valoran viajar a esas horas, pueden racionalizar sus viajes o reubicarlos en horas valle. Además, los posibles efectos regresivos derivados de la aplicación de una tarifa uniforme, se pueden aliviar con la reinversión del importe recaudado en la mejora del transporte público o en otros servicios públicos.

La evidencia empírica en la literatura previa sugiere que el establecimiento de peajes urbanos es una política eficaz en la medida que suele venir asociada a una fuerte reducción del tráfico viario en las zonas restringidas y, en consecuencia, a una disminución de la congestión y de la emisión de contaminantes. Además, el apoyo público y político a los peajes urbanos aumenta después de su implementación. Finalmente, no parece que los peajes urbanos sean una política necesariamente regresiva.

Por otro lado, hemos analizado la literatura relativa a las dos políticas más relevantes basadas en la restricción de cantidades para reducir la contaminación en grandes ciudades: las políticas que prohíben la circulación en toda la ciudad (normalmente en días específicos) de algunos vehículos en función del último dígito de la matrícula y las zonas de baja emisión que implican la prohibición de circular en determinadas zonas geográficas de una área metropolitana a vehículos muy contaminantes. Existe un consenso en que ambas políticas son ineficientes dado que reducen la demanda independientemente de la disposición a pagar por conducir. Por otro lado, la evidencia empírica no es clara respecto a la efectividad de las restricciones de entrada en días alternativos.

Sí que lo es respecto a las zonas de baja emisión, aunque el único caso estudiado con detalle es el de las ciudades alemanas, que no tiene por qué ser generalizable a ciudades de otros países. Lo que parece claro es que son medidas que pueden tener efectos regresivos por perjudicar a los conductores de menor nivel de renta que son propietarios de los coches más antiguos (y, por tanto, más contaminantes) y no tienen la opción de comprar un nuevo vehículo.

También constatamos que existen otras medidas de restricción de la demanda como poner límites de velocidad en las vías rápidas de entrada a la ciudad o establecer restricciones al estacionamiento de vehículos que pueden considerarse como medidas más suaves de restricción de la demanda. Por otro lado, existen actuaciones que pueden ser efectivas para reducir la contaminación como son posibles actuaciones para promover la renovación de la flota, o la fiscalidad sobre los combustibles. Sin poner en cuestión la posible utilidad de todas estas medidas, aquí hemos centrado la atención en las medidas de restricción de la movilidad en coche que pueden considerarse más severas.

b) Análisis de ciudades europeas

Teniendo en cuenta esto, hemos analizado la magnitud del problema de la congestión y contaminación en ciudades europeas. Los datos muestran que la situación actual es grave en ambas dimensiones para la mayoría de las ciudades analizadas. Por otro lado, hemos identificado dónde se aplican las políticas restrictivas, ya sea vía precios y/o vía cantidades. Pese a las ventajas que le reconoce la literatura empírica y teórica, muy pocas ciudades aplican peajes de congestión. Sobre el problema de la contaminación atmosférica, las zonas de baja emisión parecen ser la medida adoptada de forma más generalizada en las ciudades europeas, en buena parte en respuesta a la normativa de la Unión Europea que establece una serie de planes de acción para las ciudades contaminantes que pueden acabar traducéndose en importantes multas económicas en caso de infracción.

Finalmente, analizamos si los problemas de congestión y contaminación son más acusados en ciudades europeas que han implementado alguna(s) de las políticas anteriormente mencionadas. De dicho análisis podemos concluir que el problema parece no estar controlado y tiene visos de agravarse en el futuro próximo. En lo que se refiere a los atascos, no parece que haya una respuesta clara por parte de las autoridades municipales competentes, mientras que la contaminación atmosférica sí que está encontrando una cierta respuesta a través del establecimiento de zonas de baja emisión.

5.2. Propuesta de peaje de congestión para Madrid y Barcelona

Por todo lo analizado, proponemos el establecimiento de un peaje de congestión en ciudades como Madrid y Barcelona, ya que es la medida más eficiente y eficaz para combatir conjuntamente los problemas de atascos y contaminación atmosférica en el acceso a grandes ciudades. Nuestra propuesta se sintetiza en el cuadro que se propone a continuación.

PROPUESTA DE UN PEAJE DE CONGESTIÓN PARA MADRID Y BARCELONA

1. Diagnóstico

Los atascos y la contaminación atmosférica asociados al uso del vehículo particular en los accesos a grandes ciudades son extraordinariamente graves.

1.1. Atascos. Las pérdidas de tiempo se cuantifican en 119 horas al volante en Barcelona (equivalentes a 14 días laborables) y 105 en Madrid. Este tiempo se traduce en un coste económico enorme de 175,5 millones de euros en Barcelona y 187,5 millones de euros en la capital española. Para el conjunto de empresas españolas, la pérdida asociada a los atascos supera los 840 millones de euros al año (datos de 2016).

1.2. Contaminación atmosférica. Las emisiones contaminantes provocan la muerte de 3,3 millones de personas al año en el mundo (más que el SIDA, la malaria y la gripe juntas) y el tráfico es una de sus principales causas. En España, 31.520 mueren anualmente debido a la contaminación atmosférica según la Agencia Europea del Medio Ambiente.

Nuestros datos sugieren que estos dos problemas están fuera de control y tienen visos de agravarse en el futuro próximo.

Madrid y Barcelona han aplicado algunas medidas restrictivas de tráfico vía cantidades. En casos de contaminación grave, Madrid dispone de un sistema de restricciones basadas en el número de matrícula (además de limitaciones de velocidad y aparcamiento). Por su lado, Barcelona ha implementado una zona de baja emisión aplicable en casos de emergencia que restringe el acceso a los núcleos urbanos de los vehículos más contaminantes. En la práctica, dichas actuaciones se han hecho efectivas muy pocas veces, aunque se espera que vaya endureciéndose su aplicación en los próximos años con el propósito de que sus efectos no sean tan limitados. En Barcelona, se prevé una aplicación progresiva de la zona de baja emisión hasta su establecimiento permanente en 2020. En cualquier caso, estas medidas tienen por objetivo exclusivo la reducción de la contaminación, por lo que ignoran el problema de los atascos. Además, presentan una serie de desventajas que se exponen un poco más adelante.

2. Análisis de las principales medidas para combatir estos problemas

Existen tres medidas principales para afrontar estos problemas: las inversiones en infraestructuras, las restricciones vía cantidades y las restricciones vía precios.

2.1. Inversiones en mejorar las infraestructuras. Estas inversiones sólo intentan resolver el problema de los atascos (y no la contaminación). Además, en núcleos urbanos con infraestructuras maduras, las inversiones destinadas a la mejora de la oferta implican costes muy elevados y una baja rentabilidad social, dada su *eficacia incierta* y sus *posibles efectos regresivos*.

- *Eficacia incierta.* La nueva oferta de carreteras puede generar demanda adicional como respuesta a la reducción del coste generalizado del viaje, por lo que las inversiones pueden resultar finalmente poco (o nada) eficaces, contribuyendo a perpetuar el problema de la congestión.

- *Posibles efectos regresivos.* Estas inversiones se financian en parte con impuestos de base amplia (IVA e IRPF) que no tienen un efecto global progresivo. Además, el coste de oportunidad asociado a las mismas es muy importante, ya que retraen cuantiosos recursos de otras posibles partidas de gasto claramente progresivas y redistributivas, tales como las destinadas a Educación, Sanidad o políticas sociales (cabe recordar que la redistribución de la renta en España tiene lugar fundamentalmente a través del gasto público).

2.2. Restricciones vía cantidades. Las dos medidas más importantes en esta categoría son las basadas en el número de matrícula y las zonas de baja emisión (que restringen el acceso a los núcleos urbanos de los vehículos más contaminantes). Estas medidas son generalmente ineficientes, ineficaces a medio plazo y regresivas.

- *Ineficientes.* Son indiscriminadas ya que no tienen en cuenta las valoraciones de los usuarios. Conductores con una gran necesidad de acceder al centro de la ciudad son expulsados.

- *Ineficaces a medio plazo.* Por un lado, las restricciones basadas en el número de matrícula generan incentivos en los usuarios a comprar nuevos vehículos para sortear dicha regulación. El resultado es una mayor demanda al cabo de un tiempo que restaura la congestión con los consecuentes atascos y contaminación atmosférica (especialmente si los coches adquiridos son de segunda mano y, por tanto, más antiguos y contaminantes). Por otro lado, las zonas de baja emisión pierden progresivamente su eficacia en cuanto a prevención de los atascos a medida que se renueva la flota de coches por otros menos contaminantes (aunque pueden ser eficaces en cuanto a la reducción de la polución).

- *Regresivas.* En cuanto a las restricciones basadas en el número de matrícula, parece claro que la posibilidad de sortear la medida a través de la adquisición de un nuevo vehículo está sólo al alcance de las familias con mayor nivel de renta. En cuanto a las zonas de baja emisión, restringen el acceso a los núcleos urbanos de los vehículos más contaminantes, que son los más antiguos. Obviamente, estos coches pertenecen a las familias con menor poder adquisitivo que difícilmente podrán afrontar la sustitución del vehículo actual por otro más “limpio”.

2.3. Restricciones vía precios: Los peajes de congestión. Si están bien diseñados, son eficientes, eficaces y no regresivos.

- *Eficientes.* Tienen la virtud de conseguir que aquellos usuarios que valoran más la infraestructura sean precisamente los que la acaben utilizando. Los conductores que tienen verdadera necesidad de acceder a las ciudades en horas punta, lo hacen en unas condiciones óptimas sin congestión. De la misma forma, los que valoran menos el uso de la infraestructura, adaptan sus decisiones de viaje (racionalizando sus viajes o reubicándolos en horas valle), de forma que evitan sufrir la congestión y descongestionan la vía.

- *Eficaces.* El establecimiento de un importe adecuado tiene la capacidad de reducir el tráfico en la proporción necesaria para eliminar el exceso de tráfico provocado por los atascos. El comportamiento exponencial de la congestión viaria hace que una reducción moderada de tráfico (que puede ser conseguida con peajes bajos) pueda resolver completamente el problema. Obviamente, la desaparición de los atascos implica una menor contaminación y ruido asociados a la circulación dilatada y alargada en marchas cortas.

- *No regresivos si están bien diseñados e implementados.* Los peajes de congestión podrían ser considerados como regresivos al no tener en cuenta la renta de los conductores que los terminan pagando. Ante esta crítica razonable, cabe considerar los siguientes argumentos.

♦ *Importe bajo.* El importe de los peajes suele ser bajo, con lo que el potencial efecto regresivo también lo es. Por ejemplo, en Estocolmo, el importe de los peajes oscila entre 1€ y 2€. Este coste es prácticamente irrelevante si lo comparamos, por ejemplo, con el impuesto sobre hidrocarburos que pagan irremediamente todos los conductores al repostar en las estaciones de servicio (que representan más del 50% del precio final del carburante) y que tienen un relevante

efecto regresivo. Las experiencias existentes demuestran que, pese a representar un sobrecoste bajo, los peajes de congestión pueden ser muy eficaces. Además, si tenemos en cuenta el ahorro de carburante resultante de la eliminación de los atascos, el peaje podría incluso tener un efecto neto positivo sobre el gasto de los conductores (incluso sin tener en cuenta el importante ahorro de tiempo).

♦ *Generan recursos.* Los peajes de congestión generan ingresos adicionales que pueden ser destinados a la mejora del transporte público o a otras políticas sociales progresivas. Incluso se podría destinar la recaudación a reducir el impuesto sobre hidrocarburos de forma que los conductores resultaran perfectamente compensados. No obstante, la aplicabilidad de medida es complicada dado que las entidades fiscales que recaudan y gestionan estos impuestos pertenecen a ámbitos territoriales diferentes (local en el caso de los peajes de congestión y estatal en el caso de los impuestos sobre hidrocarburos). Además, la aplicación de esta reducción del impuesto sobre hidrocarburos contribuiría a perpetuar un sistema que es claramente regresivo. Por todo ello, parece una mejor alternativa destinar estos ingresos adicionales a medidas claramente progresivas.

♦ *Aceptados socialmente a medio plazo.* La implantación de un sistema de peajes puede resultar impopular a corto plazo al hacer pagar a los consumidores por algo que antes era gratis. Además, los peajes pueden ser tildados de recaudatorios. En cambio, las experiencias internacionales demuestran que pueden acabar gozando de una gran aceptación a medio plazo, una vez que la población experimenta sus efectos positivos. En el caso de Estocolmo, el apoyo social a los peajes de congestión pasó del 30% antes de la aplicación a un 70% un año después de ponerlos en funcionamiento. Aunque parezca sorprendente, los conductores se mostraron mayoritariamente de acuerdo en pagar por algo que anteriormente era gratis. En cualquier caso, parece evidente que este tipo de medidas requiere de una cierta valentía política, que tiene una mayor probabilidad de materializarse si las autoridades competentes comprenden el trasfondo económico de la congestión viaria y observan las experiencias internacionales exitosas. No es necesario inventar nada nuevo, basta con observar y adaptar las medidas que ya funcionan en otros lugares. La inacción que consiste en perpetuar un statu-quo ineficiente puede acabar implicando grandes pérdidas sociales.

3. Propuesta de peaje de congestión para Madrid y Barcelona

Como consecuencia del anterior análisis, proponemos un replanteamiento de las medidas restrictivas de tráfico vía cantidades que se están aplicando en Madrid y Barcelona y el establecimiento de un peaje de congestión que regule el acceso al centro de las ciudades en horas punta.

Este sistema tiene la capacidad de acabar definitiva y permanentemente con los atascos. El efecto de la ausencia de atascos sobre la contaminación atmosférica también sería rápidamente apreciable. Además, los peajes de congestión son fáciles de diseñar e implementar y producen resultados inmediatos a la vez que genera recursos adicionales.

La regla para determinar el importe óptimo del peaje de congestión es sencilla: debe ser aquel que elimine la congestión. Sugerimos fijar un impuesto muy bajo en una fase de prueba y evaluar cuál es el efecto de la reducción de tráfico sobre la congestión viaria. A partir de aquí, se puede ir ajustando el importe si es necesario hasta conseguir un tráfico fluido de acceso al centro de las ciudades. Insistimos en que el comportamiento exponencial de la congestión viaria permite que importes bajos reduzcan la congestión sustancialmente.

El objetivo principal de los peajes de congestión es resolver el problema de los atascos, mientras que el objetivo de reducción de la contaminación atmosférica se consigue como consecuencia del anterior. Por tanto, podría ser que eliminar los atascos no fuera suficiente para reducir las emisiones hasta alcanzar niveles aceptables. En ese caso, sería recomendable combinar la implementación de los peajes de congestión con otro tipo de medidas centradas en la reducción

de la polución que no interfirieran con los peajes aplicados, como los incentivos a la compra de vehículos limpios o el fomento de la economía colaborativa en cuanto a movilidad.

6. Referencias

- Andersson, D., Nässén, J. (2016). The Gothenburg congestion charge scheme: A pre-post analysis of commuting behavior and travel satisfaction. *Journal of Transport Geography* 52, 82-89.
- AOP (2017). Propuestas de la Asociación Española de Productores de Productos Petrolíferos (AOP) para mejorar la calidad del aire en las ciudades, Febrero de 2017.
- Beria, P. (2015). Effectiveness and monetary impact of Milan's road charge, one year after implementation. *International Journal of Sustainable Transportation* 10, 657-669.
- Börjesson, M., Kristoffersson, I. (2015). The Gothenburg congestion charge: Effects, design and politics. *Transportation Research Part A* 75, 134-146.
- Börjesson, M., Brundell-Freij, K., Eliasson, J. (2014). Not invented here: Transferability of congestion charges effects. *Transport Policy* 36, 263-271.
- Börjesson, M., Eliasson, J., Hamilton, C. (2016). Why experience changes attitudes to congestion pricing: The case of Gothenburg. *Transportation Research Part A* 85, 1-16.
- Börjesson, M., Eliasson, J., Hugosson, M.B., Brundell-Freij, K. (2012). The Stockholm congestion charges-5 years on. Effects, acceptability and lessons learnt. *Transport Policy* 20, 1-12.
- Cantillo, V., Ortúzar, J. (2014). Restricting the use of cars by license plate numbers: A misguided urban transport policy. *DYNA* 81, 75-82.
- Davis, L. (2008). The effect of driving restrictions on air quality in Mexico City. *Journal of Political Economy* 116, 38-81.
- De Grange, L., Troncoso, R. (2011). Impacts of vehicle restrictions on urban transport flows: The case of Santiago, Chile. *Transport Policy* 18, 862-869.
- Duranton, G., Turner M.A. (2011). The fundamental law of road congestion: Evidence from US cities. *American Economic Review* 101, 2616-2652.
- Eliasson, J. (2008). Lessons from the Stockholm congestion charging trial. *Transport Policy* 15, 395-404.
- Eliasson, J. (2009). A cost-benefit analysis of the Stockholm congestion charging system. *Transportation Research Part A* 43, 468-480.
- Eliasson, J., Mattsson, L.G. (2006). Equity effects of congestion pricing. Quantitative methodology and a case study for Stockholm. *Transportation Research Part A*, 40, 602-620.
- Eliasson, J., Hultkrantz, L., Nerhagen, L., Rosqvist, L.S. (2009). The Stockholm congestion-charging trial 2006: Overview of effects. *Transportation Research Part A* 43, 240-250.
- Gallego, F., Montero, J.-P., Salas, C. (2013). The effect of transport policies on car use: Evidence from Latin American cities. *Journal of Public Economics* 107, 47-62.
- Gibson, M., Carnovale, M. (2015). The effects of road pricing on driver behavior and air pollution, *Journal of Urban Economics*, 89, 62-73
- Givoni, M. (2012). Re-assessing the results of the London Congestion Charging Scheme. *Urban Studies* 49, 1089-1105.

- Green, C. P., Heywood, J. S., Navarro, M. (2016). Traffic accidents and the London congestion charge. *Journal of Public Economics* 133, 11-22.
- Gu, Y., Deakin, E., Long, L. (2017). The effects of driving restrictions on travel behavior evidence from Beijing. *Journal of Urban Economics* 102, 106-122.
- Ieromonachou, P., Potter, S., Warren, J.P. (2006). Norway's urban toll rings: Evolving towards congestion charging? *Transport Policy* 13, 367-378.
- Larsen, O.I., Østmoe, K. (2001). The experience of urban toll cordons in Norway: Lessons for the future. *Journal of Transport Economics and Policy* 35, 457-471.
- Leape, J. (2006). The London congestion charge. *The Journal of Economic Perspectives* 20, 157-176.
- Mackie, P. (2005). The London congestion charge: A tentative economic appraisal. A comment on the paper by Prud'homme and Bocajero. *Transport Policy* 12, 288-290.
- Lindsey R., Verhoef, E. (2001). Traffic congestion and congestion pricing. In: Hensher, D.A. and Button, K.J. eds., *Handbook of Transport Systems and Traffic Control*, Pergamon, Oxford, 77-105.
- Malina, C., Scheffler, F. (2015). The impact of Low Emission Zones on particulate matter concentration and public health. *Transportation Research Part A* 77, 372-385.
- Menon, A. (2000). ERP in Singapore - A perspective one year on. *Traffic Engineering and Control* 41, 40-45.
- Odeck, J., Bråthen S. (2002). Toll financing in Norway: The success, the failures and perspectives for the future. *Transport Policy* 9, 253-260
- OECD (2007). Managing urban traffic congestion. Report of the Transport Research Centre elaborated after the European Conference of Ministers of Transport (ECMT).
- OMS (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.
- Olszewski, P., Xie, L. (2005). Modelling the effects of road pricing on traffic in Singapore. *Transportation Research Part A* 39, 755-772.
- Phang, S.Y., Toh, R.S. (1997). From manual to electronic road congestion pricing: The Singapore experience and experiment. *Transportation Research Part E* 33, 97-106.
- Percoco, M. (2013). Is road pricing effective in abating pollution? Evidence from Milan. *Transportation Research Part D* 25, 112-118.
- Rotaris, L., Danielis, R., Marcucci, E., Massiani, J. (2010). The urban road pricing scheme to curb pollution in Milan, Italy: Description, impacts and preliminary cost-benefit analysis assessment. *Transportation Research Part A* 44, 359-375.
- Santos, G. (2005). Urban congestion charging: A comparison between London and Singapore. *Transport Reviews* 25, 511-534.
- Santos, G. (2008). London congestion charging. *Brookings-Wharton Papers on Urban Affairs*, 177-234.
- Santos, G., Fraser, G. (2006). Road pricing: Lesson from London. *Economic Policy* 21, 263-310.

- Santos, G., Li, W.W., Koh, W.T.H. (2004). Transport policies in Singapore. *Research in Transportation Economics* 9, 209-235.
- Thomson, I., Bull, A., 2002. La congestión del tránsito urbano: Causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista de la CEPAL* 76, 109-121.
- Viard, B.V., Fu, S. (2005). The effect of Beijing's driving restrictions on pollution and economic activity. *Journal of Public Economics* 125, 98-115.
- Willoughby, C. (2000). Singapore's experience in managing motorization and its relevance to other countries. Discussion Paper TWU-43, TWU Series, The World Bank April. http://www.worldbank.org/transport/publicat/twu_43.pdf.
- Wolff, H. (2014). Keep your clunker in the suburb: Low-emission zones and adoption of green vehicles. *The Economic Journal* 124, 481-512.