

GRADO EN ECONOMÍA
CURSO ACADÉMICO 2024-2025

TRABAJO FIN DE GRADO

**PREFERENCIAS SOCIALES Y POLÍTICAS DE
TRANSPORTE URBANO**

**SOCIAL PREFERENCES AND URBAN TRANSPORT
POLICIES**

AUTOR: DIEGO AGUDO ARROYO

DIRECTOR: RAMÓN NÚÑEZ SÁNCHEZ

CONVOCATORIA DE DEFENSA: FEBRERO, 2025

La persona que ha elaborado el TFG que se presenta es la única responsable de su contenido. La Universidad de Cantabria, así como quien ha ejercido su dirección, no son responsables del contenido último de este Trabajo.

1. De la **AUTORÍA Y ORIGINALIDAD** del trabajo que se presenta.
2. De que los **DATOS y PUBLICACIONES** en los que se basa la información contenida en el trabajo, o que han tenido una influencia relevante en el mismo, han sido citados en el texto y en la lista de referencias bibliográficas.

Fdo.:

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 POLÍTICAS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	5
2.1 POLITICAS EN LA UNIÓN EUROPEA.....	5
2.2 POLITICAS EN ESPAÑA.....	7
3 ANALISIS CIUDADES EUROPEAS.....	9
3.1 PEAJES URBANOS.....	9
3.1.1 Londres.....	9
3.1.2 Estocolmo.....	11
3.1.3 Milán.....	13
3.1 ZONAS DE BAJAS EMISIONES.....	14
3.2.1 Berlín.....	14
3.2.2 Ámsterdam.....	16
3.2.3 Madrid.....	17
4 MODELOS TEÓRICOS.....	19
4.1 MODELO DE UN MODO.....	19
4.2 MODELO DE DOS MODOS.....	22
4.3 MODELO PARA COMPARAR LOS PEAJES URBANOS Y LAS ZBE.....	24
4.3.1 Situación 1 donde la contaminación es más grave que la congestión.....	26
4.3.2 Situación 2 donde la congestión es más grave que la contaminación.....	27
5 CONCLUSIÓN.....	28
6 BIBLIOGRAFÍA.....	30

RESUMEN

A pesar de que haya indicios de que los peajes urbanos son más efectivas a la hora de reducir externalidades urbanas, las Zonas de Bajas Emisiones son más populares en Europa. Por eso este trabajo va a tratar de explicar esa mayor popularidad. Para ello se van a resumir las políticas frente al cambio climático tanto europeas como nacionales, además de analizar los resultados de algunas ciudades europeas que han implementado alguna de esas políticas. Por último, se resumirán unos modelos teóricos básicos para ver por qué las Zonas de Bajas Emisiones tienen mayor aceptación por parte de la sociedad. Tras el análisis de los puntos anterior se puede decir que esto se debe principalmente a una mayor facilidad de implementación (de las ZBE) y el creciente compromiso de la Unión Europea frente al cambio climático en este siglo.

ABSTRACT

Although there is evidence that urban tolls are more effective at reducing urban externalities, low-emission zones are more popular in Europe. This paper aims to explain this greater popularity. To do so, it will summarize both European and national climate change policies, analyze the outcomes in some European cities that have implemented these measures, and finally, review basic theoretical models to understand why low-emission zones enjoy greater acceptance from society. After analyzing the previous points, it can be said that this is mainly due to the greater ease of implementation (of LEZ) and the European Union's growing commitment to combating climate change in this century.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente en economía del transporte se está haciendo mucho énfasis en estudiar las externalidades urbanas negativas generadas principalmente por el uso excesivo de vehículos privados dentro de las ciudades. Dentro de estas externalidades podemos encontrar varios ejemplos como, por ejemplo, el ruido que producen los coches (contaminación acústica) o los accidentes que pueden suponer vidas humanas. Aunque sin duda las dos externalidades más importantes son primero la contaminación atmosférica, que ya es un problema muy mediático a nivel mundial por el eco que está haciendo el cambio climático. Este es un problema muy serio no solo por el cambio climático sino también porque afecta directamente a la salud pública, por ejemplo, está causando que aumente el número de muertes prematuras. La segunda externalidad, también muy importante, aunque no tan popular entre las personas es la congestión. Esta se da cuando la oferta o dicho de otra forma la infraestructura, no es capaz de hacer frente a la demanda especialmente en horas punta como la primera hora de la mañana o la última de la tarde (cuando va la gente a trabajar). La congestión es sinónimo de grandes atascos principalmente en las grandes ciudades, con consecuencias muy negativas para sus habitantes. Primero de todo desde un punto de vista económico, al estar las calles de las ciudades bloqueadas, va a significar una pérdida considerable de tiempo para los ciudadanos ya que ese tiempo lo podrían emplear tanto en trabajar como en ocio. Esta pérdida de tiempo también afecta a las empresas. TomTom elaboró un informe con datos del año 2016 sobre la congestión llegando a la conclusión de que por ejemplo en Madrid y Barcelona se pierda un 25% y un 31% respectivamente de tiempo al volante por la presencia de atascos, lo cual equivale a unos 180 millones de euros más o menos. Además de la pérdida de tiempo durante los atascos, la congestión también está directamente relacionada con la contaminación atmosférica ya que durante los atascos los vehículos usan marchas cortas que provoca que aumenten las emisiones de gases efecto invernadero (Fageda y Flores-Fillol 2018)

Figura 1.1: Congestión y contaminación en principales capitales europeas más Barcelona

Ciudad	Congestión	Variación interanual	Hora punta mañana	Hora punta tarde	PM2.5 (media anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bucarest	50%	+7%	90%	98%	23
Moscú	44%	0%	71%	94%	20
Londres	40%	+2%	64%	68%	15
Roma	40%	+2%	74%	68%	17
París	38%	+2%	68%	66%	18
Bruselas	38%	+3%	71%	77%	18
Atenas	37%	+1%	58%	56%	15
Varsovia	37%	-1%	65%	72%	26
Viena	31%	+3%	46%	54%	18
Barcelona	31%	+3%	51%	52%	15
Oslo	30%	+5%	57%	69%	11
Sofía	29%	--	58%	66%	22
Berlín	29%	+1%	43%	50%	16
Estocolmo	28%	-1%	48%	61%	6
Praga	28%	+1%	54%	46%	19
Madrid	25%	+2%	48%	43%	10
Ámsterdam	22%	+2%	35%	52%	16

PM2.5 significa la concentración partículas en suspensión con diámetro inferior o igual a 2,5 micrómetros.

Fuente: Fageda y Flores-Fillol 2018.

En la Figura 1.1, se puede ver cómo era la situación en 2018. Para corregirlo, la principal medida es la restricción vía cantidades o Zona de Bajas Emisiones, que básicamente consiste en zonas donde el acceso a determinados vehículos está restringido si superan cierto límite de emisiones de gases contaminantes (Sánchez 2019.). Esta medida es la más popular, actualmente se emplea en la mayoría de las ciudades de Europa, ya que es la más fácil de implementar además de que suele tener una buena aceptación social. Otra opción es restricción vía precios o peajes de congestión urbanos, que consiste en una tarifa que los usuarios deberán abonar si desean entrar a una determinada zona de la ciudad (Turró Calvet 2020). Esta política es menos popular que las Zonas de Bajas Emisiones pero que también hay ciudades como Londres, Estocolmo, Milán o Palermo que ya lo tienen implementado. Aunque las dos anteriores sean las políticas más populares, también puede haber otras posibilidades, como, por ejemplo, la inversión en infraestructuras, ya que una mejora en la oferta puede provocar que se incremente la demanda por la reducción de los costes de cada viaje. Pero la realidad de la inversión en infraestructura es que tiene unos costes demasiado altos, por lo cual esta medida resulta poco eficiente.

Por eso este trabajo tiene como objetivo principal tratar de analizar y entender cuál, de las dos principales medidas, vía precios o vía cantidades puede ser más eficiente en términos de reducir principalmente la congestión y las emisiones de gases contaminantes. Puede ser que haya situaciones donde puede ser preferida tanto una como la otra, la evidencia que se muestra posteriormente sugiere que en casos prácticos de ciudades europeas suele funcionar mejor una restricción vía cantidades porque las Zonas de Bajas Emisiones no suelen reducir el tráfico en todo la ciudad. Otro objetivo

será tratar de conocer porque si a priori un peaje de congestión urbano suele ser más eficiente porque la mayoría de las ciudades no optan por esta política .

Para ello el trabajo se va a realizar una revisión de la literatura de las contribuciones que han realizado múltiples autores sobre el tema, que se va a dividir en varios apartados, siendo el apartado 2 una explicación sobre la evolución en los últimos años sobre las políticas de mejora ambiental tanto a nivel de la Unión Europea como en nuestro país España. El apartado 3 donde se va a realizar un análisis sobre tres ciudades Europeas Londres, Estocolmo y Milán que implementaron un peaje y se comentaran sus resultados. Posteriormente se hará lo mismo para las ciudades de urbano Berlín, Ámsterdam y Madrid que implementaron una Zona de Bajas Emisiones, para ver qué política tuvo mejores resultados generales a la hora de reducir ambas externalidades. El apartado 4 comprenderá una explicación de varios modelos teóricos que trataran de explicar cómo funciona un peaje urbano y una Zona de Bajas Emisiones y ver cuál es la diferencia teórica entre ambas políticas. Con estos modelos podremos entender un poco porque las Zonas de Bajas Emisiones son mucho más preferidas por la población, lo cual provoca que sean más fáciles de implementar para un gobierno. Por último, el apartado 5 estará compuesto con las principales conclusiones de este trabajo, además de sus limitaciones.

2 POLÍTICAS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

En este apartado se va a tratar de explicar las principales políticas que están llevando a cabo tanto la UE en general, como en nuestro país en particular, ya que como se ha mencionado antes, la contaminación, que a su vez es la que genera el cambio climático, puede ser perfectamente la externalidad negativa más importante hoy tanto por su relevancia como por la popularidad que tiene a nivel mundial.

2.1 POLITICAS EN LA UNIÓN EUROPEA

Actualmente, uno de los mayores puntos de interés de la Unión Europea es tratar de reducir la contaminación atmosférica. En 2020, se registraron más de 200.000 muertes prematuras atribuidas al efecto de la contaminación atmosférica. Esto ocurrió a pesar de que la Unión Europea lleva implementando políticas cada vez más restrictivas, para reducir la contaminación, desde los años 80 (Unión Europea 2024). Sin duda el momento clave en el cual la Unión Europa paso de verdad a tener compromiso serio contra el cambio climático fue a partir de 1992 con el tratado de Maastricht donde por primera vez empezó a haber una política común por parte de los Estados (Solorio y Costa 2013). Ese mismo año, siguió una nueva regulación llamada EURO 1 para vehículos comerciales y ligeros y la EURO I para vehículos pesados que regulaban las emisiones de contaminantes tóxicos para la salud de monóxido de carbono, hidrocarburos, partículas finas y óxidos de nitrógenos. Estas normas se han ido reduciendo los limites aproximadamente cada cuatro años hasta llegar a la EURO 6 y

EURO VI en 2014. El CO₂, tiene una normativa diferente por ser considerado con potencial para incidir sobre el calentamiento global, empezando a tener importante relevancia a partir de 1998(Pérez 2018).

A pesar de las iniciativas para reducir las emisiones de gases a finales del siglo pasado, la realidad es que algunas de las primeras ciudades de la Unión Europea en tomar medidas como Londres en 2003 o Estocolmo en 2006 decidieron implementar peajes urbanos. Esto se debe porque todavía había problemas más importantes que combatir como puede ser reducir la congestión. A pesar de esto, también hay evidencia de que esta política reduce las emisiones de gases contaminantes en las ciudades, no solo reduce la congestión (Pozueta 2008). El siguiente hecho importante fue la directiva 2008/50/CE o directiva de calidad del aire, emitida en 2008 por el Parlamento Europeo y el consejo. Esta directiva siguió limitando las emisiones de algunos gases con riesgos nocivos para la salud y el medio ambiente. Sin duda un punto muy destacado es el hecho de obligar a los estados miembros a medir y evaluar la calidad del aire en aglomeraciones, que son zonas urbanas de más de 250.000 habitantes. Se dio libertad a los Estados Miembros para tomar decisiones en base a esta directiva y las Zonas de Bajas Emisiones fueron sugeridas como medida para reducir las emisiones de gases como consecuencia del transporte (Unión Europea 2008). Es a partir de este momento donde muchas ciudades importantes empezaron a tomar la decisión de implementar esta política y los peajes urbanos en Europa fueron dejados algo más de lado, ya que reducir la congestión en las ciudades paso a ser un objetivo secundario.

En 2013 se aprobó el marco de movilidad urbana para tratar de reducir los efectos negativos que aparecen en las ciudades a causa del tráfico, destacando el ruido, la congestión o la contaminación. Para ello se emplean medidas que tratan de regular el acceso de vehículos a zonas urbanas, destacando medidas como zonas de bajas velocidades, las restricciones de acceso (principalmente a algunos puntos como puentes o túneles) y tarificación o peajes urbanos, esta última implementada en unas pocas ciudades logrando cumplir sus objetivos, aunque no es de las más populares. Aunque sin duda la medida más popular y fácil de implementar es la Zona de Bajas Emisiones, que además permite cumplir con los límites establecidos anteriormente en la directiva de calidad del aire (Unión Europea 2013).

Actualmente el Pacto Verde Europeo que se adoptó en diciembre de 2019 es el compromiso de la UE contra el cambio climático, para ello tiene el objetivo de que la economía de la UE logre la neutralidad climática. Se basa en un plan de políticas y medidas, presentadas por la Comisión Europea para transformar la economía de la UE, fomentar un uso eficiente de los recursos, reducir las emisiones, entre otras muchas cosas. Para cumplir estos objetivos se ha propuesto reducir las emisiones de gases efecto invernadero un 55% como mínimo de cara a 2030, y lograr ese objetivo de neutralidad climática para 2050 (Dormido et al. 2022). Este paquete de medidas cada vez más centrado en combatir el cambio climático puede ser otra de las razones por las cuales actualmente casi todas las ciudades hayan implementado una Zona de Bajas Emisiones, y los peajes urbanos hayan sido cada vez más dejados de lado.

En 2021 se redactó un nuevo marco de movilidad urbana donde se intensificaron las directivas sobre la calidad del aire en las ciudades (Unión Europea 2021). Sus principales objetivos fueron tratar de reducir las emisiones de gases efecto invernadero en un 55% para 2030 y mejorar el transporte tanto dentro de las ciudades, como de unas a otras. Para lograr estos objetivos se tomaron una serie de medidas sobre cómo abordar distintos temas como la contaminación, la congestión, la seguridad, el crecimiento del comercio electrónico, y otros retos de movilidad urbana. Pero sin duda

las medidas más importantes o que más destacaron fueron tratar de fomentar la introducción de nuevas Zonas de Bajas Emisiones. En 2022 se realizó un estudio para tratar de ver soluciones similares más eficaces y fáciles de utilizar, también se trabajó en promover una mayor utilización del transporte público. Esta evolución de políticas de la UE se puede ver en la Figura 2.1.

Figura 2.1: Evolución de políticas UE



Fuente: Elaboración propia.

2.2 POLITICAS EN ESPAÑA

España al pertenecer a la Unión Europea tienen que cumplir una serie de leyes y directivas que marcan un poco los objetivos globales de esta organización. La UE se basa en el principio de subsidiariedad por el cual son los Estados Miembros (en este caso el gobierno de España) los que se encargan de tomar las decisiones para lograr estos objetivos (De Sadeleer 2022). La primera medida destacada fue el plan nacional de adaptación contra el cambio climático en 2006 que fue un poco el marco de referencia. Inicialmente se centraba en el impacto que causaba el cambio climático por ejemplo en la biodiversidad o zonas costeras. Posteriormente fue actualizándose en los años 2009, 2013 llegando al último en 2021 con objetivos hasta 2030 (Gobierno de España [sin fecha]). El objetivo de este último es una de las claves para la reconstrucción verde de España, y su principal objetivo es conseguir que el país sea menos vulnerable más seguro y con mayor capacidad de adaptación frente a los impactos y riesgos del cambio climático (Gobierno de España 2020).

También es importante el Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica (PNCCA) inicialmente 2019-2023 y posteriormente actualizado a 2023-2030 (Gobierno de España 2024). El principal objetivo de este programa es limitar las emisiones de contaminantes en base a los acuerdos establecidos en la Directiva de Techos, que es una directiva formulada por el Parlamento Europeo y el Consejo de la UE en 2016 con el objetivo de mejorar la calidad del aire. Para ello, se estableció un compromiso por parte de los países pertenecientes a la UE para reducir las emisiones de algunos gases contaminantes (Unión Europea 2016) y asegurar la información sobre las medidas que se van a tomar con el fin de cumplir este objetivo (Gobierno de España 2024).

En cuanto a la regulación para tratar de reducir estas externalidades en las ciudades, que como se mencionó anteriormente depende del gobierno de cada país, la principal

medida tomada en España es la implementación de Zonas de Bajas Emisiones (ZBE). Según la ley 07/2021 del 20 de mayo, se obligó a empezar a trabajar en implementar ZBE para municipios de más de 50.000 habitantes y para aquellos de 20.000 que superen los límites establecidos por el Real Decreto 102/2011 (Gobierno de España 2021). En la Figura 2.2 se muestra los principales municipios que o bien ya lo habían implementado, o lo iban a hacer.

Figura 2.2: Zonas de Bajas Emisiones en España 2023



Fuente: Gámez 2023.

El 27 de diciembre de 2022, se aprobó el Real Decreto 1052/2022 por el que se regulan las Zonas de Bajas Emisiones. El Real Decreto tiene como objetivo contribuir a una mejora en la calidad del aire, así como ayudar a frenar el cambio climático. Estos objetivos son también los que se tienen más cuenta a la hora de implementar una Zona de Bajas Emisiones, aunque también valoraran otros como por ejemplo mejorar la calidad acústica o promover un cambio a modos de transporte más sostenibles. (Gobierno de España 2022)

EL decreto estableció que serían las entidades locales las encargadas de regular y delimitar las Zonas de Bajas Emisiones conforme a su normativa municipal. Para su diseño y delimitación, se consideraron el origen y destino de los desplazamientos que se quieren restringir, con el objetivo de cumplir con las metas previamente establecidas. Además, se buscó generar “efecto contagio”, es decir, que los efectos positivos que se produzcan en la Zona de Bajas Emisiones se extendieran a otras zonas cercanas.

3 ANALISIS CIUDADES EUROPEAS

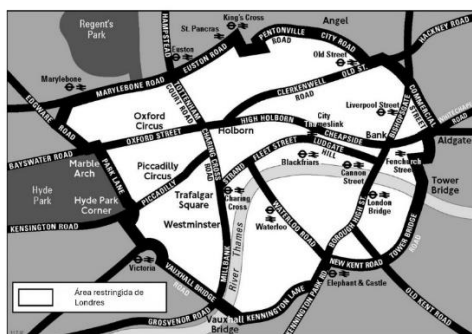
Tras repasar como ha sido la evolución de la política de la UE queda claro que como el compromiso para combatir el cambio climático tratando de reducir la contaminación es cada vez mayor, esto ha provocado que las Zonas de Bajas Emisiones sean la medida más popular actualmente. Sin embargo, algunas ciudades decidieron implementar peajes urbanos para tratar de reducir las principales externalidades que genera el transporte en las ciudades. Este apartado, trata de analizar cuáles han sido los resultados de estas políticas en algunas ciudades europeas.

3.1 PEAJES URBANOS

3.1.1 Londres

Londres era una ciudad que presentaba unos serios problemas de congestión, por eso en febrero de 2003 su alcalde decidió tomar la decisión de implementar un área restringida (se puede ver en la Figura 3.1) en el centro de la ciudad, a la cual habría que pagar un peaje urbano para poder acceder. Este peaje inicialmente fue de 5 libras de lunes a viernes de 7 de la mañana a 6 de la tarde. Este precio fue analizado y se barajó varias opciones como reducirlo a 2,5 libras o aumentarlo a 10, finalmente en 2005 se aumentó a 8 libras porque se estimó que era la cifra que garantizaba más beneficios. Estos beneficios se destinaban en su totalidad a mejorar el transporte público (Leape 2006).

Figura 3.1: Zona restringida por peaje urbano en Londres



Fuente: Leape 2006.

Los efectos de esta política fueron muy notables desde el principio. Reducir la congestión, que era el principal objetivo a alcanzar, fue un completo éxito. Esto se evidencia en la Figura 3.2, donde se muestra el porcentaje de kilómetros recorridos por todos los vehículos en el área afectada, que se redujo un 12% el año de su implementación. Esto indica una disminución significativa en la cantidad de vehículos

que accedieron al centro de Londres. Además de que hubo un importante cambio en la distribución del tráfico en la ciudad, disminuyendo notablemente el tráfico de vehículos privados (principalmente coches, pero también furgonetas y camiones) y aumentando el porcentaje de buses, bicicletas, taxis y motocicletas. Es importante destacar que hay indicios de que estos cambios perduraron en el tiempo. Estos resultados provocaron grandes ahorros de tiempo en los viajes, por ejemplo, el primer año se redujo el tiempo de viaje un 14% y el segundo año 27% durante las horas punta de la mañana, lo cual significa que esta política fue un completo éxito a la hora de reducir la congestión de la ciudad de Londres, que era el principal objetivo.

Figura 3.2: Tráfico en Londres

	2002	2003	Porcentaje de cambio
Coches	771 (47%)	507 (35%)	-34%
Furgonetas	287 (18%)	273 (19%)	-5%
Camiones	73 (4%)	68 (5%)	-7%
Buses	54 (3%)	65 (5%)	22%
Taxis	256 (16%)	312 (21%)	21%
Motos	129 (8%)	137 (9%)	6%
Bicicletas	69 (4%)	89 (6%)	28%
Todos los vehículos	1640 (100%)	1451 (100%)	-12%

Nota: la primera columna representa el número de km recorridos 1(en miles de km) por cada vehículo dentro del área restringida y la segunda la proporción.

Fuente: Leape 2006.

La calidad del aire, aunque no era una prioridad también se vio mejorar con la reducción de emisiones del 13,4% NO_x , 15% CO_2 y 7% PM_{10} para el año 2003, y para el periodo 2003-2007 17%, 3% y 24% respectivamente, lo cual supone una mejora importante en la calidad del aire, aunque esta mejora también se debe a una política de vehículos de energías alternativas(Muñoz Miguel, Carrasco Díaz y Anguita Rodríguez 2012). Esta política también provocó que aumentara considerablemente el uso del autobús debido a que al haber menor congestión ofrecía un mejor servicio al tardar menos tiempo en llegar al destino. Esto a su vez genera que más gente lo use, obteniendo más ingresos y pudiendo ofrecer nuevas líneas de trayecto, generando así una reacción en cadena que mejora notablemente el servicio. Por último mencionar que no hay evidencia de mejora económica por la política, ya que según encuestas hay empresas que fueron perjudicadas, pero otras salieron ganando por lo tanto se puede decir que tuvo un efecto nulo a la hora de mejorar bienestar(Leape 2006).

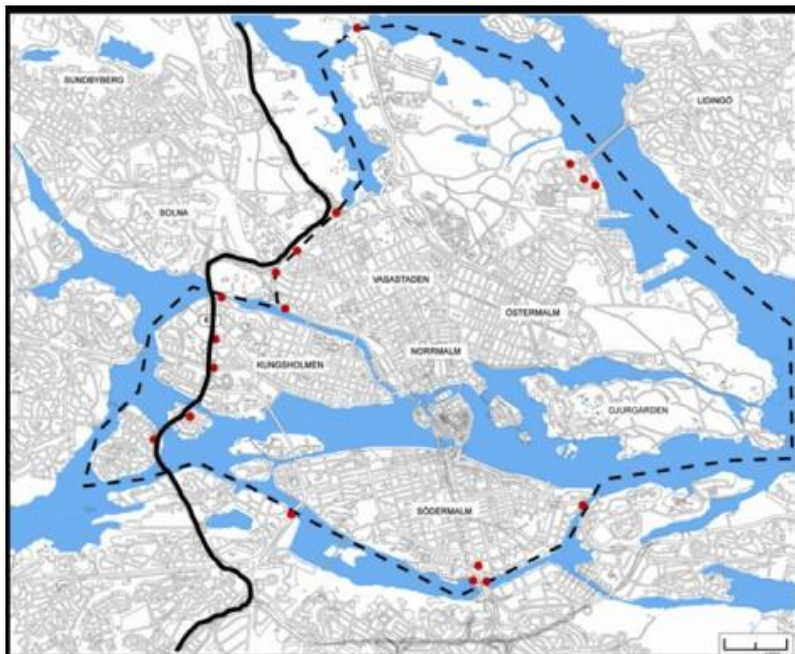
Inicialmente esta medida tuvo ingresos, aunque menos de los estimados debido principalmente a la gran reducción de la congestión que fue mayor de la esperada y por tanto menos vehículos de los esperados abonaban la tasa de entrada. Estudios de análisis coste-beneficio en 2005 antes de que la tasa aumentara de 5 a 8 libras, sugieren que los costes anuales eran de 163 millones de libras y los ingresos de 230 millones de libras, aunque estos derivan principalmente de costes sociales destacando el ahorro de

tiempo de los usuarios, y en menor medida la disminución de accidentes o la mejora en la calidad del aire. Por eso se puede decir que la política fue un éxito debido a que cumplió con creces su principal objetivo, aunque se esperaban unos beneficios mayores.

3.1.2 Estocolmo

Estocolmo es una de las ciudades pioneras en Europa a la hora de implementar un peaje urbano. Para ello, como bien es sabido que no es una de las medidas más populares entre la población estableció un periodo de prueba entre el 3 de enero y el 31 de julio 2006 para ver como seria la efectividad de esta política. Los principales objetivos eran reducir la congestión, mejorar la accesibilidad y mejorar el medio ambiente. La zona restringida por la medida se puede ver en la Figura 3.3. Es importante mencionar que este periodo de prueba vino acompañado de una importante mejora en el transporte público donde se amplió con dieciséis nuevas líneas de buses (Eliasson et al. 2009).

Figura 3.3: Zona restringida por el peaje urbano en Estocolmo



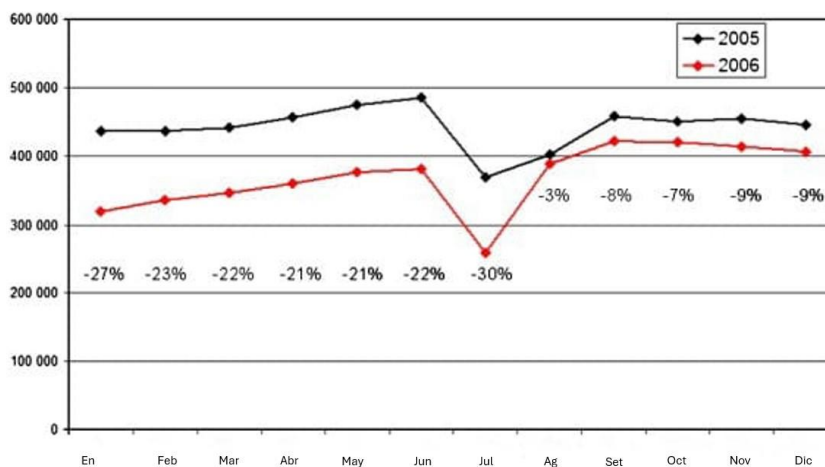
Fuente: Eliasson et al. 2009.

En cuanto a los efectos que tuvo esta política vamos a empezar por la congestión. Como se puede ver en la Figura 3.4, donde se compara el tráfico en Estocolmo mensual de 2005 con el de 2006, todos los meses que estuvo en marcha tuvo una reducción del tráfico de entre el 20% y el 30%, lo cual es una reducción bastante notable. Hay que destacar que una vez finalizo el periodo de prueba el tráfico volvió a parecerse mucho al del año anterior, aunque un poco menor, es importante mencionar que hay que tener

cuidado con estos datos debido a obras que hubo durante el otoño en dos puentes importantes de la ciudad. En general no hubo un efecto desplazamiento, ya que salvo en las zonas puntuales como el túnel de Essinge bypass y la carretera de Southern Link, donde aumento el tráfico un 4% y 10% respectivamente, en el resto de las zonas de la ciudad también disminuyó el tráfico considerablemente, aunque estuvieran fuera de la zona afectada. Esta reducción prácticamente general del tráfico en la ciudad provoco que se redujeran bastante los tiempos de viaje lo cual supone una importante ganancia para la sociedad.

Tras realizar este periodo de prueba, se emplearon dos modelos para estimar como habían sido los efectos sobre la contaminación atmosférica y la calidad del aire, llegando ambos a resultados muy similares. Dentro de la zona afectada, se redujeron las emisiones de dióxido de carbono un 16%, que corresponde al 2-3% de reducción para toda el área metropolitana, los contaminantes transportados por el aire se redujeron un 10-14% y un 8,5% los óxidos de nitrógeno. Estos datos son muy relevantes ya que muestran como hubo una importante mejora en la calidad del aire con solo unos meses de la aplicación del peaje urbano, además de investigaciones que muestran cómo se redujo la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y por cáncer de pulmón por esta mejora en la calidad del aire.

Figura 3.4: Número de vehículos que pasan por la zona del peaje (días laborables de 6:00 a 19:00).



Fuente: Eliasson et al. 2009.

Por último, en cuanto a externalidades podemos concluir que no hubo efectos significativos a la economía en general ni a los pequeños comercios, además del número de accidentes que tampoco hubo cambios notables (aumento un poco el número de accidentes, pero se redujo el número de accidentes mortales).

Tras este periodo de prueba se realizó un referéndum en la ciudad de Estocolmo y algunos municipios cercanos que eran afectados por el peaje. Sorprendentemente por los a priori resultados positivos de la prueba, el referéndum salió un 52% en contra de la medida (cabe destacar que dentro de la ciudad de Estocolmo sí que salió mayoría a favor), aunque eran unos resultados un poco sesgados, ya que algunos municipios que parecían a favor del peaje no realizaron referéndum. Esta opinión fue cambiando poco

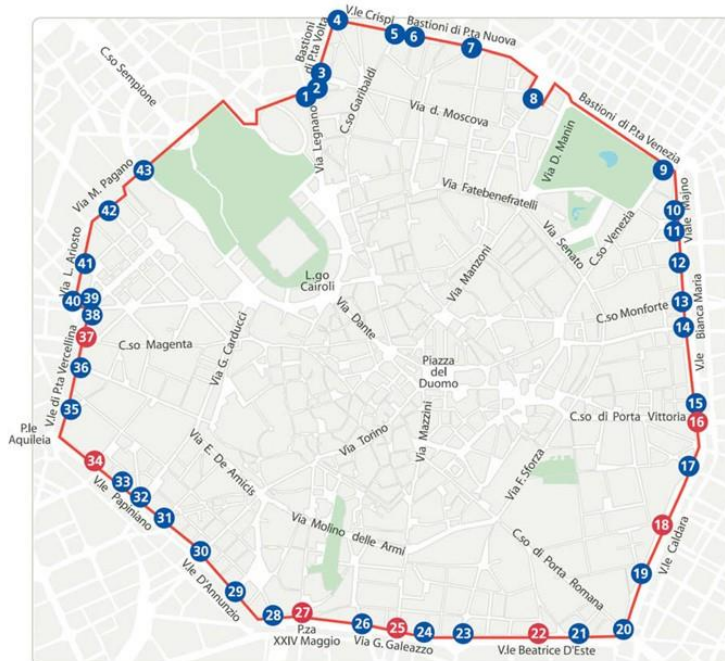
a poco hasta que en 2007 con un cambio de gobierno al final se decidió mantener el peaje, empleando los ingresos de este en compensar los impactos negativos que genera (por ejemplo, mejorando carreteras).

Para demostrar la viabilidad de este proyecto algunos autores han realizado con análisis coste-beneficio, llegando a los resultados de que el excedente del consumidor es negativo, aunque la ganancia de tiempo es muy alta en comparación con los cargos de pago. Esto supone que el excedente social anual sea de 654 millones de coronas suecas, si los gastos de inversión y puesta en marcha son de 1900 millones de coronas suecas, significa que en aproximadamente 4,5 años se recuperaría la inversión en términos de beneficios sociales. Se estima que la vida útil del sistema sea de 20 años como mínimo, por lo cual sale muy rentable (Eliasson 2009).

3.1.3 Milán

Milán es una de las ciudades con mayor ratio de uso de coches privados del mundo, además de una de las áreas metropolitanas más grandes de Italia. Esto provoca grandes problemas de contaminación en la ciudad, por eso en 2008 siguiendo el éxito de Londres y Estocolmo, puso en marcha el programa de prueba llamado Ecopass. Este programa se trataba de un área restringida en el centro de la ciudad (se puede ver en la Figura 3.5) a la cual algunos vehículos en base a las emisiones contaminantes que producen deberán pagar un peaje para poder acceder (no todos los vehículos pagan y la cuantía del peaje es mayor para los coches más contaminantes). El principal objetivo de esta medida era reducir la contaminación atmosférica, teniendo otros objetivos como reducir la congestión más secundarios (Rotaris et al. 2010).

Figura 3.5: Zona restringida por el Ecopass en Milán



Fuente: Rotaris et al. 2010.

Los resultados iniciales de esta política fueron positivos en relación con su objetivo principal de reducir la contaminación. Los logros más destacados incluyen la disminución de las emisiones de los siguientes gases: 14% el CO₂, 18% el PM₁₀ y 17% NO_x, obteniendo unos efectos similares a Londres o Estocolmo. Reducir la congestión, aunque no era el objetivo principal, también presentó un efecto positivo, ya que se redujo el tráfico un 12,3% dentro del área restringida y un 3,6% fuera lo cual supone un gran ahorro de tiempo para los habitantes de Milán.

Al igual que en casos anteriores hay estudios de viabilidad del proyecto en base a un análisis coste-beneficio. Los resultados obtenidos más destacables son que los individuos con turismos privados tienen una pérdida de bienestar de 3,7 millones de euros, y los vehículos de mercancías unas aún mayores de 5,3 millones de euros. Estas pérdidas se compensan con los ahorros en costes sociales de 10,4 millones de euros, que se basan principalmente en reducción de accidentes, y la mejora de bienestar de 5,6 millones de euros de los usuarios de bus y tranvía. Estos son solo los datos más destacables, pero si se tienen en cuenta todas las pérdidas y ganancias, el resultado tras los primeros once meses será de 6 millones de euros de beneficio neto anual por lo que esta medida también parece ser rentable, además de como se ha mencionado previamente también cumple objetivos de reducir contaminación y reducir la congestión.

Tras comprobar la viabilidad del proyecto y finalizado el periodo de prueba, en 2011 hubo una consulta pública para decidir si continuar con la medida o no, los resultados fueron un 79% a favor de continuar lo cual claramente significa que la gente estaba contenta. Por eso en 2012 continuaron con el proyecto de Ecopass llamándose a partir de ese momento Área C (Percoco 2014). Los efectos en este segundo periodo de la medida no fueron igual de positivos que al principio, ya que hay evidencia empírica de que sí que se redujo la contaminación al principio, pero tras una semana volvió a los niveles iniciales, probablemente debido a que la gente cambió su vehículo y empezó a usar más motocicletas ya que estas estaban exentas de pagar el peaje (Percoco 2013). Es importante mencionar que también hay análisis empíricos que sugieren que no hubo una reducción significativa del tráfico sino que más bien hubo una tasa de reemplazo hacia vehículos menos contaminantes que también estaban exentos de pagar la tasa (Percoco 2014). Por lo tanto, si se mantiene esa tendencia de los ciudadanos de reemplazar sus coches por otros menos contaminantes a la larga se verá reducidas las emisiones de gases contaminantes y por tanto el objetivo principal de esta política estará cumplido.

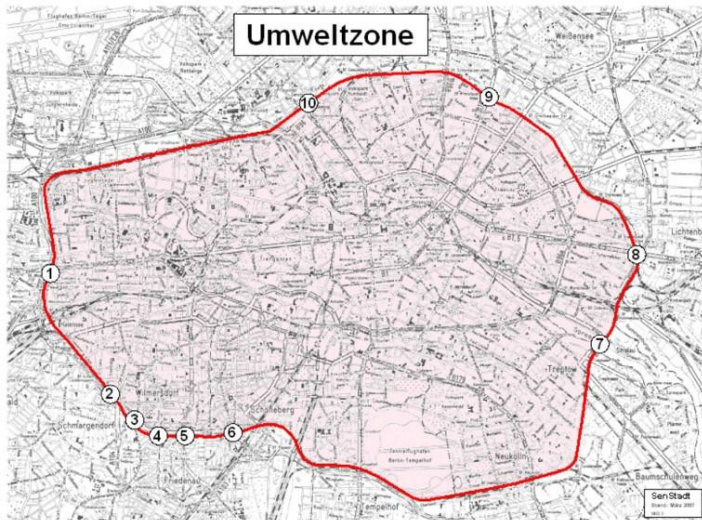
3.1 ZONAS DE BAJAS EMISIONES

3.2.1 Berlín

A partir de 2005 se impusieron varias normas desde la UE que limitaban la concentración de contaminantes. Entre 2005 y 2007, más de la mitad de las ciudades alemanas de más de 100.000 habitantes, por eso desde Alemania empezaron a implementar Zonas de Bajas Emisiones en las ciudades para tratar de corregir el problema, siendo Berlín una de las primeras (Gehrsitz 2017). En 2012 en Alemania ya había cuarenta y dos Zonas de Bajas Emisiones con el objetivo de reducir las emisiones

de gases y también la transición hacia vehículos menos contaminantes, dejando un poco de lado los problemas de congestión(Schusser 2012).

Figura 3.6: Zona de Bajas Emisiones de Berlín

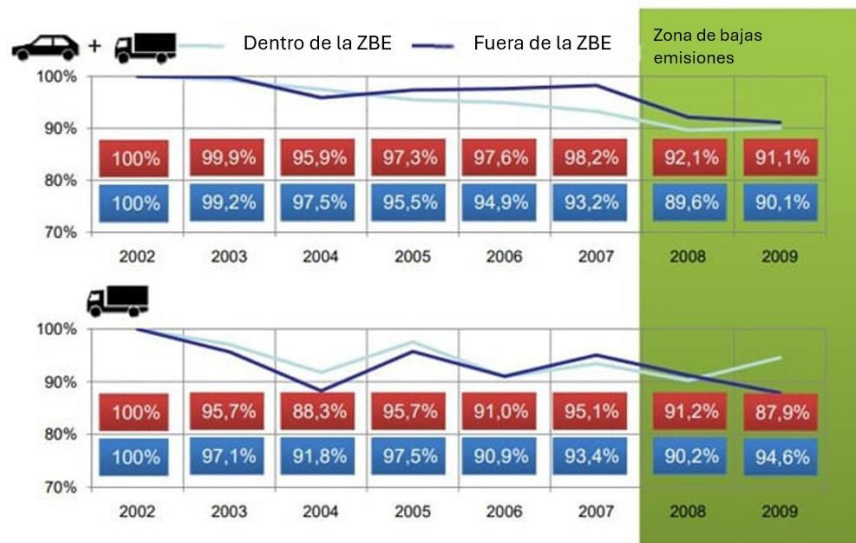


Fuente: Schusser 2012.

Esta medida entro en vigor en Berlín en el año 2008, conocida como Umweltzone y abarcaba 85 km² en un área en la cual viven más de 1,1 millones de habitantes y se puede ver en la Figura 3.6. Se introdujo en dos etapas, la primera de 2008 hasta 2010 donde se prohibía la entrada de vehículos diésel que no cumplieran la norma Euro 2 y la Euro 1 para los gasolina. La segunda etapa comenzó en 2010 y la regulación se volvió más estricta siendo obligatoria la norma Euro 4 o la instalación de un filtro de partículas(Lutz 2010).

Tras analizar la primera etapa, los resultados fueron positivos, el objetivo principal fue cumplido, aunque por demasiadas variaciones en el clima no se pudieron contabilizar las emisiones de PM_{10} , las concentraciones de carbón elemental decrecieron entre un 14% a 16% y un 8% las de NO_2 (Holman, Harrison y Querol 2015). Como se puede observar en la Figura 3.7, donde se ve la evolución del tráfico en la ciudad tanto fuera como dentro de la zona restringida desde 2002 hasta 2009 (tomando como referencia es decir el 100% el año 2002) sí que parece haber una reducción del tráfico tanto dentro como fuera de la ZBE, a excepción de los camiones dentro de ella. A pesar de esto la realidad es que esta disminución del tráfico tampoco fue muy importante, debido en parte a una alta tasa de renovación de los ciudadanos hacia turismos menos contaminantes lo cual es un punto muy importante a la hora de tratar de mejorar la calidad del aire en la ciudad.

Figura 3.7: Evolución del tráfico en Berlín entre 2002 y 2009.



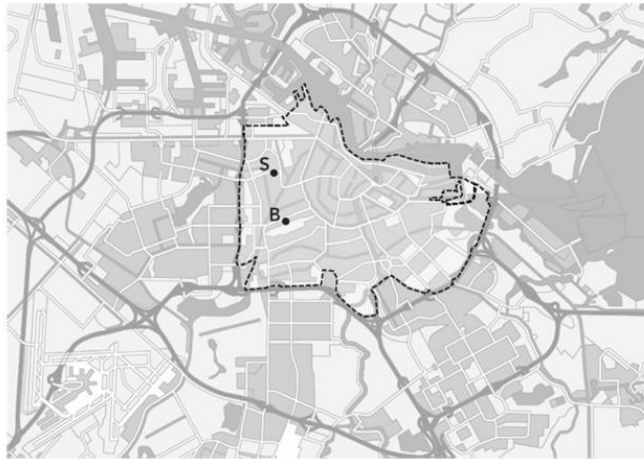
Fuente: Lutz, 2010.

Como conclusión podemos sacar que la política fue bastante exitosa porque cumplió con el objetivo principal de reducir la contaminación en la ciudad, además de conseguir una tasa de recambio de vehículos muy superior a la que habría habido si no se hubiera implantado la Zona de Bajas Emisiones. Además, aunque no haya evidencia de mejora y más uso del transporte público de Berlín sí que hay, aunque no muy significativas de reducción del tráfico en la ciudad.

3.2.2 Ámsterdam

Ámsterdam al igual que muchas otras grandes ciudades europeas presenta altas concentraciones de contaminación atmosférica producida principalmente por emisiones de vehículos. Por eso en 2006 se empezó a trabajar en una Zona de Bajas Emisiones en el centro de la ciudad, se puede ver en la Figura 3.8, que prohibía la entrada de vehículos pesados clasificados como EURO 1 y 2. Hubo un periodo de prueba los últimos 3 meses de 2008. A partir de 2010 se puso en práctica restringiendo también los vehículos pesados EURO 3 que no tengan determinados filtros. La aplicación fue efectiva ya que había cámaras restringiendo las calles los 365 días del año las 24 horas, además la multa por incumplir la norma era de 220 euros (Panteliadis et al. 2014).

Figura 3.8: Zona de Bajas Emisiones en la ciudad de Ámsterdam



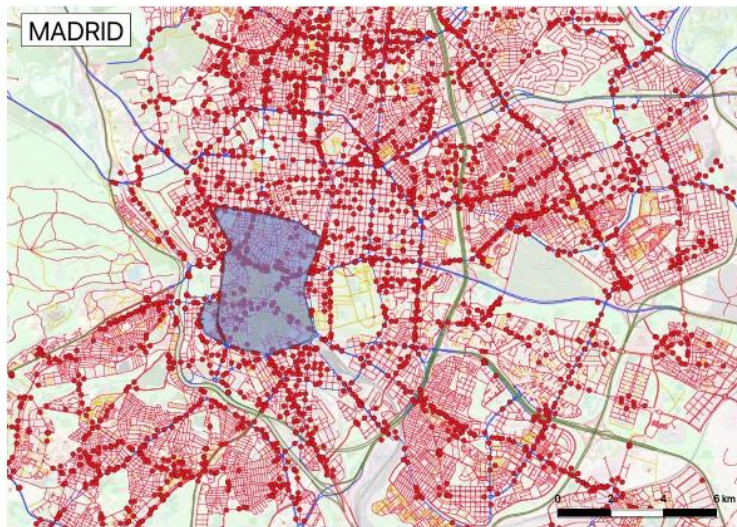
Fuente: Panteliadis et al. 2014.

Los resultados de esta política fueron bastante positivos, con reducciones en las emisiones de gases contaminantes de un 4,9% para NO_{10} , un 6,4% para el NO_x , y un 5,8% PM_{10} entre otros. Esta reducción puede equivaler a un aumento de la esperanza de vida de 2 meses para las personas que vivían en las zonas más afectadas. Esto supone que en términos de reducir contaminación fue muy exitosa ya que además permitió el cumplimiento de las pautas de la calidad de aire de la UE que antes de implementar la Zona de Bajas Emisiones no cumplía. No hay evidencia de mejora en otras externalidades como la congestión ya que esta política solo restringe vehículos pesados no para todos los vehículos por lo que no tiene como objetivo reducir este problema urbano.

3.2.3 Madrid

El gobierno de esta ciudad decidió establecer una Zona de Bajas Emisiones en el distrito centro en 2018, que se puede ver en la Figura 3.9. El objetivo de esta medida era reducir la contaminación atmosférica limitando el acceso de vehículos contaminantes por el centro de la ciudad, además de fomentar otros medios de transporte como el transporte público, la bicicleta o incluso caminar. Esta zona estaba restringida por cámaras, y la entrada estaba restringida para vehículos sin etiqueta eco, los que tengan etiqueta B o C podrán acceder siempre y cuando no estacionen en aparcamientos en la vía pública y por último los que tienen etiqueta Eco pueden entrar sin restricciones. Esta área está vigilada por cámaras 24 horas los días laborables y la sanción por incumplimiento son 90 euros, reducido a la mitad si se paga antes de 21 días (Tassinari 2022).

Figura 3.9: Zona de Bajas Emisiones de Madrid y puntos de medida de tráfico.

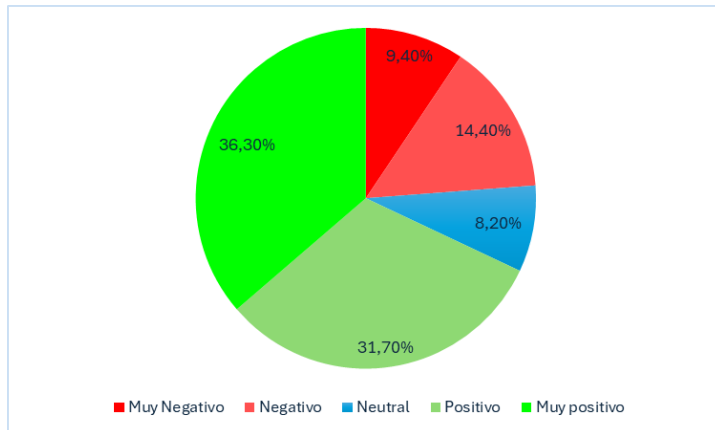


Fuente: Tassinari 2022.

El resultado de esta política fue muy positivo en términos de reducción de contaminación. Existe evidencia empírica, basada en datos diarios de emisiones de NO_2 en la ciudad de Madrid, que demuestra una disminución de estas emisiones de entre un 23% y un 34%. Además, en áreas cercanas fuera del área restringida también se observó una reducción de emisiones, aunque con menos éxito (Salas et al. 2021). Aunque no supone uno de los objetivos es importante mencionar la congestión ya que es uno de los principales problemas que supone el tráfico urbano y estas políticas normalmente también se emplean para reducir este tipo de externalidades. En este caso Madrid Central no fue efectivo, ya que en base a un análisis empírico que utiliza múltiples sensores (Figura 3.9) que detectan el tráfico de Madrid, se obtienen unos resultados de que aumenta un 4% el número de vehículos por hora por sector en la ciudad en general. Es cierto que disminuye un 8,4% dentro del área restringida lo cual es positivo, pero aumenta un 2,2% dentro de la M30, un 1,3% en la M30 y un 6,4% fuera de la M30. Esto implica un efecto desplazamiento, es decir, el tráfico que disminuye en el área restringida se desplaza a otras zonas fuera de ella, cambian su ruta. También hay evidencia de que ese año disminuyó el número de matriculaciones de vehículos sin etiqueta ecológica y aumentaron las de los coches menos contaminantes, lo cual supone un punto muy positivo, además de que también aumento un 5,4% el número de viajes en metro en el área restringida (Tassinari 2022).

El resultado final es que, en términos de reducir la contaminación, que era el principal problema por el cual se implementaba fue cumplido, además de que también contribuyo a aumentar el uso del transporte público y a la compra de vehículos menos contaminantes. Por eso aunque en términos de reducir la congestión de la ciudad no ha sido efectiva, como se puede ver en la Figura 3.10 en base a una encuesta online con múltiples variables, esta política ha sido muy bien recibida por los habitantes de Madrid, por lo que en términos generales podemos decir que ha sido exitosa (Tarriño-Ortiz et al. 2021).

Figura 3.10: Aceptación ciudadana de Madrid Central



Fuente: Tarriño-Ortiz et al. 2021.

4 MODELOS TEÓRICOS

En este apartado se va a hacer una introducción en la modelización para la reducción de externalidades urbanas. Se van a explicar tres modelos sencillos, el primero en el que solo hay un medio de transporte, el coche, el segundo modelo introduce el transporte público como nuevo medio de transporte. El objetivo de explicar estos modelos es para entender un poco como funcionan los peajes urbanos a nivel teórico además de se puede apreciar bastante claro porque no son tan populares. Por último, el tercer modelo introduce la contaminación para poder comparar los peajes urbanos con las Zonas de Bajas Emisiones.

4.1 MODELO DE UN MODO

El modelo de un modo (De Borger y Proost 2012) es el modelo más básico de todos los que vienen a continuación. Este modelo consiste en tratar de explicar de la forma más intuitiva y sencilla posible cómo funciona un peaje urbano, quienes son los beneficiados y perjudicados, así como porque esta medida no es muy popular.

En este modelo se representa una zona urbana en la que solo hay una conexión en carretera, todos los individuos tienen interés en usarla dos veces al día y en este primer caso más básico, solo existe un medio de transporte, el coche.

$$U_i(Y_i, p) = Y_i + \max \{(a - b_i) - p, 0\} \quad (1)$$

En la Expresión 1 se ve representada la función de utilidad de cada individuo i que habita en esa zona urbana. Cada individuo genera utilidad por el uso de cualquier bien a parte de la carretera, que están representados por Y_i . El resto de la función representa la utilidad que genera el uso de la carretera, siendo p el precio generalizado de cada viaje

en coche (incluyendo costes monetarios y de tiempo), y $(a - b_i)$ representa la disposición a pagar de cada individuo (el precio máximo de cada individuo para realizar el viaje en coche). A partir de esta Expresión podemos obtener la Expresión 4 que representa una función de demanda inversa.

$$CM = d + cn \quad (2)$$

$$CMS = d + 2cn \quad (3)$$

$$p = a - bn \quad (4)$$

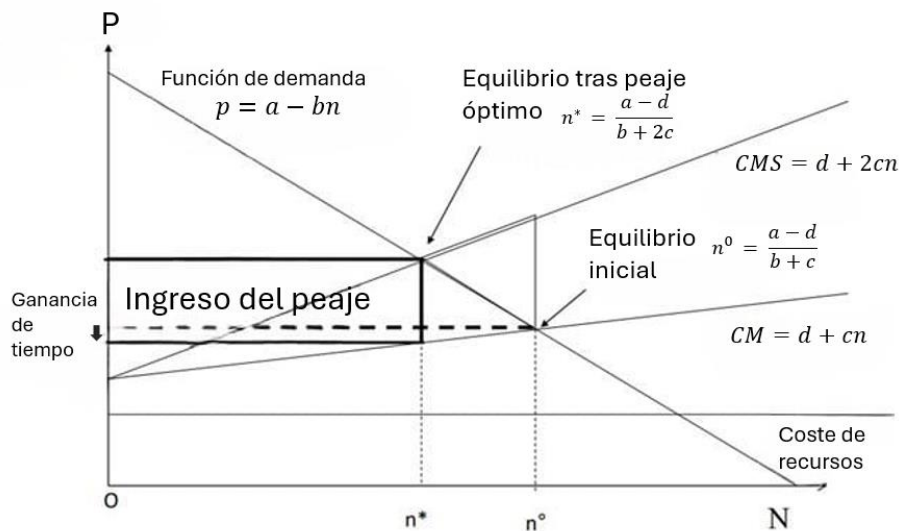
La Expresión 2 representa el coste medio de cada individuo y la 3 el coste marginal social, donde d (no dependen número de usuarios) representa otros costes de viaje y costes de tiempo a máxima velocidad, c representa el coste individual monetario de cada viaje y n el número de individuos que eligen conducir.

$$n^0 = \frac{a-d}{b+c} \quad (5)$$

$$n^* = \frac{a-d}{b+2c} \quad (6)$$

La Expresión 5 representa el numero óptimo de individuos que eligen utilizar el coche en una situación inicial antes de introducir la política del peaje urbano, para llegar a este resultado habría que aplicar la condición de equilibrio donde $p = CM$. La Expresión 6 representa el número de conductores tras aplicar la política de peaje urbano, que como se puede observar es menor. Este resultado se consigue tras aplicar también la condición de equilibrio donde $p = CMS$. Esto se puede ver gráficamente en la Figura 4.1, siendo el equilibrio inicial donde se igualan la función de demanda inversa (4) con el coste medio (2) y el equilibrio óptimo tras peaje donde se iguala otra vez la función de demanda inversa con el coste marginal social (3).

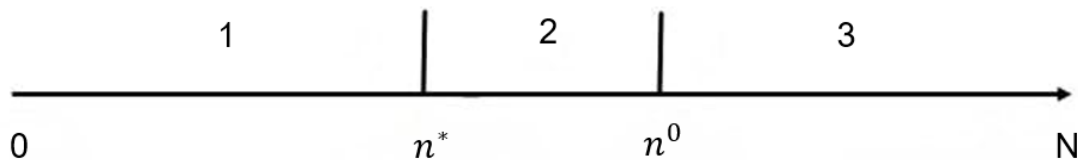
Figura 4.1: Equilibrio del modelo de un modo



Fuente: De Borger y Proost 2012.

Para decidir si implementar esta política o no, este modelo se basa en un sistema de votaciones por el cual los individuos votarán a favor del peaje si ganan utilidad (teniendo en cuenta todos los factores no solo monetarios, como por ejemplo el tiempo de viaje) con su implementación. Para ello es importante destacar que todos los ingresos del peaje se van a repartir entre todos los individuos que vivan en la zona urbana independientemente de que usen el coche o no.

Figura 4.2: 3 grupos de individuos del modelo de un modo



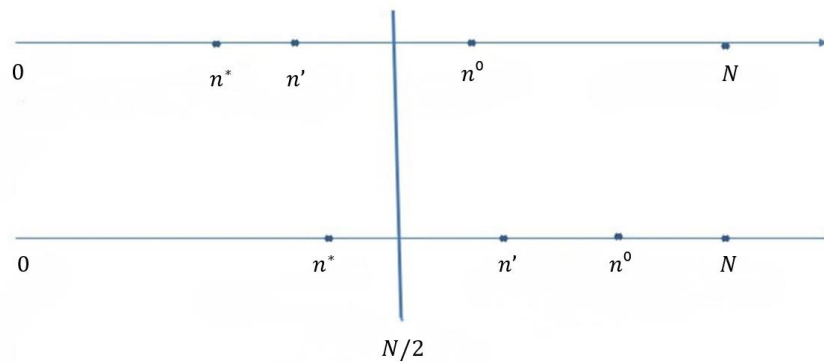
Fuente: De Borger y Proost 2012.

Para ello vamos a dividir a todos los individuos en 3 grupos que se pueden apreciar en la Figura 4.2:

- Grupo 1 o conductores permanentes. Este grupo estará formado por todos los individuos que van a seguir utilizando el coche a pesar de que tengan que pagar un peaje por usar la única carretera.
- Grupo 2 o exconductores. Este grupo está formado por aquellos individuos que utilizaban el coche en la situación inicial, pero con el peaje no les compensa seguir utilizando el coche.
- Grupo 3 o no conductores. Este grupo está formado por los individuos que en ninguna de las dos situaciones.

Al resolver el modelo, el resultado es que los conductores permanentes van a ganar utilidad porque los tiempos de viaje que van a ser más cortos además de los ingresos del peaje. Sin embargo, este grupo será perjudicado debido al coste asociado al pago del peaje ya que estos costes siempre serán mayores que las ganancias derivadas del menor tiempo de viaje. Por esta razón este grupo siempre va a estar peor si se introduce el peaje, por lo que votaran en contra. Ahora pasamos al grupo de no conductores que solo van a tener ganancias por la redistribución de los ingresos del peaje por lo que estarán mejor y siempre votarán a favor. Por lo tanto, van a ser las personas que pertenecen al grupo de no conductores los que decanten si sale mayoría o no. Estos individuos obtendrán algún beneficio, como todos debido a los ingresos generados por el peaje. Sin embargo, van a perder el valor asociado a realizar el viaje que ya no efectúan. A pesar de ello, ganan el tiempo que emplearían en realizar dicho viaje. Esta ganancia puede ser positiva o negativa en función de las preferencias de cada individuo, es decir en base a la importancia que tenía para cada uno el viaje que ya no hacen. Si resolvemos el modelo podemos llegar a calcular n , que sería el número a partir del cual los individuos están mejor si se aplicara la medida y está dentro del intervalo (n^*, n^0) . Para ver si sale mayoría o no, habría que comparar este resultado con $N/2$ que es la mitad de la población de esa zona, como se puede ver en la Figura 4.3.

Figura 4.3: Solución modelo de un modo



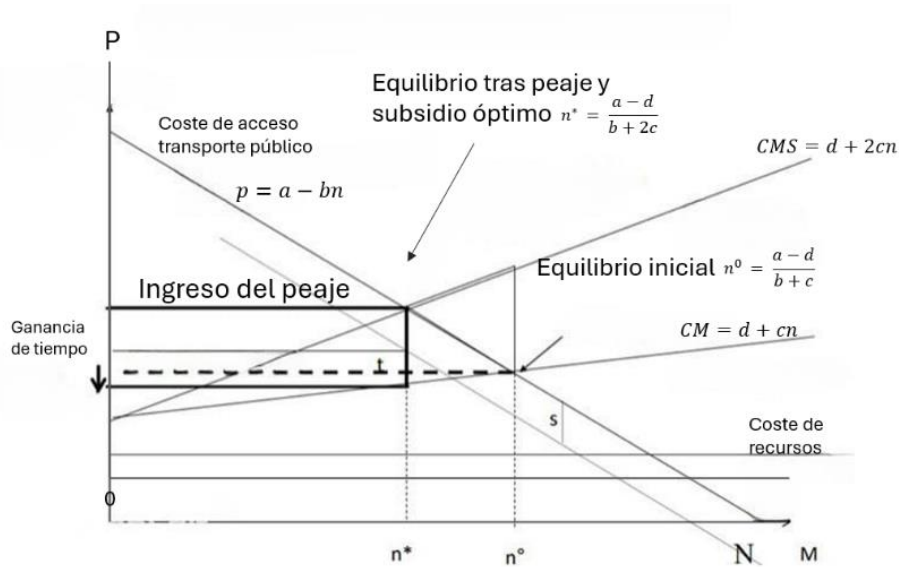
Fuente: De Borger y Proost 2012.

En la Figura 4.3 podemos ver dos posibles situaciones, la primera como $N/2$ está por encima de n' quiere decir que mas de la mitad de la población estarán mejor con el peaje por lo que votarán a favor. La segunda situación $N/2$ estará por debajo, por lo que la mayoría estarán peor y votarán en contra.

4.2 MODELO DE DOS MODOS

Este segundo modelo es una continuación del anterior, pero introduciendo un nuevo método de transporte, el transporte público(De Borger y Proost 2012). Esto va a suponer un cambio importante a la hora de votar la medida, porque ahora los ingresos del peaje se pueden utilizar para subvencionar el transporte público, repartirlos entre la población al igual que antes o una combinación de ambos.

Figura 4.4: Equilibrio del modelo de dos modos



Fuente: De Borger y Proost 2012.

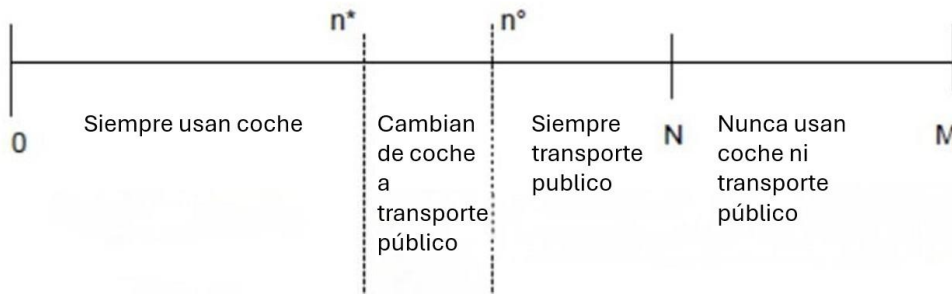
El modelo se puede ver representado arriba en la Figura 4.4 y es muy similar al anterior, pero con algunos cambios. Por ejemplo, ahora M es el número total de personas y N la demanda total de transporte (ya sea coche o transporte público). La demanda total de transporte público será $N - n$ (siendo n el número de personas que usan el coche).

El coste medio de viaje y la función de demanda inversa, que en este modelo se conoce como coste generalizado, van a ser los mismos que en modelo anterior, las Expresiones 2 y 4 respectivamente, por lo tanto, en la situación inicial vamos a llegar al mismo resultado del apartado anterior, la Expresión 5. Para resolver el modelo cuando aplicamos el peaje hay que tener también en cuenta los costes del transporte público. Para ello minimizamos la Expresión 7 donde el primer término representa el coste total de todos los individuos que utilizan el coche y el segundo término el coste total de todos los individuos que usan el transporte público. Tras resolverlo, llegaríamos al mismo resultado del apartado anterior, la Expresión 6.

$$\text{Min}_n n(d + cn) + (N - n)[(a - bn) + (a - bN)] \frac{1}{2} \quad (7)$$

Al igual que antes se va a usar un sistema de votaciones para decidir si se aplica la medida o no. Para ello hay que tener en cuenta, que como se menciona antes ahora los ingresos se pueden emplear de tres formas: situación 1 que se usen todos para repartirlos entre todos los votantes (misma situación del apartado anterior), situación 2 que se usen todos para mejorar el transporte público y situación 3 que se realice una combinación entre ambos. Es importante mencionar que se va a tener en cuenta una cuarta situación o situación 0 llamada status quo o situación inicial. También desatacar que ahora hay cuatro grupos como se ven en la Figura 4.5.

Figura 4.5: Cuatro grupos del modelo de dos modos



Conductores permanentes ($0, n^*$): Personas que siguen utilizando el coche después de la reforma, exconductores (n^*, n^0): Personas que con la reforma dejan de utilizar el coche y pasan a usar transporte público, usuarios de transporte público (n^0, N): Personas que en ambas situaciones usan transporte público y no usuarios de transporte (N, M): Personas que nunca van a usar ningún transporte.

Fuente: De Borger y Proost 2012.

Los conductores permanentes van a estar siempre mejor en la situación 1 porque la ganancia de tiempo que va a suponer el peaje no compensa la pérdida que supone tener que pagarle, después de entre las otras tres situaciones va a preferir que el subsidio al transporte público sea lo más alto posible porque así el impuesto del peaje será menor. Por lo tanto, tendrán el siguiente orden de preferencia: situación 0 > situación 2 > situación 3 > situación 1. Los exconductores y los usuarios de transporte público van a estar a favor del peaje y van a preferir ambos que el subsidio del transporte público sea lo más alto posible, con el siguiente orden de preferencia: situación 2 > situación 3 > situación 1 > situación 0. Por último, los no usuarios de transporte también estarán a favor del peaje prefiriendo que la redistribución de los ingresos sobre la población sea lo más alta posible con el siguiente orden de preferencia: situación 1 > situación 3 > situación 2 = situación 0 (con las situaciones 2 y 0 no tienen ninguna ganancia). A partir de este modelo teórico no es posible saber qué medida sería decidida porque es necesario conocer el número exacto de individuos que pertenecen a cada grupo.

4.3 MODELO PARA COMPARAR LOS PEAJES URBANOS Y LAS ZBE

En este apartado se va a explicar un modelo cuyo principal punto de interés es que se pueden comparar las dos medidas más populares las Zonas de Bajas Emisiones y los peajes urbanos (Bernardo, Fageda y Flores-Fillol 2021). Este modelo va a ser también similar al primero que se ha explicado, pero introduciendo un nuevo parámetro, la polución. Al igual que antes va a haber N posibles conductores, pero ahora dos tipos de vehículos los limpios y los más contaminantes los vehículos más contaminantes van a pertenecer a los individuos con menor disponibilidad a pagar por el viaje y los más limpios por los que tengan más, por eso vamos a suponer un umbral n_p , donde $n < n_p$ representa a los coches limpios y $n > n_p$ a los coches más contaminantes, siendo n el número de conductores. Cada individuo va a seguir la misma función de utilidad del primer modelo, es decir, la Expresión 1 y la misma función de demanda, la Expresión 4.

En las funciones de costes sí que vemos algunos cambios al introducir la contaminación. En la función de coste medio, la Expresión 8 el principal cambio es el parámetro θ que indica el daño de congestión y el parámetro d que al igual que antes indica otros costes de conducir. La Expresión 9, que representa el coste marginal social, muestra cambios significativos respecto al modelo inicial. En esta versión, además de los dos parámetros anteriores, se introduce $\gamma \in (0, d)$ que representa el daño causado por la contaminación de los coches contaminantes ($n_p - n$) y el parámetro λ que es un indicador para diferenciar los dos tipos de coches.

$$CM = d + \theta n \quad (8)$$

$$CMS = d + 2\theta n + \lambda\gamma \text{ con } \lambda = \begin{cases} 0 & \text{para } n < n_p \\ 1 & \text{para } n \geq n_p \end{cases} \quad (9)$$

Para resolver el modelo, habría que aplicar condición de equilibrio, igualando las Expresiones 4 y 8, donde obtendremos la Expresión 10 que es el número de conductores iniciales.

$$n^e = \frac{a-d}{b+\theta} \quad (10)$$

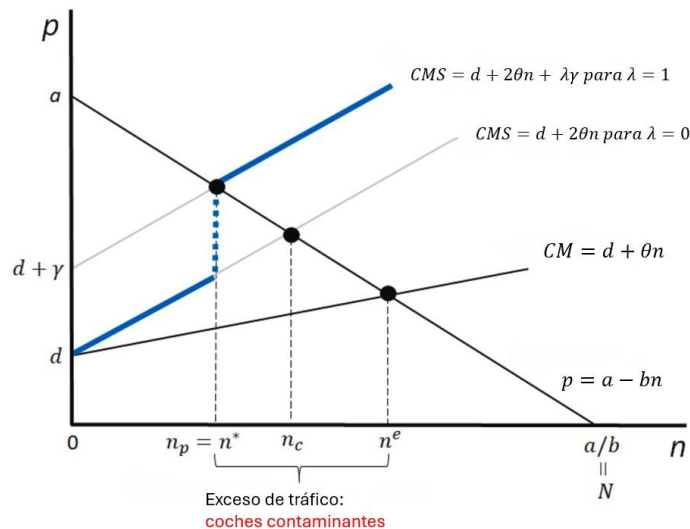
Si se combinan las Expresiones 4 y 9 obtenemos la Expresión 11 que es el numero óptimo de conductores desde el punto de vista social.

$$n^* = \frac{a-d-\lambda\gamma}{b+2\theta} \text{ con } \lambda = \begin{cases} 0 & \text{para } n < n_p \\ 1 & \text{para } n \geq n_p \end{cases} \quad (11)$$

La diferencia entre $n^e - n^*$ representa el exceso de tráfico en equilibrio, que está generando los dos tipos de externalidades. Estas externalidades pueden presentar dos situaciones posibles:

1. La contaminación es más grave que la congestión y el exceso de tráfico está formado solo por coches contaminantes, se puede ver este equilibrio en la Figura 4.6.

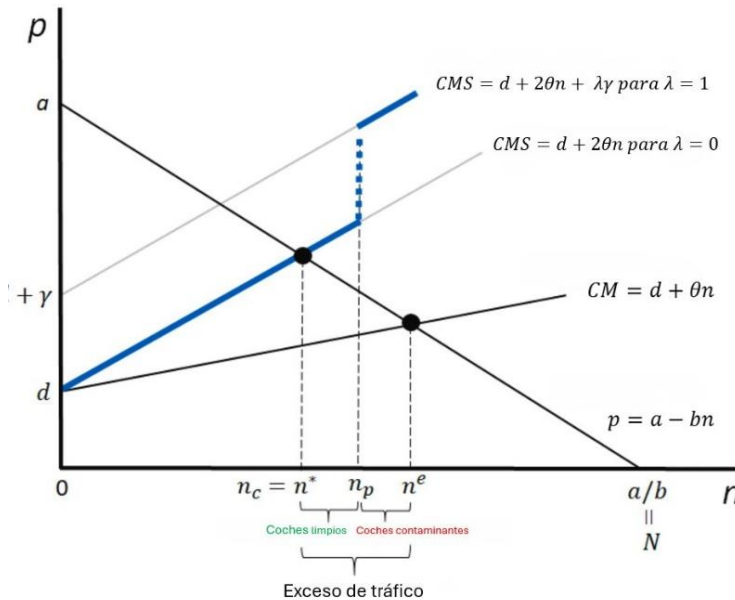
Figura 4.6: Equilibrio inicial cuando la contaminación es más grave que la congestión.



Fuente: Bernardo, Fageda y Flores-Fillol 2021.

2. La congestión es más grave que la contaminación, el exceso de tráfico estará formado por coches tanto contaminantes como limpios. Este equilibrio se puede ver en la Figura 4.7.

Figura 4.7: Equilibrio cuando la congestión es más grave que la contaminación.



Fuente: Bernardo, Fageda y Flores-Fillol 2021.

Hay que destacar que en ambos casos aparece un nuevo parámetro que no se había mencionado antes, n_c que representa el exceso de tráfico asociado a la congestión que desaparece con el impuesto asociado al peaje urbano. Por eso, este parámetro solo hay que tenerlo en cuenta para esta medida y no para las Zonas de Bajas Emisiones.

4.3.1 Situación 1 donde la contaminación es más grave que la congestión

En este apartado se va a tratar de comparar qué medida en términos de ganancia de utilidad es preferida por los ciudadanos. Para ello, vamos a dividir todos los individuos con los mismos tres grupos del modelo básico: conductores permanentes, exconductores y no conductores.

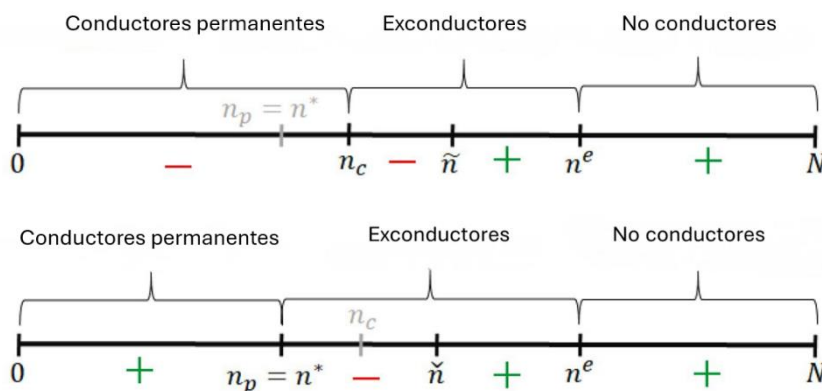
Primero de todo para el peaje urbano, los no conductores van a tener una ganancia de utilidad debido a que al igual que en modelos anteriores los ingresos del peaje se van a redistribuir igualitariamente entre toda la población, además de una ganancia medioambiental producida por la reducción de la contaminación ya que hay menos coches en circulación. Los conductores permanentes van a tener las mismas ganancias del grupo anterior además de una ganancia de tiempo en el viaje que realiza con el coche. También tienen una pérdida de utilidad producida por el precio del peaje y las ganancias no compensan a las pérdidas por lo que este grupo estará peor si se aplicara

un peaje urbano. Por último, a los exconductores les pasa un poco lo mismo que en modelo básico, tendrá ganancias de ingresos, de mejora ambiental y el coste que se ahorran al no realizar el viaje, pero pierden la utilidad que les generaba poder realizar el viaje. El resultado de este grupo dependerá de cada individuo ya que algunos saldrán ganando y otros perdiendo, para ello se puede calcular un valor $\tilde{n}$ a partir del cual cada individuo saldrá ganando con esta medida. Estos resultados se pueden ver gráficamente en la Figura 4.8.

Por otro lado, con la Zona de Bajas Emisiones, los no conductores van a tener solo las ganancias ambientales. Los conductores permanentes estas mismas además de la ganancia de tiempo, como ahora no tendrá que pagar el impuesto del peaje, no tendrá pérdida de utilidad por lo que en este caso sí que estarán mejor si se aplica la política. Por último, los exconductores estarán igual que antes (sin incluir la redistribución de los ingresos del peaje), por lo que se tendrá que calcular un valor $\tilde{n}$, a partir del cual los individuos de este grupo estarán mejor. Se puede ver gráficamente también en la Figura 4.8.

En este caso la Zona de Bajas Emisiones es preferida al peaje urbano ya que es más fácil de implementar debido a que hay más individuos que saldrían beneficiados con esta medida y por tanto más gente la votara. Además, como la contaminación es más grave que la congestión es más efectiva.

Figura 4.8: Resultado del modelo cuando la contaminación es más grave que la congestión



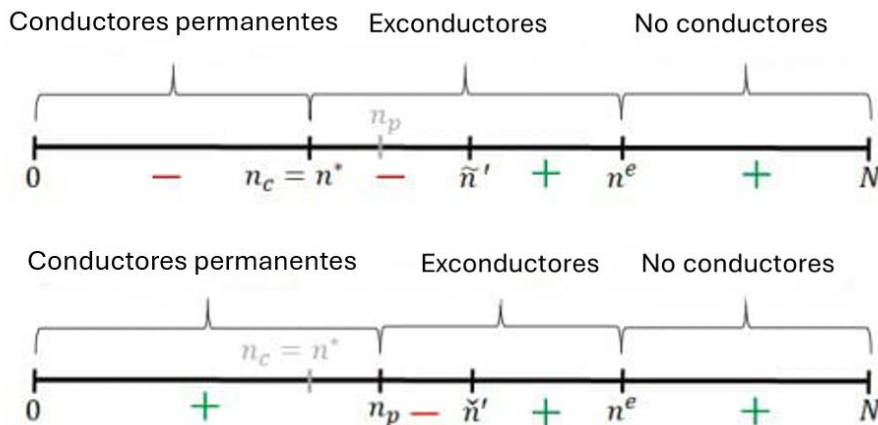
Fuente: Bernardo, Fageda y Flores-Fillol 2021.

4.3.2 Situación 2 donde la congestión es más grave que la contaminación

En este caso el exceso de tráfico está formado por coches tanto limpios como contaminantes, por eso $n_c = n^* > n_p > n^e$, como se puede ver en la Figura 4.9. Por lo tanto, este va a ser el único cambio respecto a la situación anterior, es decir, las cantidades de equilibrio. Las ganancias y pérdidas de utilidad en ambas medidas, para los tres grupos van a ser exactamente iguales a las de las del apartado anterior, como se puede ver en la Figura 4.9.

En este caso donde la congestión es más grave que la contaminación la realidad es que, aunque parezca más fácil de implementar una Zona de Bajas Emisiones igual que en el caso anterior, los peajes son más efectivos porque su principal objetivo es reducir la congestión, aunque puede reducir ambas externalidades a la vez.

Figura 4.9: Resultado del modelo situación 2



Fuente: Bernardo, Fageda y Flores-Fillol 2021.

5 CONCLUSIÓN

Como se ha visto, en la Unión Europea el principal factor determinante para establecer una armonización a la hora de establecer políticas medioambientales fue el tratado de Maastricht. A partir de esa fecha, estas políticas fueron endureciéndose poco a poco destacando por ejemplo la directiva de calidad del aire en 2008 o el Pacto Verde en 2019. A su vez las principales ciudades europeas han ido implementando diversas políticas para tratar de reducir las externalidades urbanas, destacando las Zonas de Bajas Emisiones o los peajes urbanos. Estos últimos son menos populares debido a que su principal objetivo es reducir la congestión y no la contaminación. Aunque como se ha analizado en algunas ciudades que han optado por tomar esta medida, la realidad es que los resultados son también bastante positivos a la hora de reducir la contaminación en las ciudades.

Después de todo lo mencionado podemos llegar a la conclusión de que ambas políticas son muy positivas a la hora de cumplir sus objetivos. Sin embargo, como se puede ver tras el análisis a las seis ciudades europeas que han implementado estas medidas la realidad es que los peajes urbanos son más efectivos a la hora de reducir las dos externalidades urbanas principales (contaminación y congestión). Esto puede resultar llamativo porque la medida por excelencia aplicada en Europa son las ZBE siendo muy pocas las que han decidido implementar peajes urbanos.

Una de las principales razones de esto puede ser el rumbo que está llevando ahora mismo la Unión Europea, ya que como hemos visto a finales de la época de los 2000 las políticas contra el cambio climático se han ido endureciendo cada vez más. El mayor compromiso con el medio ambiente favorece mucho la implementación de Zonas de Bajas Emisiones porque popularmente están más asociadas con reducir las emisiones de gases contaminantes en las ciudades. Aunque desde un punto de vista práctico si se analizan los resultados existentes, se comprueba que los peajes también reducen las emisiones en las ciudades a pesar de que igual no sea tan llamativos en este aspecto para la mayoría de población. Otra causa que puede explicarlo es la mayor aceptación de las Zonas de Bajas Emisiones es la mayor aceptación social. Como hemos visto en el apartado 4, desde un punto de vista teórico los peajes urbanos van a generar más descontento que las Zonas de Bajas Emisiones. Además de que en este trabajo no se está teniendo en cuenta la incertidumbre (por ejemplo, los ingresos que generan los peajes como van a ser empleados), lo cual sería otro punto más negativo para la implementación de peajes. Este punto de vista teórico se puede aplicar a la práctica, ya que en ciudades como Estocolmo o Londres que se aplicó esta medida, la gente no estaba a favor antes de realizarla. Sin embargo, si se realizan de manera correcta por ejemplo empleando convenientemente los ingresos generados del peaje invirtiéndolo en mejorar el transporte público, por ejemplo, hemos visto que la opinión de la gente cambia y suele quedar bastante satisfecha.

Para terminar, se puede decir que los peajes urbanos son más eficientes ya que al igual que las ZBE son muy útiles para reducir la contaminación en las ciudades y son mucho más eficientes reduciendo la congestión. A pesar de esto las Zonas de Bajas Emisiones son mucho más populares en Europa debido a la tendencia de políticas de los últimos años de centrarse más en reducir la contaminación, además de ser más fáciles de implementar por la mayor aceptación social. Por lo cual muchos gobiernos pueden decidir optar por esta medida por comodidad además de algún otro factor algo menos importante como la menor inversión que es necesaria para realizar las ZBE.

Las limitaciones que tiene este trabajo que es por tema de extensión solo se ha podido estudiar el caso de la implementación de tres ciudades por política (aunque en el caso de los peajes urbanos en Europa no hay muchas más). Esto significa que igual el análisis si hubiéramos estudiado más casos los resultados podrían ser otros. De la misma manera solo se han visto tres modelos teóricos y además de forma parcial ya que como se ha mencionado antes no se ha tenido en cuenta la incertidumbre la cual es importante en este tipo de modelos. Si bien es cierto que estos modelos sencillos pueden resultar útiles para entender un poco la falta de aceptación de los peajes la realidad es que son demasiado simples para compararlos con la realidad

6 BIBLIOGRAFÍA

- BERNARDO, V., FAGEDA, X. y FLORES-FILLOL, R., 2021. Pollution and congestion in urban areas: The effects of low emission zones. *Economics of Transportation*, vol. 26-27, ISSN 2212-0122. DOI 10.1016/j.ecotra.2021.100221.
- DE BORGER, B. y PROOST, S., 2012. A political economy model of road pricing. *Journal of Urban Economics*, vol. 71, no. 1, ISSN 0094-1190. DOI 10.1016/j.jue.2011.08.002.
- DE SADELEER, N., 2022. La armonización de legislaciones, mercado interior y medio ambiente: *CUADERNOS DE DERECHO TRANSNACIONAL*, vol. 14, no. 1, ISSN 1989-4570. DOI 10.20318/cdt.2022.6681.
- DORMIDO, L., GARRIDO, I., L'HOTELLERIE-FALLOIS, P. y SANTILLÁN, J., 2022. *EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL CRECIMIENTO: INICIATIVAS INTERNACIONALES Y POLÍTICAS EUROPEAS* [en línea]. 2022. S.I.: Banco de España. Disponible en: <https://repositorio.bde.es/bitstream/123456789/22528/1/do2213.pdf>
- ELIASSEN, J., 2009. A cost-benefit analysis of the Stockholm congestion charging system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 43, no. 4, ISSN 0965-8564. DOI 10.1016/j.tra.2008.11.014.
- ELIASSEN, J., HULTKRANTZ, L., NERHAGEN, L. y ROSQVIST, L.S., 2009. The Stockholm congestion – charging trial 2006: Overview of effects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 43, no. 3, ISSN 0965-8564. DOI 10.1016/j.tra.2008.09.007.
- FAGEDA, X. y FLORES-FILLOL, R., 2018. Congestión y polución en ciudades: ¿Mal endémico o medidas erróneas? *Nada es Gratis* [en línea]. [consulta: 8 agosto 2024]. Disponible en: <https://nadaesgratis.es/admin/congestion-y-polucion-en-ciudades-mal-endemico-o-medidas-erroneas>.
- GÁMEZ, C., 2023. *Estas son las zonas de bajas emisiones (ZBE) de las principales ciudades en España*. [en línea]. 20minutos, 2023. Disponible en: <https://www.20minutos.es/noticia/5172752/0/estas-son-las-zonas-bajas-emisiones-zbe-las-principales-ciudades-espana/>.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, 2022. Real Decreto 1052/2022. [en línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/12/27/1052>
- GEHRSITZ, M., 2017. The effect of low emission zones on air pollution and infant health. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 83, ISSN 0095-0696. DOI 10.1016/j.jeem.2017.02.003.
- GOBIERNO DE ESPAÑA, 2020. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [en línea]. [consulta: 7 agosto 2024]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/plan-adaptacion-cambio-climatico-2021-2030.html>.

- GOBIERNO DE ESPAÑA, 2021. *Las zonas de bajas emisiones en España*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [en línea]. [consulta: 7 agosto 2024]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/movilidad/zonas_de_bajas_emisiones_en_espana.html.
- GOBIERNO DE ESPAÑA, 2024. *Políticas y medidas para reducir la contaminación atmosférica*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [en línea]. [consulta: 7 agosto 2024]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/pol-med.html>.
- GOBIERNO DE ESPAÑA, [sin fecha]. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [en línea]. [consulta: 23 enero 2025]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico.html>.
- GONZÁLEZ PÉREZ, J., 2018. Impacto ambiental y económico del Vehículo Eléctrico (VE). En: Accepted: 2017-07-07T08:48:08Z [en línea], [consulta: 13 febrero 2025]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/19725>.
- HOLMAN, C., HARRISON, R. y QUEROL, X., 2015. Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities. *Atmospheric Environment*, vol. 111, ISSN 1352-2310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2015.04.009.
- LEAPE, J., 2006. The London Congestion Charge. *Journal of Economic Perspectives*, vol. 20, no. 4, ISSN 0895-3309. DOI 10.1257/jep.20.4.157.
- LUTZ, M., 2010. *Berlin's Low Emission Zone – top or flop? Results of an impact analysis after 2 years in force* [en línea]. 2010. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.nanoparticles.ch/archive/2010_Lutz_FO.pdf.
- MUÑOZ MIGUEL, J.P., CARRASCO DÍAZ, D. y ANGUITA RODRIGUEZ, F., 2012. *Los sistemas de peaje urbano de anticongestión: efectos y resultados sobre la movilidad sostenible en el ámbito de las grandes ciudades* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 23 agosto 2024]. ISBN 978-84-7356-853-1. Disponible en: <https://eciencia.urjc.es/handle/10115/7887>.
- PANTELIADIS, P., STRAK, M., HOEK, G., WEIJERS, E., VAN DER ZEE, S. y DIJKEMA, M., 2014. Implementation of a low emission zone and evaluation of effects on air quality by long-term monitoring. *Atmospheric Environment*, vol. 86, ISSN 1352-2310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2013.12.035.
- PERCOCO, M., 2013. Is road pricing effective in abating pollution? Evidence from Milan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 25, ISSN 1361-9209. DOI 10.1016/j.trd.2013.09.004.
- PERCOCO, M., 2014. The effect of road pricing on traffic composition: Evidence from a natural experiment in Milan, Italy. *Transport Policy*, vol. 31, ISSN 0967-070X. DOI 10.1016/j.tranpol.2013.12.001.
- POZUETA, J., 2008. La experiencia internacional en peajes urbanos. *Cuadernos de Investigación Urbanística* [en línea], no. 58, [consulta: 21 enero 2025]. ISSN 1886-6654, 2174-5099. Disponible en: <https://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/273>.

- ROTARIS, L., DANIELIS, R., MARCUCCI, E. y 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: Policy and Practice*, vol. 44, no. 5, ISSN 0965-8564. DOI 10.1016/j.tra.2010.03.008.
- SALAS, R., PEREZ-VILLADONIGA, M.J., PRIETO-RODRIGUEZ, J. y RUSSO, A., 2021. Were traffic restrictions in Madrid effective at reducing NO2 levels? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 91, ISSN 1361-9209. DOI 10.1016/j.trd.2020.102689.
- SÁNCHEZ, N.B., 2019. Título Zonas de Bajas Emisiones, herramienta contra la contaminación y el calentamiento del planeta Autoras. [en línea], Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2019/04/informe-zonas-de-bajas-emisiones.pdf>.
- SCHUSSER, S., 2012. Evaluating urban traffic planning schemes in their effect on air quality: A policy comparison between Stockholm's congestion charges and Berlin's low emission zone. [en línea], Disponible en: <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=2798855&fileId=2798857>.
- SOLORIO, I. y COSTA, O., 2013. *La Política medioambiental comunitaria y la europeización de las políticas energéticas nacionales de los estados miembros: la política europea de renovables y su impacto en España y el Reino Unido*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. ISBN 978-84-490-3694-1. 504. [en línea], Disponible en: <https://ddd.uab.cat/record/113034>
- TARRIÑO-ORTIZ, J., SORIA-LARA, J.A., GÓMEZ, J. y VASSALLO, J.M., 2021. Public Acceptability of Low Emission Zones: The Case of "Madrid Central". *Sustainability*, vol. 13, no. 6, ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su13063251.
- TASSINARI, F., 2022. Low emission zones and traffic congestion: Evidence from Madrid Central. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 185, ISSN 0965-8564. DOI 10.1016/j.tra.2024.104099.
- TURRÓ CALVET, M., 2020. *Nuevo modelo de peaje urbano vinculado a una segregación del tráfico por niveles de calidad* [en línea]. Tesis doctoral. S.I.: Universitat Politècnica de Catalunya. [consulta: 12 diciembre 2024]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/334945>.
- UNIÓN EUROPEA. PARLAMENTO EUROPEO, 2008. *DIRECTIVA 2008/50/CE de calidad de aire* [en línea]. 2008. S.I.: s.n. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2008/152/L00001-00044.pdf>.
- UNIÓN EUROPEA. PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, 2016. DIRECTIVA (UE) 2016/ 2284 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 14 de diciembre de 2016 - relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, por la que se modifica la Directiva 2003/ 35/ CE y se deroga la Directiva 2001/ 81/ CE. CE. [en línea], Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284>.
- UNIÓN EUROPEA. COMISIÓN EUROPEA, 2013. *Marco de Movilidad Urbana de la UE 2013* [en línea]. 2013. S.I.: s.n. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

[content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013SC0526](#)

UNIÓN EUROPEA. COMISIÓN EUROPEA, 2021. *Marco de Movilidad Urbana de la UE 2021* [en línea]. 2021. S.l.: s.n. Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/es/qanda_21_6729/QANDA_21_6729_ES.pdf.

UNIÓN EUROPEA. CONSEJO DE LA UE, 2024. *Calidad del aire* [en línea]. 2024. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/air-quality/>.