EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LA ZONA DE BAJAS EMISIONES DE BARCELONA

Junio 2022

Ajuntament de Barcelona

ksnet / knowledge sharing network

AUTORÍA DEL INFORME

ROMEN ADÁN
Politólogo y *Data Scientist*

MARÍA LAFFAIRE
Politóloga y Econometrista

MARÍA SÁNCHEZ
Economista

PABLO TUCAT
Economista

PETICIONARIO

AYUNTAMIENTO DE BARCELONA

Los contenidos de esta publicación están sujetos a una licencia de Reconocimiento – No comercial – Sin Obra Derivada (by-nc-nd) con finalidad no comercial y sin obra derivada. Se permite copiar y redistribuir el material en cualquier medio y formato, siempre que no tenga fines comerciales y no se distribuya ninguna obra derivada.
La licencia completa se puede consultar en
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-n d
/4.0/deed.ca

ÍNDICE

1 Introducción 1
2 Marco regulador de la Zona de Bajas Emisiones 4
2.1 Dónde 4
2.2 Cuándo 5
2.3 Quién 6
2.4 Cómo 8
3 Evaluación de impacto de la ZBE en coches, motocicletas y ciclomotores 8
3.1 La movilidad antes y después de la entrada en vigor del régimen sancionador 9
3.2 Resultados de la evaluación de impacto 13
3.3 El impacto monetario de la ZBE 19
4 Evaluación ex-ante del impacto de la ZBE en furgonetas, camiones, autobuses y autocares 22
4.1 La problemática a analizar 22
4.2 Estimación del parque de vehículos afectados 23
4.3 El coste de sustitución de los vehículos 24
4.4 El coste por ramas de actividad 27
4.5 Impacto total 28
5 Bibliografía 31
Anexo I 33
Anexo II 39
Anexo III 41

1 Introducción

La ciudad de Barcelona, como otras muchas ciudades europeas, sufría hasta el año 2019 superaciones del valor límite anual de protección de la salud por dióxido de nitrógeno de 40 µg/m^3, y también de los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud por este contaminante y por las partículas en suspensión PM_{10}. Esta situación es problemática puesto que numerosos estudios epidemiológicos ya han puesto de manifiesto el impacto que tienen estos contaminantes atmosféricos en la salud de la población.

En este contexto, y con el fin de reducir la contaminación atmosférica de la ciudad y proteger el derecho a la salud de la ciudadanía, el 1 de diciembre de 2017 entró en funcionamiento la Zona de Bajas Emisiones del ámbito rondas de Barcelona (en adelante ZBE), un área de más de 95 km^2 que incluye Barcelona y los municipios circundantes a las rondas, donde se ha ido restringiendo progresivamente la circulación de vehículos más contaminantes. De hecho, hasta finales del año 2019, esta ZBE se activaba sólo en momentos de episodios de alta contaminación y no es hasta el mes de enero de 2020 cuando se establece la ZBE de forma estructural. Sin embargo, no es hasta el 15 de septiembre del mismo año cuando entra en vigor el régimen sancionador para turismos (M1) y motocicletas y ciclomotores (L) sin etiqueta ambiental, régimen que se ha ido ampliando a otros tipos de vehículos - furgonetas (N1) desde el 1 de abril de 2021 y camiones (N2, N3) y pequeños autocares (M2) desde enero de 2022 - y que se prevé que acabe de ampliarse a la totalidad de vehículos incluyendo a los autobuses y autocares (M3) destinados al transporte colectivo de personas a partir de julio de 2022.

Las ZBE no son una nueva herramienta para paliar los efectos de la contaminación derivada del tráfico en las grandes ciudades. De hecho, fueron introducidas por primera vez en Estocolmo en 1996, y desde entonces se han convertido en un instrumento de amplia utilización por diversas ciudades del mundo. Actualmente, más de 250 ciudades europeas tienen ZBE activas o planificadas, encontrándose la mayor cantidad de ellas en Italia y Alemania.[1] Además, la creciente preocupación en torno a la problemática medioambiental explica el elevado grado de aceptación entre la población de este tipo de mecanismos. De acuerdo con una encuesta realizada en 2018 en nueve países europeos, más del 67% de los residentes apoyaban restricciones que limiten el acceso a la ciudad de vehículos con altas emisiones [2], resultados similares a los encontrados por Barcelona en el año 2021, donde el 64% de los encuestados acepta la implementación de una ZBE.[3]

[1] Amundsen & Sundvor , (2018); Lurkin *et al* ., (2021); Müller, (2018)
[2] Müller, (2018)
[3] Oltra *et al* ., (2021)

Muchas de las actuaciones de estas ZBE han sido evaluadas, por lo general en términos de reducción de la contaminación, el objetivo primordial de su implementación. En este sentido, la mayoría de estudios apuntan a que las ZBE son un mecanismo eficaz para reducir la contaminación, aunque la eficiencia depende del tipo de contaminante analizado.[4]

Además, el grado de eficacia de una ZBE depende también de su diseño. Las ZBE más restrictivas son más efectivas y logran reducir el nivel de contaminantes entre un 6% y un 8% más que las más laxas, consiguiendo impactos de mayor magnitud sobre la salud.[5] Por ejemplo, la implementación del Ultra ZBE en Londres en 2019 habría provocado una fuerte disminución en los niveles de NO_2 mientras que otros ZBE que afectan sólo a vehículos de mercancías habrían generado menos beneficios que aquellas que incluyen también a los automóviles.[6]

La evidencia del impacto de las ZBE sobre otros aspectos más allá de la contaminación es más limitada. Existen pocos estudios que analicen los impactos socioeconómicos de las ZBE y la mayor parte de estos estudios se basan en la aplicación de técnicas cualitativas[7] o análisis coste-beneficio[8]. Si bien estas metodologías ofrecen indicios sobre cuáles son los posibles efectos socioeconómicos de las ZBE, no permiten cuantificar de forma rigurosa estos efectos.

Por otra parte, existen una serie de estudios que analizan los efectos de la ZBE sobre el parque de vehículos – ¿se generan incentivos suficientes para cambiar de vehículo? – y los patrones de movilidad – ¿disminuye la congestión debido a un cambio en la modalidad de transporte? Para el caso de Londres, por ejemplo, se observa que con la entrada en vigor de la ZBE incrementó un 20% la tasa de sustitución de los vehículos afectados por la regulación, pero en los años subsiguientes esta tasa devolvía a su tendencia anterior [9]. Para el caso alemán, uno de los países con más ZBE, se ha podido observar cómo los vehículos comerciales con etiqueta verde aumentan cuanto más cerca se está de una ZBE, lo que demuestra que los propietarios de vehículos tienen un incentivo para adoptar tecnologías más limpias cuanto más cerca vivan de una ZBE.[10] Un estudio centrado en varias grandes áreas urbanas europeas muestra que, aunque las ZBE son eficaces en reducir la contaminación, lo son menos en reducir la congestión, lo que se acentúa cuando se aplican en zonas específicas de la ciudad y no en el su conjunto.[11] Para el caso español existen dos estudios sobre el impacto de Madrid Central. Uno de ellos muestra que la probabilidad de poseer un automóvil es un 33% menor en los hogares situados dentro de la ZBE

[4] Panteliadis *et al* ., (2014), Gehrsitz, (2017); Holman *et al.* , (2015); Lebrusán & Toutouh, (2020); Malina & Scheffler, (2015); Morfeld *et* al., (2014); Salas *et al* ., (2021); Santos *et al* ., (2019)
[5] Gehrsitz, (2017), Malina & Scheffler, (2015)
[6] Prieto-Rodriguez *et al* ., (2021) , Poulhès & Proulhac, (2021)
[7] Broaddus *et al* ., (2015); Browne *et al* ., (2007); Dablanc & Montenon, (2015)
[8] Danielis *et al* ., (2011; Roth *et al* ., (2021)
[9] Ellison *et al.* (2013)
[10] Wolff (2014)
[11] Bernardo *et al.* (2020)

en comparación con los hogares situados fuera[12] y el otro encuentra indicios de un efecto de desplazamiento del tráfico desde la zona restringida hacia las zonas fronterizas , dinámica que ha provocado una mayor utilización del transporte público para desplazarse al centro de pero también ha generado viajes más largos en los desplazamientos no dirigidos al centro de la ciudad para evitar la zona restringida.[13]

En este contexto, cobra mucha importancia evaluar el impacto socioeconómico de la ZBE de Barcelona, atendiendo a que el régimen sancionador para turismos y vehículos ligeros ya lleva un año y medio en funcionamiento y, por tanto, puede empezar a mostrar efectos en términos de cambios en los patrones de movilidad y en número de vehículos sustituidos. Asimismo, es importante poner de manifiesto cuáles pueden ser las consecuencias económicas de la ampliación de esta ZBE a otras tipologías de vehículos destinados a fines comerciales.

En este informe, por tanto, se dará respuesta a estas dos cuestiones. En primer lugar, se presenta una evaluación del impacto de las medidas aplicadas para los coches, motocicletas y ciclomotores en términos de cambios en los patrones de movilidad y de tasas de reposición de vehículos, con una cuantificación económica asociada a estos impactos. En segundo lugar, se presenta un cálculo del impacto potencial en términos monetarios de la ampliación de la ZBE en furgonetas, camiones autobuses y autocares. Cabe remarcar, por tanto, que quedan fuera del análisis los impactos directos e indirectos en términos de reducción de la contaminación, que también tienen una vertiente económica; y los impactos económicos sobre la hacienda municipal, más concretamente, sobre los costes del transporte público y sobre la recaudación, ya sea a través de los ingresos por sanciones, como de los cambios en la recaudación del impuesto de vehículos y de las tasas de aparcamiento en zonas azul y verde de la ciudad.

[12] Gonzalez *et al.* (2021)
[13] Tassinario (2021)

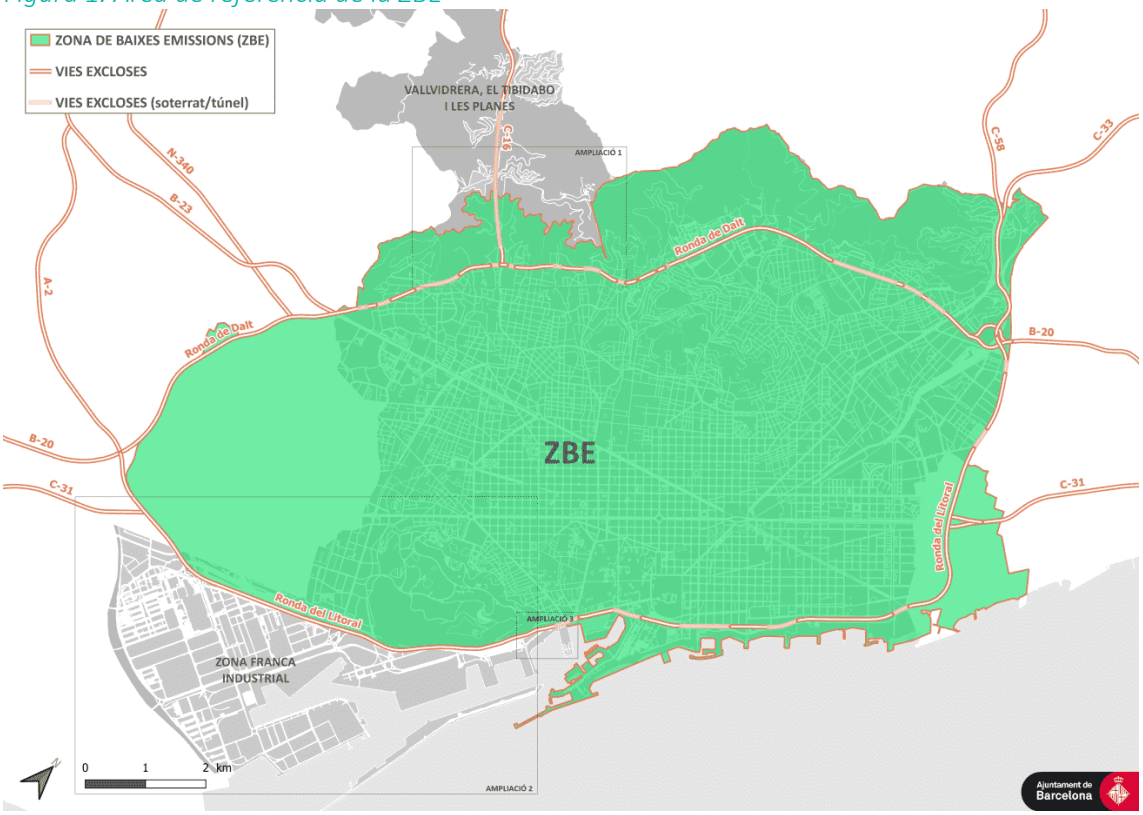
2 Marco regulador de la Zona de Bajas Emisiones

La ZBE es un área de más de 95 km^2 en la que se restringe progresivamente la circulación de los vehículos más contaminantes con el objetivo de mejorar la calidad del aire, proteger el medio ambiente y garantizar el derecho a la salud de las personas. De hecho, el objetivo de la ZBE es reducir la contaminación ambiental, preservar y mejorar la calidad del aire y la salud pública y forma parte de las acciones para reducir en 15 años un 30% de las emisiones de contaminantes al atmósfera, principalmente dióxido de nitrógeno (NO_2) y partículas en suspensión (PM_{10}).

2.1 Dónde

La ZBE engloba todo el término municipal de Barcelona excepto la Zona Franca Industrial y el barrio de Vallvidrera, El Tibidabo y Les Planes, así como los municipios de Sant Adrià del Besòs y Hospitalet de Llobregat y parte de los municipios de Esplugues de Llobregat y Cornellà de Llobregat. Además, tanto el tronco central de la Ronda da Dalt como de la Ronda del Litoral están excluidas de la ZBE. La Figura 1 muestra el área de referencia de la ZBE.

Figura 1. Área de referencia de la ZBE



Fuente: https://www.zbe.barcelona/es/zones-baixes-emissions/la-zbe.html

2.2 Cuándo

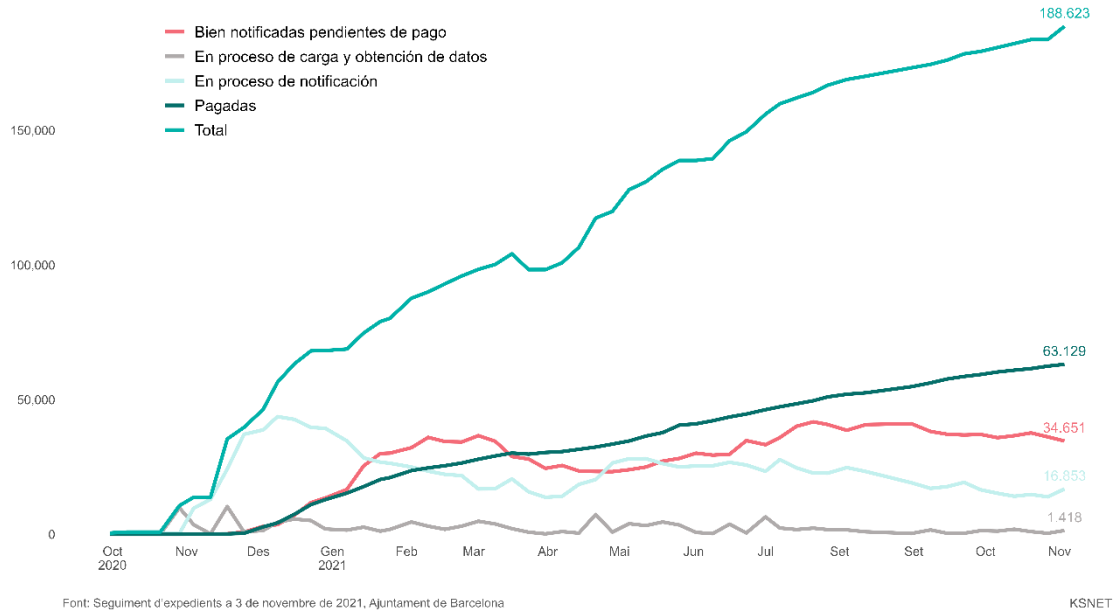
La ZBE entró en vigor en enero del año 2017 por episodios de contaminación de NO_2 aunque nunca se llegó a activar al no declararse ninguno de estos episodios. De todas formas, no se trataba todavía de una medida estructural sino de una medida de carácter puntual para episodios de elevada contaminación. Más adelante, el 20 de diciembre de 2019 entró en vigor la Ordenanza reguladora de la ZBE estructural, que se activó en enero de 2020 para turismos (M1), motos y ciclomotores (L) que no les correspondiera distintivo ambiental de la DGT. Así, a partir de entonces, quedaba restringida la entrada de ese tipo de vehículos dentro de la ZBE. Sin embargo, hasta abril del mismo año no se preveía que entrara en vigor el régimen sancionador. En estos meses entre enero y abril estalló la crisis de la Covid-19, modificando muchas de las situaciones que estaban previstas, no sólo en la ciudad de Barcelona sino en todo el mundo. En línea con esto, la entrada en vigor del régimen sancionador quedó aplazada hasta septiembre de 2020 (ver Tabla 1).

Desde ese momento, el incumplimiento de la normativa prevé sanciones económicas a partir de 100 euros, en función de si se trata de infracción leve, grave o muy grave. Además, en caso de reincidencia, las sanciones pueden incrementarse un 30% respecto al mínimo. La Figura 2 muestra la evolución de los expedientes sancionadores desde la entrada en vigor del régimen sancionador en septiembre de 2020 hasta un año después, en octubre de 2021, así como los expedientes pagados, notificados pero pendientes de pago, en proceso de notificación y en proceso de carga y obtención de datos. Así, el gráfico muestra cómo el número de expedientes total aumentó desde su entrada en vigor de forma muy rápida durante los primeros meses (a tasas de más del 100%), estabilizándose este crecimiento cerca del 4% mensual al año de su entrada en vigor y representando un total de expedientes en el primer año de aplicación del régimen sancionador de más de 180.000, de los cuales un 33% han sido pagados.

Tabla 1. Cronología de la puesta en marcha de la ZBE para turismos y motocicletas

Fecha	Hito
01/12/2017	Puesta en marcha de la ZBE Rondas de Barcelona, con restricciones aplicables sólo en caso de declaración de episodio de contaminación por NO_2. Durante este período nunca entraron en vigor las restricciones ya que no se declaró ningún episodio.
20/12/2019	Aprobación definitiva de la Ordenanza reguladora de la ZBE estructural.
01/01/2020	Activación de la ZBE para turismos (M1) y motocicletas y ciclomotores (L). En esta etapa comienza la prohibición permanente de circulación dentro de la ZBE Rondas de Barcelona a turismos (M1), motos y ciclomotores (L) que no les corresponda distintivo ambiental de la DGT durante el horario de 7 a 20 horas de lunes a viernes laborables.
01/04/2020	Inicio previsto del régimen sancionador que queda aplazado al 15 septiembre de 2020 a causa de la crisis del COVID.
15/09/2020	Inicio del régimen sancionador de la ZBE sancionador por turismos (M1) y motocicletas y ciclomotores (L) sin etiqueta ambiental.

Figura 2. Expedientes sancionadores entre septiembre de 2020 y noviembre de 2021



Además de afectar a turismos, motocicletas y ciclomotores, la ZBE se ha ido ampliando a otros tipos de vehículos. De hecho, desde abril de 2021 queda restringida la entrada de las furgonetas (N1) sin distintivo ambiental en la ZBE, ampliándose en enero de 2022 a autocares pequeños (M2) y transporte de mercancías (N2 y N3) sin etiqueta. Por último, está prevista la entrada en vigor de restricciones para autobuses y autocares (M3) destinados al transporte colectivo de personas sin etiqueta en julio de ese mismo año.

2.3 Quién

Actualmente, la ZBE afecta a los siguientes vehículos:

- Turismos de gasolina anteriores a la norma Euro 3 (habitualmente matriculados antes de 2000) y los diésel anteriores a la norma Euro 4 (habitualmente matriculados antes de 2005/2006).
- Motocicletas y ciclomotores (L), anteriores a la norma Euro 2 (habitualmente, matriculados antes de 2003).
- Furgonetas (N1) de gasolina anteriores a la norma Euro 3 (matriculadas antes de 2000) y las diésel anteriores a la norma Euro 4 (matriculadas antes de 2005 o 2006).

- Camiones (N2, N3) y autocares pequeños (M2) anteriores a la norma Euro 4 (habitualmente matriculados antes de 2006 o 2007).

Además, en julio de ese mismo año se prevé la incorporación de los autobuses y autocares (M3) destinados al transporte colectivo anteriores a la norma Euro 4 (habitualmente matriculados antes de 2006 o 2007).

La medida contempla algunas excepciones y autorizaciones de acceso puntuales para la circulación de estos vehículos en períodos de restricción. Estos son:

- Para los vehículos a los que no les corresponda el distintivo ambiental de la DGT (todas las tipologías de vehículo a los que se les acabe la moratoria) es posible pedir al Área Metropolitana de Barcelona (AMB) una autorización de 24 horas para circular, con un máximo de 10 autorizaciones al año, a través del Registro metropolitano de vehículos extranjeros y otros vehículos autorizados.
- Vehículos que disponen de matrícula extranjera que cumplen los requisitos tecnológicos y de emisiones de acceso a la ZBE y no estén identificados en la base de datos de la DGT.
- Vehículos que requieren una autorización temporal para acceder, de forma esporádica, a la ZBE porque prestan un servicio singular como:
    - Vehículos que prestan un servicio singular.
    - Vehículos con autorización específica por parte del Ayuntamiento para prestar actividades singulares o eventos extraordinarios en la vía pública.
    - Vehículos que transporten a personas diagnosticadas de enfermedades que requieran realizar tratamientos médicos de forma periódica.
- Vehículos con exenciones permanentes:
    - Vehículos dedicados al transporte de personas con movilidad reducida (VPMR).
    - Vehículos de servicios: afecta a vehículos que prestan servicios médicos, servicios funerarios, protección civil, bomberos, policía y cuerpos y fuerzas de seguridad del Estado.
    - Personas con autorización sanitaria: vehículos para personas con enfermedades que condicionan el uso del transporte público o que deban realizar tratamientos de forma periódica.
- Para el caso de vehículos comerciales (N1, N2, N3 y M3), se establece una moratoria de seis meses siempre que acrediten la compra de un vehículo de motor nuevo que cumpla los requisitos tecnológicos y de emisiones de acceso a las ZBE.

2.4 Cómo

Desde la entrada en vigor de las primeras medidas en 2017, los vehículos que circulan por la ZBE no están obligados a llevar la etiqueta o distintivo del AMB enganchado al coche. Hasta el año 2020, en caso de no llevarla, podían ser parados por la Guardia Urbana o las policías locales para comprobar la documentación y la posibilidad de circular por la ZBE.

A partir del año 2020, el control de la circulación en la ZBE se realiza automáticamente mediante más de 120 cámaras de lectura que contrastan las matrículas con la correspondencia de la etiqueta ambiental de la DGT y con el Registro metropolitano de vehículos extranjeros y otros vehículos autorizados.

3 Evaluación de impacto de la ZBE en coches, motocicletas y ciclomotores

Siguiendo aquella idea de que lo que no se mide no se puede mejorar, en este apartado se presentan los resultados de la evaluación del impacto en la movilidad de los ciudadanos y ciudadanas con turismos y vehículos ligeros afectados por la ZBE. Una vez identificados los cambios en los patrones de movilidad de las personas que viajan por la ZBE, se cuantifica el coste que supone en euros y se compara con el coste de altas alternativas de movilidad.

Para realizar este análisis se han utilizado los datos de la Encuesta de Movilidad en Día Laborable (EMEF), elaborada por el Instituto de Estudios Regionales y Metropolitanos de Barcelona (IERMB), para los años 2019 y 2020. Esta encuesta analiza la movilidad en día laborable de los residentes (de 16 y más años) en el ámbito territorial del Sistema Tarifario Integrado (STI) del área de Barcelona. El trabajo de campo de la encuesta se realiza en el último trimestre de cada año. De esta forma, teniendo en cuenta que la entrada en vigor de las sanciones por circular en la ZBE fue en el mes de septiembre del año 2020, los datos proporcionan información de los desplazamientos diarios antes de que fuera efectiva la ZBE (datos por 2019) y después de que entrara en vigor (2020).

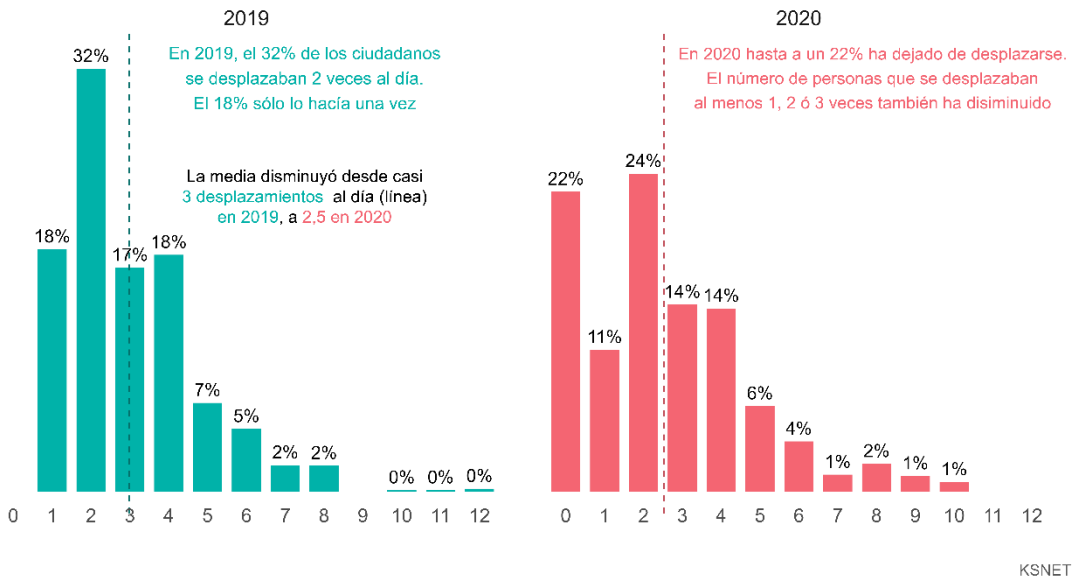
Más concretamente, esta encuesta permite identificar qué viajes ha realizado una persona durante un día laborable en el momento de la encuesta, el medio de transporte utilizado, en caso de que éste sea un vehículo privado, la antigüedad y el combustible, la duración del trayecto, los municipios de origen y destino, la franja horaria en la que se realiza el desplazamiento o las características sociodemográficas de las personas que viajan, entre otros. Una de las claves de esta encuesta es que existe una parte de los individuos que son los mismos cada año. Esto permite

realizar el seguimiento de estos individuos, y analizar los cambios que se hayan producido en relación a su movilidad.

3.1 La movilidad antes y después de la entrada en vigor del régimen sancionador

En primer lugar, teniendo en cuenta a todo el mundo que al menos se desplazaba una vez al día dentro de la ZBE en 2019, se analiza qué ocurrió con su movilidad tras la entrada en vigor del régimen sancionador. La Figura 3 muestra la distribución del número de desplazamientos diarios por persona según los datos del EMEF en 2019 (antes de las sanciones) y en 2020 (después de las sanciones). Así, se ve que un 22% de las personas que se desplazaban en 2019, dejaron de hacerlo en 2020 y el número de personas que se desplazaban al menos 1, 2 o 3 veces también disminuyó.

Figura 3. Número de desplazamientos diarios por persona en la ZBE



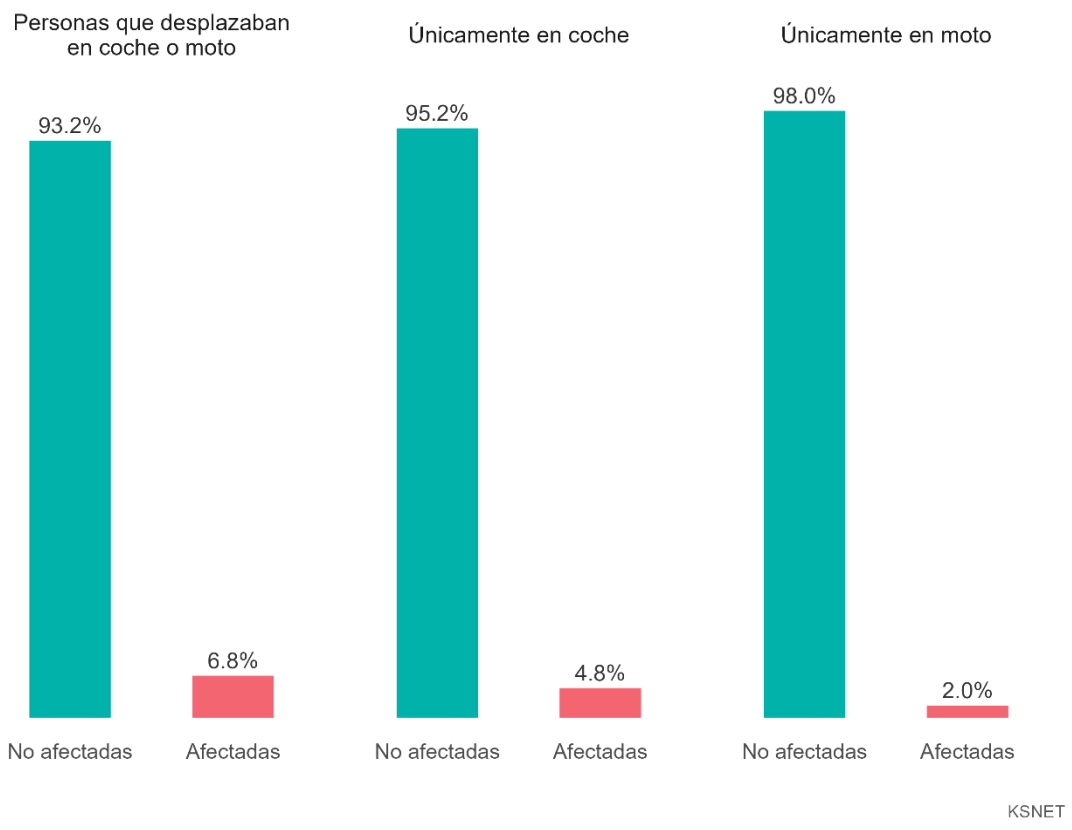
Fuente: elaboración propia con datos del EMEF (2019-2020)

Se podría pensar, pues, que esta disminución viene dada por la aplicación de la ZBE, ¿pero es así? En 2020, además de la entrada del régimen sancionador de la ZBE, la movilidad se redujo por culpa de la pandemia de la Covid-19. De hecho, en marzo de 2020 incluso se dictó una orden de confinamiento domiciliario que redujo la movilidad de forma completamente artificial. En este sentido, cabe destacar que los datos del EMEF hacen referencia a un período de 2020 donde esta restricción ya no estaba vigente pero, sin embargo, en muchos casos se seguía recomendando el teletrabajo así como el aislamiento en casa de las personas contagiadas.

En este contexto, pues, cabe preguntarse si la caída de la movilidad viene dada por la Covid-19 o por la ZBE. De hecho, para poder evaluar el impacto de esta última, es imprescindible poder

atribuir los cambios en los patrones de movilidad a la entrada del régimen sancionador, separándolos de los cambios provocados por la Covid-19. Para realizar este ejercicio, se ha procedido a separar a las personas que se desplazaban al menos una vez por la ZBE en 2019 en dos grupos: aquellas que tienen vehículos afectados por la ZBE, es decir, aquellas en coches (M1) y motocicletas y ciclomotores (L) sin etiqueta ambiental (personas con vehículos afectados o grupo de tratamiento) y aquellas que tienen el mismo tipo de vehículo de gasolina o gasoil pero con etiqueta ambiental (personas con vehículos no afectados o grupo de control). La Figura 4 muestra la proporción de personas con vehículos afectados y no afectados según se mueven en coche o en motocicleta o ciclomotor. Observando esta figura se ve que de las personas que se desplazaban en turismos o vehículos ligeros en 2019, un porcentaje muy bajo (menos del 7%) están afectados por las restricciones de la ZBE.

Figura 4. Proporción de desplazamiento en coches, motocicletas o ciclomotores afectados y no afectados por la ZBE



Fuente: elaboración propia con datos del EMEF (2019-2020)

Ahora bien, ¿cómo es ese 7% de afectados por la ZBE en términos sociodemográficos? A nivel descriptivo, este grupo está formado mayoritariamente por hombres (78%), tan sólo un 11% de los afectados son menores de 30 años, más de la mitad tiene estudios superiores (64%) y una minoría se encuentra en situación de desempleo (14%). Además, sólo un 19% vive en municipios

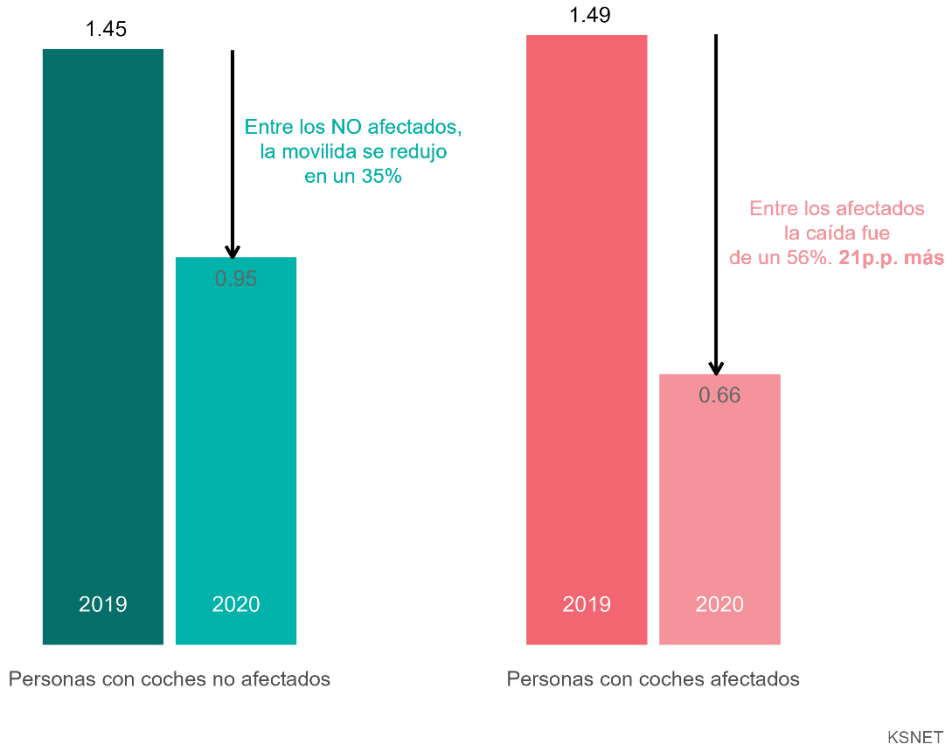
de renta baja, es decir, municipios en los que la renta se encuentra por debajo de la media de Cataluña.

Sin embargo, en este punto debemos plantearnos si el grupo de afectados y no afectados son sociodemográficamente similares o si, por el contrario, existen importantes diferencias entre ellos. Dado que el objeto de este informe es identificar qué proporción de la caída de movilidad es consecuencia de la ZBE y no de cualquier otro factor, los grupos deberían ser similares. A modo de ejemplo: si en un grupo el 80% estuviera desempleado, y en el otro únicamente un 20%, y supiéramos que las personas desempleadas tienen hábitos de movilidad diferentes a los que están ocupados, ¿hasta qué punto los cambios que vemos son consecuencia de la ZBE y no de esta característica? Afortunadamente, éste no es el caso, y el grupo de afectados y no afectados es muy parecido a nivel sociodemográfico, por lo que los porcentajes mencionados justo arriba se replican casi idénticamente en el grupo de no afectados. El hecho de que esta condición se cumpla facilita la posibilidad de conocer cuál ha sido el impacto de la ZBE.

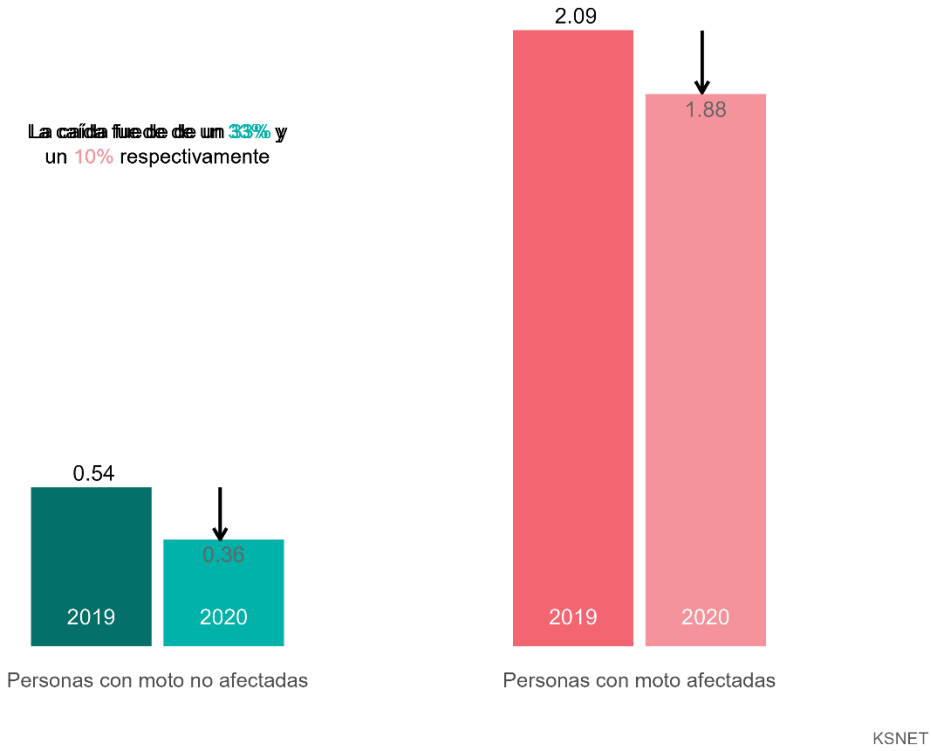
Una vez definidos estos dos grupos, cabe preguntarse si la disminución de la movilidad que se observaba en la figura 3 es distinta en estos dos grupos. Así, si la reducción es la misma para ambos grupos, los datos estarían indicando que ésta es consecuencia de la pandemia y no de la entrada en vigor de las sanciones en la ZBE. Si, por el contrario, se observa una caída de la movilidad sólo en el grupo de vehículos no afectados, podría concluirse que la pandemia no ha tenido ningún efecto y que toda la explicación se encuentra en la ZBE. La opción intermedia es aquella en la que en ambos grupos se observa un descenso de la movilidad pero en el grupo afectado esta caída es superior. Esto podría estar mostrando una situación en la que la movilidad cae por todo el mundo a causa de la Covid-19 pero por los vehículos afectados lo hace más gracias a la ZBE. La Figura 5 muestra las reducciones en el número de viajes en coche (Panel A) y en motocicleta o ciclomotor (Panel B) para el grupo de personas con vehículos afectados y no afectados.

Figura 5. Reducción en la movilidad por personas con vehículos afectados y no afectados por las restricciones de la ZBE

Panel A: Personas que se desplazan en coche



Panel B: Personas que se desplazan en motocicleta o ciclomotor



Teniendo en cuenta la figura anterior, puede verse cómo la movilidad en coche se redujo por ambos grupos de personas. De hecho, entre aquéllos con coches no afectados por la ZBE, los desplazamientos en coche cayeron un 35% mientras que en el caso de las motocicletas y ciclomotores no afectados esta reducción fue del 33%. Asimismo, los desplazamientos en coches y motos afectados por las restricciones se redujeron también. De hecho, la movilidad en coche afectado se redujo en un 56%, 21 puntos porcentuales más que aquélla en coche no afectado. Esto podría estar indicando que aunque la Covid-19 hizo que las personas se desplazaran menos en general, la ZBE logró que los viajes en vehículo contaminante fueran aún menos que lo que hubieran estado en ausencia de las restricciones.

De todas formas, estos resultados son tan sólo una comparativa entre dos grupos a nivel descriptivo. Para poder atribuir estas reducciones a la ZBE es necesario utilizar técnicas más sofisticadas que una comparativa de las medias entre un grupo y otro. Así, la evaluación de impacto presentada en este informe utiliza las llamadas técnicas econométricas casi-experimentales, que permite analizar el impacto de la entrada en vigor de la ZBE mediante la comparación, antes y después de su entrada en vigor, del grupo de individuos que se ha visto afectado por la medida y del grupo de individuos que no se ha visto afectado. Más concretamente, esta metodología es la llamada técnica de "diferencias en diferencias" (DiD, por sus siglas en inglés) y consiste en seguir la trayectoria del grupo de personas afectado por la medida (grupo de tratamiento), y el grupo que no se ha visto afectado (grupo de control) antes y después de la introducción de la ZBE. Además, estas técnicas permiten tener en cuenta cosas como que los coches afectados por la regulación son más antiguos y, por tanto, tienen una tendencia superior a desaparecer de la circulación respecto a sus homólogos más modernos, entre otros.

Este análisis comparativo entre dos grupos similares es importante para poder analizar el impacto de una política. Como en medicina, cuando se comprueba la eficacia de un medicamento, no es suficiente con evaluar si los pacientes que lo toman reaccionan positivamente, ya que esta reacción podría venir dada, por ejemplo, porque se trata de una enfermedad que se cura con el paso de los días. Por eso, lo que se hace es comparar a quienes reciben el tratamiento con un conjunto de gente muy similar, con la misma enfermedad, pero que reciben un placebo. Así, si la enfermedad se curara con el tiempo, a estos que no toman el medicamento también les pasaría y, comparando unos con otros, se vería que la mejora no es un efecto del medicamento.

3.2 Resultados de la evaluación de impacto

En el apartado anterior, la figura 5 mostraba una reducción de los desplazamientos en coche para personas afectadas por las mayores restricciones de la ZBE que para aquellas que no lo estaban. Esto no era el caso para las motocicletas y ciclomotores, sin embargo. La Tabla 2 muestra los

resultados de realizar esta comparativa pero utilizando los modelos econométricos explicados anteriormente que permiten aislar el efecto de la ZBE del resto de eventos que puedan estar influenciando la movilidad (ver el Anexo I para más detalle sobre los resultados, el modelo estimado y la metodología).

Tabla 2. Resumen del impacto de la ZBE en la movilidad en coche

	Resultado	Explicación
EFECTO GENERAL - COCHES	↓ 19p.p.	Las personas con **coches afectados** redujeron su movilidad en **19p.p.** más que las no afectadas.
Sexo		
Mujer vs Hombre	↓ 47p.p.	Las **mujeres** afectadas reducen en **47p.p.** más el uso del coche que los hombres>
Nivel de estudios		
Estudios superiores vs No superiores	↓ 40p.p.	Las personas con **estudios superiores** reducen **40p.p.** más sus desplazamientos
Ocupación del vehículo		
Viajar sola vs más de 1 persona	↓ 26p.p.	Las personas que **viajaban solas** reducen en **26p.p.** más sus desplazamientos que aquellas que viajaban acompañadas
Tiempo de desplazamiento		
Menos de 20 mins vs Superior a 20 mins	↓ 39p.p.	Quienes hacían traslados de **20min o menos** reducen su movilidad en **39p.p** más que los que hacían desplazamientos más largos
Renta Municipal		
Renta baja vs Media-Alta	↓ 48p.p.	Las personas que viven en **municipios de renta baja** disminuyen **48p.p.** más sus desplazamientos que las de renta media-alta

Observando la Tabla 2 es posible comprobar cómo los resultados que se habían intuido con el análisis descriptivo del apartado anterior se confirman. Una vez tenidos en cuenta todos los efectos alternativos en la ZBE, es posible afirmar que la entrada en vigor de las sanciones para coches sin etiqueta ambiental redujo el número de desplazamientos con estos vehículos en 19 puntos porcentuales más que los desplazamientos de los coches de gasolina y diésel con etiqueta.

Además, se ha realizado un análisis de varios grupos de población para ver quiénes son estas personas con coches afectados que reducen su movilidad. Este análisis se presenta a partir de la segunda fila de la Tabla 2. Así, podemos concluir que, en primer lugar, las mujeres redujeron más la movilidad que los varones (en 47 puntos porcentuales más). Por lo general, antes de la entrada en vigor de las sanciones, según los datos del EMEF, las mujeres se desplazaban más en coche pero había menos mujeres con coches afectados. Además, la proporción de desplazamientos para realizar compras y gestiones era muy superior en el caso de las mujeres que en el de los hombres, actividades que durante el 2020 se vieron reducidas. Además, las mujeres con coches afectados de la muestra analizada tenían estudios superiores en mayor proporción que los varones (el 83% tenían estudios superiores). Esto liga con el segundo análisis que se ha ejecutado que se centra en ver el papel del nivel de estudios en la reducción de la movilidad. Los resultados muestran que las personas con estudios superiores reducen su proporción de desplazamientos en coche más que aquéllas con niveles de estudios más bajos (en 40 puntos porcentuales más).

Este efecto podría venir explicado por el hecho de que durante 2020, la recomendación de teletrabajar estaba muy extendida aunque era de difícil cumplimiento para aquellos sectores de menor calificación, mientras que los sectores más vinculados a trabajo de oficina y niveles educativos más altos podían, en gran medida, no desplazarse al trabajo. Aunque el nivel de estudios muchas veces indica el nivel de renta de las personas, en este estudio no se ha podido analizar si son las personas con menos recursos las que más han reducido el uso del coche o son las personas con rentas más altas. Si los resultados del nivel educativo fueran indicativos, esto estaría mostrando que son las personas con más renta las que han dejado los coches contaminantes (seguramente para sustituirlo por uno nuevo) mientras que las personas con menos renta no han reducido tanto sus desplazamientos en coche. Alternativamente, es posible analizar el papel de la renta a nivel agregado, es decir, en función de la renta media del municipio de residencia de las personas afectadas por la regulación. Estos resultados muestran cómo son las personas que residen en municipios de renta baja las que reducen su uso del coche en mayor proporción (48 puntos porcentuales más que los de renta media-alta). Estos resultados, por tanto, indicarían el efecto contrario al del nivel educativo. Sin embargo, al no ser datos individuales se podrían reconciliar ambos resultados interpretando que son aquellas personas con niveles educativos altos de barrios de renta baja las que están disminuyendo más sus traslados en coche contaminante (el modelo econométrico, pese a contar con pocas observaciones para afirmarlo categóricamente apunta hacia esta conclusión).

Además de las características personales de las personas afectadas y no afectadas por las restricciones, se ha analizado cuáles han sido los cambios en función de la tipología de desplazamiento que éstas realizaban en 2019 (Tabla 2). Así, se comprueba cómo las personas que se movían en 2019 solas en coche respecto a las que lo hacían acompañadas disminuyen más su proporción de viajes en coche (26 puntos porcentuales más) así como también lo hacían las personas que realizaban trayectos cortos respecto a las que hacían trayectos más largos (39 puntos porcentuales más). Esto muestra dos efectos positivos respecto a la reducción de la congestión provocados por la ZBE ya que desincentiva la utilización del coche para trayectos cortos donde otras alternativas de transporte pueden ser buenas alternativas (bicicleta, a pie, transporte público) así como la baja ocupación de los vehículos, uno de los principales determinantes de las grandes congestiones en áreas urbanas.

Tabla 3. Resumen del impacto de la ZBE en la movilidad en moto

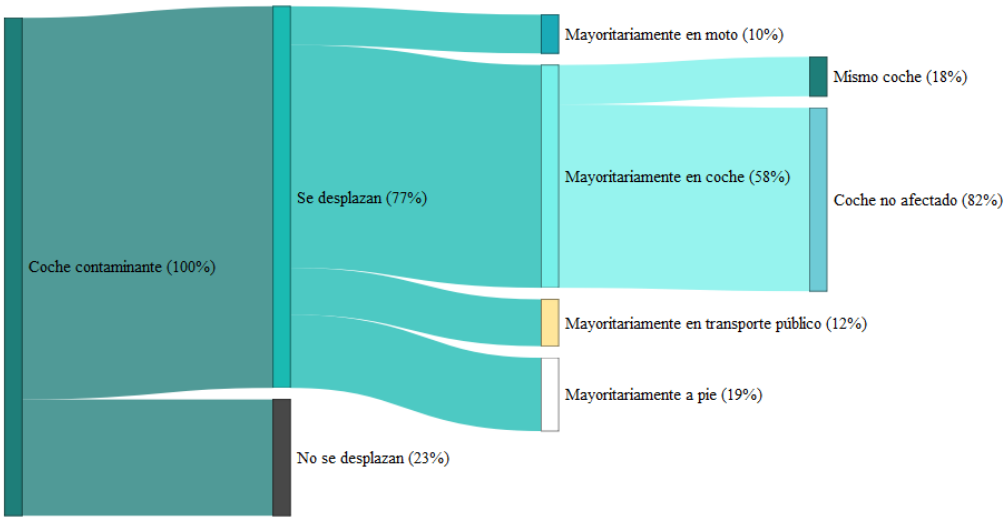
	Resultado	Explicación
EFECTO GENERAL - MOTOS	=	No hay diferencias entre afectados y no afectados.
Edad		
16-29 años vs más de 29	↓ 49p.p.	Los jóvenes de **16-29 años** redujeron su movilidad **49p.p.** más que los mayores de 29 años

La Tabla 3 muestra los resultados del impacto de las sanciones en la ZBE en los desplazamientos en motocicleta o ciclomotor. En este caso, los resultados permiten afirmar que las personas con motocicletas o ciclomotores afectados no disminuyeron su movilidad en mayor medida que las personas con estos vehículos no afectados por las restricciones. Para estas personas también se ha realizado un análisis por diversos colectivos y tipologías de viaje, pero no se han encontrado grandes diferencias entre colectivos. De hecho, lo único destacable de este análisis es que, aunque el efecto por la población en general no parece existir, sí es posible identificar que, cuando se analiza este impacto en diferentes franjas de edad, las personas más jóvenes sí dejaron de utilizar la moto, ya que su movilidad con este vehículo se redujo en 49 puntos porcentuales más que la de las personas mayores de 30 años.

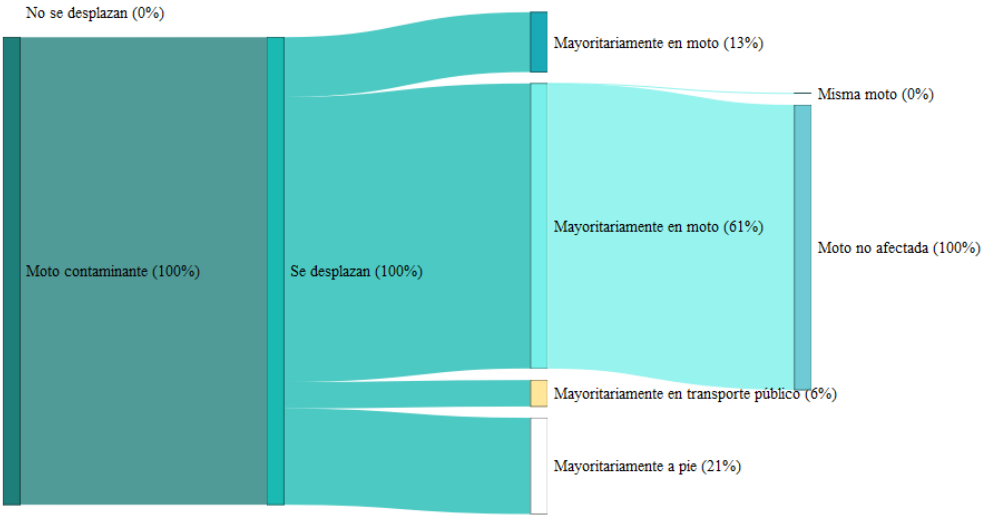
Por tanto, los primeros resultados de la evaluación apuntan a una reducción de la movilidad en coche afectado pero no a una reducción de la movilidad en moto afectada (para la población en general). ¿Qué puede estar explicando estas diferencias? Para responder a esta pregunta, se han analizado los cambios que se han producido en los modos de transporte de las personas en coche y moto afectados. La Figura 6 presenta, de forma descriptiva (no son los resultados del modelo), los medios de transporte escogidos por las personas que en 2019 se desplazaban en coche afectado (Panel A) y en moto afectada (Panel B).

Figura 6. Cambios en la movilidad y medio de transporte para las personas con coches y motocicletas o ciclomotores afectados

Panel A: Personas que se desplazaban en coche afectado



Panel B: Personas que se desplazaban en motocicleta o ciclomotor afectado



En primer lugar, se puede observar que un 23% de las personas que se desplazaban en coche afectado ya no se desplazan en 2020 pero del 77% que siguen haciéndolo, la mayoría lo hacen principalmente en coche. Sin embargo, el 82% de éstos lo hacen en un coche no afectado, lo que podría estar indicando que una parte de las personas con coches afectados (un 36,6%) han decidido sustituir el coche. Además, un 32% de las personas que antes viajaban en coche afectado, en 2020 utilizan otros medios de transporte como la moto, el transporte público o se desplazan a pie. Respecto a las motos, al contrario que en el caso de los coches, cabe destacar que no hay ninguna persona de la muestra utilizada que se desplazara en moto afectada y en 2020 no se desplace. Como en el caso de los coches, la mayoría siguen moviéndose en moto pero la totalidad de estos desplazamientos es con una moto no afectada por las restricciones. De nuevo, esto podría estar indicando otras tasas de sustitución de las motocicletas y ciclomotores afectados. También como en el caso del coche se ven trasvases a otros medios de transporte como el coche o transporte público, así como desplazamientos mayoritariamente a pie.

Pero esta evidencia es de nuevo descriptiva del grupo de afectados por la regulación. Por tanto, podría ser que el grupo de control también tuviera el mismo comportamiento y, por tanto, no sería la entrada en vigor del régimen sancionador de la ZBE lo que estaría causando estos cambios en los medios de transporte. Para comprobar que sea la ZBE la causante de estos comportamientos, se ha estimado de nuevo el mismo modelo econométrico anterior, teniendo en cuenta los traspasos de un tipo de medio a otro. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen del impacto de la ZBE en los cambios de medio de transporte

	Resultado	Explicación
De Coches a		
-> Motos	↑ 12p.p.	Las personas con coches afectados han **aumentado** en **12.pp. más** sus desplazamientos en moto que las no afectadas.
-> Transporte público	↑ 9p.p.	Han **incrementado** en **9p.p.** (no significativo) más su uso del **transporte público** que las no afectadas.
-> A pie	=	No hay diferencias.
-> Coche nuevo	↑ 16p.p.	Finalmente, han cambiado a un **coche nuevo** en **16p.p.** (no significativo) **más**.
De Motos a		
-> Coches	↑ 25p.p.	Las personas con motos afectadas han **aumentado** un **25 p.p. más** sus desplazamientos en coche que las no afectadas.
-> Transporte público	=	No hay diferencias.
-> A pie	=	No hay diferencias.
-> Moto nueva	↑ 69p.p.	Finalmente, han cambiado a una **moto nueva** en **69p.p. más** que los no afectados.

Las primeras filas de la Tabla 4 presentan la diferencia en el cambio de coche a moto, transporte público, a pie y coche nuevo (no afectado) entre el grupo de personas afectadas y no afectadas. Así, se puede ver cómo la reducción en los desplazamientos en coche de las personas en coche afectado que mostraba la Tabla 2, se ve reflejada en cambios en los medios de transporte.

En primer lugar, se observa un efecto sustitución del coche por motocicletas o ciclomotores: la probabilidad de desplazarse en moto en 2020 era 12 puntos porcentuales mayor para las personas con coches afectados que para aquellas que tenían coches no afectados. Esto muestra que este efecto sustitución del coche por la moto viene dado por las restricciones de la ZBE. Del mismo modo, los resultados muestran que las personas con coches afectados se cambiaron el coche con una probabilidad 16 puntos porcentuales mayor que aquellas que tenían coches no afectados. Sin embargo, cabe destacar que este efecto no es estadísticamente significativo, por lo que hay que ir con cautela a la hora de interpretarlo. Lo mismo ocurre con el aumento de la probabilidad de coger el transporte público. Parece ser un efecto de la ZBE pero tampoco es estadísticamente significativo, aunque por poco. Sin embargo, cuando se estudian los cambios en el uso del transporte público en función de diversas características de las personas afectadas, sí se puede comprobar que las mujeres que reducían la proporción de sus viajes en coche también aumentaban (aquí sí que significativamente) la proporción de los desplazamientos en transporte público, por lo que parte del efecto general en el aumento de los desplazamientos en transporte público puede venir explicado por cambios del coche en el transporte público que realizan, principalmente, las mujeres. Por tanto, se puede concluir que la disminución en la movilidad en

coche afectado se tradujo, mayoritariamente, en un aumento de los desplazamientos en moto y en menor medida, en una potenciación de cambio de coche y de los desplazamientos en transporte público, este último, sobre todo incentivado por las mujeres.

En el caso de las motocicletas y ciclomotores, no se observan cambios derivados de la ZBE en cuanto a viajar en transporte público o a pie. En cambio, sí parece que la ZBE haya potenciado un aumento de los viajes en coche no afectado por aquellas personas con una moto afectada (de nuevo, un efecto sustitución). Pero el impacto más claro que ha tenido la entrada en vigor del régimen sancionador de la ZBE es potenciar la sustitución de la moto contaminante por una moto nueva no contaminante.

Así, parte de los resultados anteriores donde se veía que la movilidad en moto no se había reducido más en el caso de las personas en moto afectada que en el caso de las personas en moto no afectada, puede venir explicado por este factor. Es decir, las personas que tenían una moto afectada no se desplazan menos en moto, sino que lo hacen con una moto distinta y no contaminante. De hecho, esto es bastante evidente cuando se comprueban los datos de matriculación de nuevos vehículos en Barcelona publicados por el IDESCAT que muestran una tendencia a la baja en la matriculación de coches pero una recuperación en las matriculaciones de motocicletas casi a niveles pre-pandemia.

3.3 El impacto monetario de la ZBE

Para poner en contexto los resultados encontrados en el análisis de impacto anterior, es importante tener en cuenta cuáles son los costes vinculados al uso de cada una de las alternativas de transporte en la zona de alcance de las medidas de la ZBE y el coste del cambio de una hacia otra. Para analizar la perspectiva económica de estos cambios se han realizado cálculos de costes de vehículos, su uso y mantenimiento, cuyo detalle está disponible en el Anexo II de este documento.

Más concretamente, en primer lugar se calcula el coste anual de las sanciones impuestas por la ZBE para personas con vehículos afectados que no cambien de medio de transporte. En este sentido, una infracción leve tiene un multa de 100€. Sin embargo, según los datos del seguimiento de los expedientes sancionadores de la ZBE, el 80% de los expedientes pagados fueron con un importe del 50%, dando lugar a un coste medio de la multa para el conductor/a de 60€. Asumiendo que se registra al vehículo sin permiso tres de los cinco días de la semana laboral, esto tendría una sanción de 180€, más una penalización por reincidencia del 30% más, es decir, de 54€, sumando un coste semanal de 234€ y un coste anual de 12.168€.

Los datos analizados indican que en 2020 la mayoría de las personas con vehículos afectados que cambiaron de medio de transporte lo hicieron hacia motos de modelos no afectados. Se calcula que una moto nueva en 2020 tenía un valor medio de 2.724 € (teniendo en cuenta los modelos

de 50 y 125 cc) y una moto de segunda mano, un valor de 2.148 €. A esto se le sumaría costes de uso y mantenimiento, que incluyen gasolina, seguro y la proporción anual de los costes de mantenimiento de una motocicleta o ciclomotor. Todo esto suma 694 € anuales. El coste anual, entonces, sería de entre 2.842€ y 3.418€ que, dependiendo de la condición de nueva o segunda mano de la moto, equivaldría a entre un 23% y un 28% de la sanción anual prevista anteriormente o al proporcional de tres meses de sanciones.

Por otro lado, para reemplazar a un coche afectado por un no afectado, los valores serían más altos. En principio, según la Agencia Tributaria, el precio medio de vehículos nuevos para Cataluña en 2020 fue de 19.268 €[14], mientras que el de un coche de segunda mano fue de 12.584 €. Los costes asociados a un vehículo incluirían, al igual que con la motocicleta, el seguro, la gasolina y el mantenimiento, pero además parkings y peajes. Estos costes, según estimaciones de precios medios y encuestas especializadas podría ascender a 1.380€ anuales, resultando en un coste total de entre 20.648 y 13.964€ al año. En este sentido, un coche nuevo equivaldría a un año de sanciones en el caso de un coche de segunda mano y a más de año y medio en el caso de un coche nuevo.

Por último, como se ha visto, aunque el resultado no es estadísticamente significativo, algunas de las personas con vehículos afectados optaron por utilizar el transporte público en vez de un vehículo propio. En este caso, el coste de esta alternativa sería equivalente a la tarjeta de transporte público con viajes mensuales ilimitados (T-usual), que tiene un coste de 40 € mensuales para las personas situadas en la Zona 1 dentro de la taifa metropolitana y de 53,85€ para las personas de Zona 2 – 480€ anuales en el primer caso y 646,20€ en el segundo. Ésta sería definitivamente la opción más económica, dado que sólo equivale a un 4% y un 5% de las sanciones anuales, respectivamente.

Para un análisis más completo, también sería válido asignar un valor económico al tiempo que supone desplazarse en cada una de estas formas de transporte. En este sentido, la literatura académica ha señalado que el tiempo dedicado a viajar se valora aproximadamente entre un tercio y la mitad del salario por hora[15]. Considerando que el salario anual medio para el año 2020 en la ciudad de Barcelona fue de 30.593 €[16], se imputan 7,33 € por hora (el 50% de un salario por hora para una jornada laboral de 40 horas semanales).

De esta forma, teniendo en cuenta los tiempos medios de viaje en cada medio de transporte revelados por la encuesta de la EMEF, se imputan los costes equivalentes para el coche, la motocicleta y el transporte público. Para las motos, con un viaje aproximado de 23 minutos, se

[14] Fuente: https://sede.agenciatributaria.gob.es/AEAT/Contenidos_Comunes/La_Agencia_Tributaria/Estadisticas/Publicaciones/sites/matriculaciones/2020/jrubik29e9b2c1b736343fc39c08959f47327647html
[15] Inglés, Czajkowski, Giergiczny, & Kronenberg, 2015
[16] Fuente: Salarios medios de los residentes. Departamento de Estadística y Difusión de Datos. OMD. Ayuntamiento de Barcelona.

imputa un coste de 1.460,30 € anuales extra – equivalente a dos viajes diarios cinco veces por semana. Para los coches, con viajes de 36 minutos de media el coste es de 2.285,70 € y para el transporte público, con viajes de 31,5 minutos de media el coste es de 2.000 €.

De esta forma está claro ver que incluso teniendo en cuenta tiempos más largos de viaje, en la mayoría de los casos (exceptuando el coche nuevo) el cambio hacia vehículos permitidos es más beneficioso que el uso de vehículos sin permiso para circular. Desde esta perspectiva económica, el transporte público sigue superando a todas las alternativas, con sólo 20-22% del coste de las sanciones. Incluso con tiempos superiores de viaje, el transporte público implica casi la mitad del coste de las motos, que es el segundo medio más económico.

Tabla 5. Comparación de costes mediante transporte

Uso de vehículos con sanciones	12.168 €			
Transporte público	Coste anual		Coste anual con tiempo utilizado	
	480 € / 646,20 €		2.480 € / 2.646,20 €	
Vehículos privados	Coste anual		Coste anual con tiempo utilizado	
	Nuevo	Segunda mano	Nuevo	Segunda mano
Cambio en moto sin sanciones	3.418 €	2.842 €	4.878 €	4.302 €
Cambio en coche sin sanciones	22.934 €	16.250 €	26.600 €	19.916 €

Fuente: elaboración propia

Aunque el transporte público es la opción más económica, los resultados han mostrado que existe una tendencia a sustituir el coche por la motocicleta, así como por un coche nuevo. Ambas alternativas tienen costes (sin contar el tiempo de viaje) de 3.130 € para las motos (media del precio de una moto nueva y una de segunda mano) y de 19.592 € para los coches (media del precio de un coche nueve y uno de segunda mano). Estos costes, sin embargo, no representan lo mismo para todos los hogares que deben hacer frente. De hecho, teniendo en cuenta la distribución de los ingresos familiares que muestra la última edición de la Encuesta de condiciones de Vida para Cataluña (no existen datos para Barcelona), en 2020, el precio de un coche nuevo representaría gastar la totalidad de los ingresos para el 50% de los hogares catalanes. Cabe destacar que existen opciones de financiación así como ayudas de las diversas administraciones para reducir la carga que este coste supera pero, en parte, el elevado coste que este cambio supone puede estar explicando que muchas personas afectadas hayan optado por pasarse otros vehículos como, por ejemplo, la motocicleta. En este caso, el coste de una moto nueva podría ser asumido por toda la población, representando el 50% de los ingresos del 10% de hogares más pobres de Catalunya, pero rápidamente siendo un gasto alcanzable para la mayoría de hogares de renta media.

4 Evaluación ex-ante del impacto de la ZBE en furgonetas, camiones, autobuses y autocares

4.1 La problemática a analizar

Analizado el impacto económico de la ZBE en su primera fase, es decir, en aquella donde las sanciones se aplican a turismos y vehículos ligeros sin distintivo ambiental, el análisis se focaliza en determinar cuál es el impacto económico potencial de implementar las fases 2 y 3 de la ZBE. Es decir, qué impacto económico tendría ampliar el alcance de las restricciones en los vehículos comerciales M2, M3, N1, N2 y N3 que no poseen etiqueta ambiental.

- Las furgonetas y camiones de menos de 3,5 Tn comprenden la categoría N1. La entrada en vigor de las sanciones para este tipo de vehículos es lo que denominamos Fase 2.
- En autobuses sólo se incluyen aquellos que comprenden las categorías M2 y M3.
- Los camiones de más de 3,5 Tn comprenden las categorías N2 y N3

A efectos de simplificar, a lo largo de esta sección hablaremos de furgonetas (N1), camiones (incluye los de N1, N2 y N3) y autobuses (M2 y M3) para referirnos a las categorías afectadas.

Con el objetivo de estimar el impacto económico de estas fases de la ZBE se requiere varios pasos que se resumen a continuación:

1. Estimar cuántos vehículos se verían afectados por no tener etiqueta.
2. Estimar el coste de reemplazar a estos vehículos o afrontar las multas en caso de no hacerlo.
3. Ver cómo se distribuye este coste entre las diferentes ramas de actividad económica.
4. Por último, para obtener una estimación del impacto final, tener en cuenta tanto estos impactos directos de la ZBE sobre las personas con vehículos afectados, como posibles consecuencias sobre otras ramas y sectores (impactos indirectos e inducidos).

Antes de avanzar en el análisis, cabe señalar que, el objetivo final de esta parte del análisis es llevar a cabo una evaluación económica , es decir, no sólo identificar los efectos potenciales, sino también cuantificarlos en términos monetarios. Por otra parte, esta parte del estudio se lleva a cabo de forma *ex ante*, por tanto, no contamos con datos sobre la real afectación de la política. Por esta razón, debemos recurrir a diversas estimaciones, algunas de las cuales exigen establecer una serie de supuestos. Todos los detalles metodológicos pueden consultarse en el Anexo III.

4.2 Estimación del parque de vehículos afectados

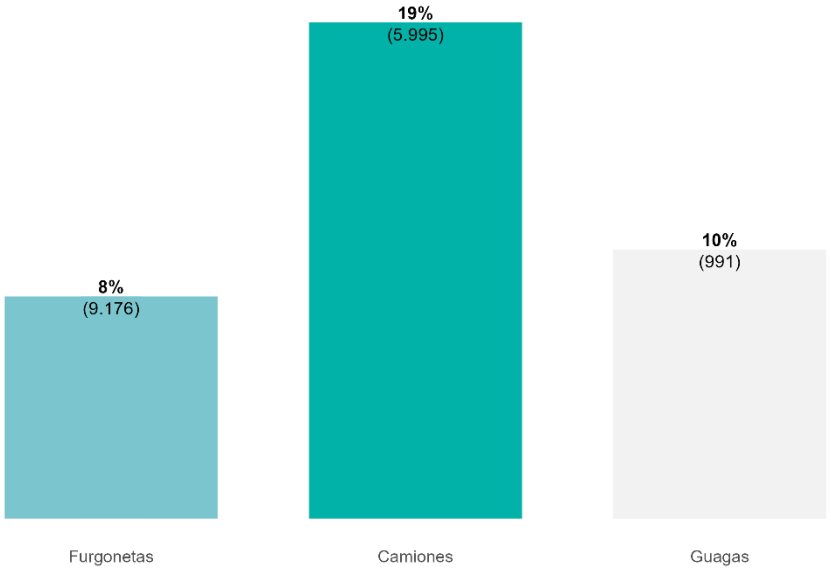
El primer paso es cuantificar los vehículos de las distintas categorías que se verían afectados por la implementación de las fases 2 y 3 de la ZBE. La cuantificación del parque afectado se realiza sobre el parque circulante. A partir de datos de cámaras de circulación vehicular en Barcelona y del parque censado de vehículos, se ha estimado un índice de utilización por etiqueta ambiental. Esto nos permite estimar el parque circulante de vehículos por etiqueta ambiental, incluidos aquellos que carecen de distintivo ambiental.

Como se observa en la Figura 7, los vehículos afectados por la ZBE superan ligeramente las 16.000 unidades. Un 57% de estos vehículos son furgonetas, un 37% camiones y el 6% restante son autobuses. Sin embargo, si nos centramos en cada tipología, vemos que es el grupo de los camiones los que se ven más afectados, pues casi una quinta parte de este tipo de vehículos circula sin distintivo. Es decir, si bien serían 6 mil camiones afectados –muy por debajo de las 9,2 mil furgonetas–, éstas representan un porcentaje superior respecto a la propia categoría.

Entre las furgonetas, aunque los números absolutos son los más elevados, su afectación es la menor de los tres grupos, con sólo un 8% de afectación. Esto se debe a que el parque de furgonetas en circulación es muy voluminoso, pero una parte sustancial ya cuenta con distintivo ambiental.

Los autobuses, por su parte, se ven ligeramente más afectados en términos relativos que las furgonetas, con el 10% de estos vehículos circulando en la actualidad sin distintivo. Sin embargo, en términos absolutos representa la categoría de menor magnitud, totalizando aproximadamente unas mil unidades. En este caso se combinan un parque menos voluminoso que, en gran medida, ya cuenta con distintivo ambiental.

Figura 7. Vehículos afectados por las Fases 2 y 3 de la ZBE



Nota: Entre paréntesis el número de vehículos.
Fuente: Estimación propia a partir de datos de Ayuntamiento de Barcelona

KSNET

4.3 El coste de sustitución de los vehículos

El principal impacto económico para las personas y empresas afectadas es la necesidad de adaptar sus comportamientos y/o el vehículo para poder circular dentro de la ZBE. Por ejemplo, en Londres se detectó que algunas empresas afectadas por la regulación llevaron a cabo un reordenamiento territorial de su parque de vehículos y establecieron nuevas estrategias logísticas: se construyeron centros logísticos fuera de la ZBE, los vehículos afectados siguieron operando fuera de ésta, mientras que las operaciones internas en la ZBE se externalizaron en algunos casos, y en otros se mantuvieron con una flota propia.

Al tratarse de un análisis *ex ante* y no contar con datos sobre las posibles estrategias que pueden desarrollar los afectados para eludir la ZBE, resulta extremadamente complejo evaluar el impacto de algunos posibles comportamientos. Sin embargo, sí que podemos aproximar el coste de reemplazar los vehículos para cumplir los estándares requeridos, por tanto, esto representa nuestra principal medida de coste económico directo.

Ahora, necesitamos estimar cuántos afectados decidirán sustituir su vehículo. En este sentido, se plantean tres posibles escenarios:

A. ZBE Fase I: la tasa de sustitución será la misma que la de la Fase 1 (16% pp.).
B. ZBE Londres: la tasa será similar a la observada en Londres (20% pp.).
C. 100% sustitución: todos los afectados optan por reemplazar sus vehículos, asumiendo que nadie querría afrontar una posible multa.

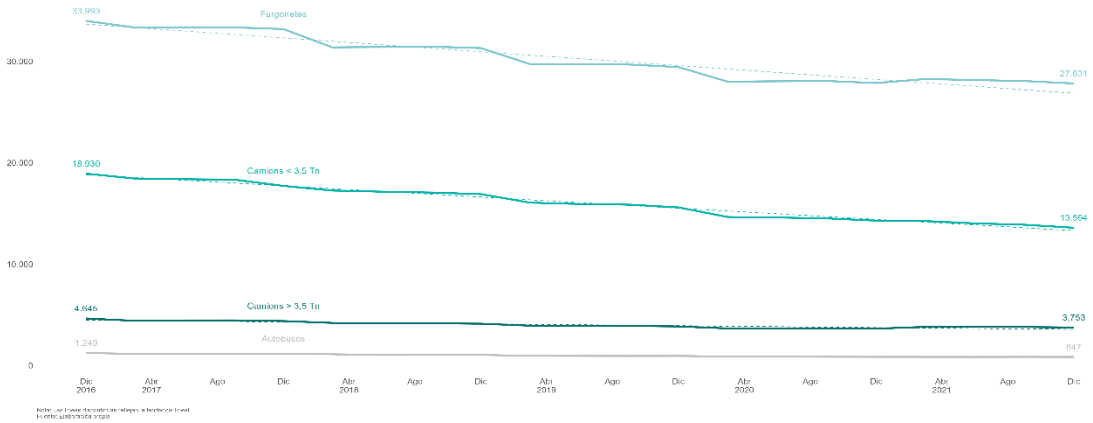
En todos los escenarios se asume que una parte de la sustitución no es consecuencia de la ZBE, sino el repuesto natural por antigüedad. En la Figura 8 puede observarse la evolución trimestral del parque censado sin distintivo en la ciudad de Barcelona para las diversas categorías de vehículos afectados[17]. En todas las categorías se registra una tendencia descendente de los vehículos sin distintivo. Por ejemplo, en el caso de las furgonetas, se ve una caída anual promedio de 4% en Barcelona. Pues, sería incorrecto atribuir un reemplazo total a la ZBE sin contemplar a aquellos que se sustituirían de cualquier manera.

Así, en los primeros dos escenarios, se supone que una parte de los vehículos se reemplazan naturalmente, a los que habría que añadir 16pp (en el Escenario A) y 20 pp (en el Escenario B), correspondientes a efectos de la ZBE, para obtener el total de vehículos reemplazados. En el caso del tercer escenario, el enfoque es distinto. Si bien se asume que se reemplazan todos los vehículos sin distintivo, sería incorrecto atribuir el 100% del reemplazo a la ZBE, ya que, como

[17] Idealmente, debería analizarse la evolución del parque circulante sin distintivo. Lamentablemente, no es posible contar con una serie de datos con tan largo plazo. Sin embargo, Los datos disponibles del parque circulante sugieren la misma tendencia. Estos datos se encuentran en el Anexo III.

hemos visto, una parte se sustituye naturalmente. Siguiendo con el ejemplo de las furgonetas, de los 100 pp. que corresponderían a la sustitución del total del parque, 4 pp. corresponden a la sustitución natural y el resto a la ZBE.

Figura 8. Evolución trimestral del parque censado sin distintivo en la ciudad de Barcelona



Fuente: elaboración propia en base a datos de la DGT

Los cálculos anteriores nos permiten cuantificar los vehículos que se reemplazarían en cada escenario. Sin embargo, para estimar el impacto económico directo de ello debemos atribuir un precio. Por tanto, se han analizado precios de varios vehículos nuevos y se toma el valor medio de mercado de cada categoría analizada. El coste de sustituir a los vehículos, pues, surge de multiplicar la cantidad de vehículos afectados por el valor medio de mercado. Los detalles se encuentran en el Anexo III.

Ahora bien, existe una diferencia sustancial entre los dos primeros escenarios, donde se produce una sustitución parcial del parque, frente al tercer escenario, donde se produce una sustitución total. Evidentemente, el impacto directo de ambos primeros es muy inferior. Sin embargo, no reemplazar un vehículo no es neutral, sino que, por el contrario, también comporta un coste: la posible multa por circular en una zona restringida.

Para hacer comparables todos los escenarios, por tanto, se añade el coste potencial de multas a los vehículos que no se sustituyen en los escenarios A y B. En el escenario C no habría multas, puesto que no habría vehículos sin distintivo, es decir, ese coste es igual a cero. En consecuencia, el total de cada escenario surge como la suma del impacto directo (coste de reemplazar a los vehículos) y las multas.

La estimación del coste de las infracciones se ha realizado adoptando los mismos supuestos que en el análisis de la Fase I (ver apartado 3.3) pero ajustando el valor de las multas a estas categorías de vehículos e incluyendo el descuento en el pago (por lo que queda un pago del 60% respecto al importe nominal de la sanción). La estimación es anual, es decir, corresponde al coste de las infracciones incurridas por los vehículos sin distintivo a lo largo del período de un año. Se reanudará este aspecto en el apartado 4.5.

Figura 9. Coste directo de las Fases 2 y 3 de la ZBE según tres escenarios

En la Figura 9 se muestra el coste económico directo para cada uno de los tres escenarios descritos. El escenario con mayor impacto sería, como es previsible, el de la sustitución total del parque de vehículos afectado, con un coste de 788 millones de euros. El segundo escenario con mayor coste es el que replica el caso de Londres, pero se encuentra muy lejos del primero. El escenario Londres tendría un impacto de 322,6 millones de euros. Con cifras similares a este último caso encontramos el escenario A, donde se supone la repetición de lo sucedido en la Fase I, el cual tendría un coste de 297,6 millones de euros.

De entre el impacto producido por el reemplazo de vehículos destacan los camiones. Si bien el parque de este tipo de vehículos no es demasiado voluminoso, el coste por unidad es muy elevado, de unos 65.000 euros. Esto lleva a que alrededor de la mitad del impacto por reemplazo provenga de los camiones. Las furgonetas es el segundo grupo con mayor impacto, representando ligeramente más de una cuarta parte del coste por sustitución de vehículos. Con las furgonetas sucede el caso contrario de los camiones, ya que pese a tener un coste menor (unos 30.000 euros por unidad) existen muchas más furgonetas en el parque automovilístico. Los autobuses, por su parte, suponen una pequeña parte del impacto económico directo, puesto que hay pocos en circulación.

En los dos escenarios donde no habría una sustitución completa del parque de vehículos afectado, hay que añadir el coste de las infracciones, tal y como se ha mencionado. En ambos casos el impacto económico de las infracciones es similar, girando en torno a los 160 millones de euros tanto en el escenario de la Fase I como en el supuesto de Londres. En la Tabla 6 se puede observar el detalle de los costes económicos directos de la ZBE para los tres escenarios.

Tabla 6. Vehículos afectados y coste total según escenario

Escenario	Nº de vehículos sustituidos	Coste Directo	Multas	Total
ZBE Fase I	2.586	134M€	164M€	**298M€**
ZBE Londres	3.232	167M€	156M€	**323M€**
100% Sustitución	15.356	788M€	0M€	**788M€**

Fuente: Estimación propia a partir de datos del Ayuntamiento de Barcelona

4.4 El coste por ramas de actividad

El impacto directo de la ZBE se distribuye de forma heterogénea entre las ramas de actividad económica, ya que el peso de los vehículos de transporte varía según las necesidades de producción y prestación de servicios de cada una. Por otra parte, dado que estamos analizando los impactos económicos en la ciudad de Barcelona, es necesario tener en cuenta el peso que tiene cada sector en la economía local. En este sentido, se ha analizado el peso del material de transporte en la estructura de capital de cada rama para atribuir el impacto económico de la ZBE sobre cada sector, pero también se ha ponderado el peso del sector sobre el economía del área de referencia.

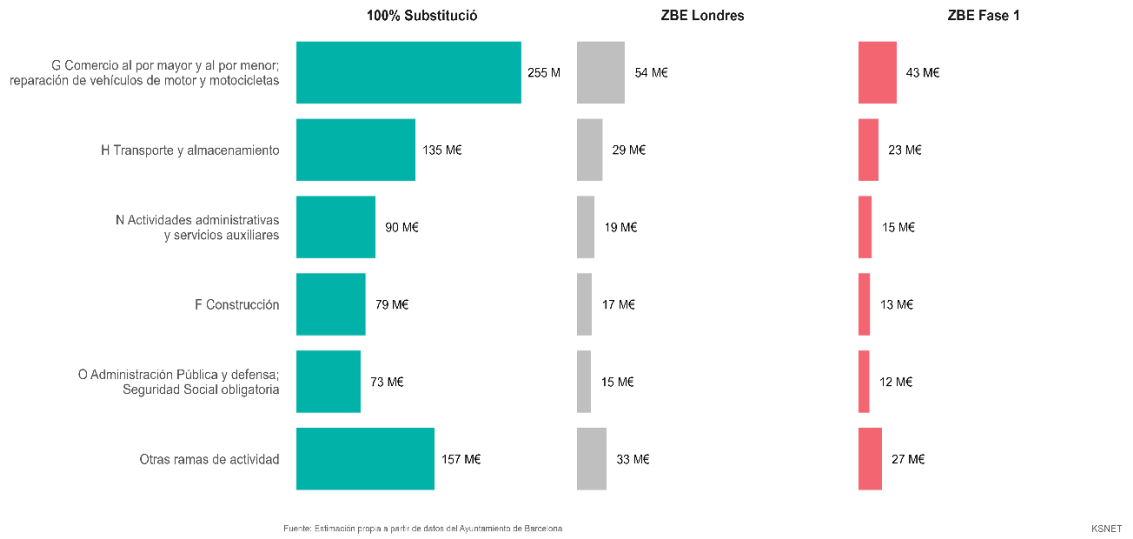
La Figura 10 muestra el impacto directo de la sustitución de los vehículos en las distintas ramas de actividad. Si bien la magnitud del impacto sectorial varía con cada escenario, puesto que el impacto directo total es mayor o menor dependiendo de las tasas de sustitución, la proporción es la misma en cada uno.

La rama de actividad más afectada es el comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos a motor y motocicletas (rama G), sobre la que recae casi una tercera parte del impacto directo de sustitución. Esto representa 255 millones en el escenario de mayor impacto (C. 100 sustitución), y ronda entre los 54 y 43 millones en los otros dos. Seguidamente, encontramos la de transporte y almacenamiento (rama H), que asume un 17% del impacto directo total, con 135 millones en el escenario C, y entre 29 y 23 millones en los demás. El impacto conjunto sobre ambas ramas explica casi la mitad del impacto directo. Esta elevada proporción se explica porque estas dos ramas presentan un elevado peso de los vehículos dentro de su estructura de activos y, además, tienen una importante participación en la economía local.

En un segundo orden de importancia, pero con impactos sectoriales relevantes, encontramos las ramas de actividades administrativas y servicios auxiliares (rama N); de construcción (rama F); y de Administración Pública (rama O). Cada una de estas ramas asume entre un 11% y un 9% de los impactos directos. En el escenario de mayor impacto, esto representa entre unos 90 y 73 millones de euros, mientras que en los otros dos escenarios rondaría entre los 19 y los 12 millones de

euros. Mientras que en el caso de las actividades administrativas y servicios auxiliares el efecto se explica principalmente por el peso del material de transporte, en la rama de Administración pública se debe en mayor medida a la participación de este sector en la economía local. Por último, en el caso de la rama construcción se observa una ponderación equilibrada de ambos elementos: una participación intermedia en la economía y un peso medio del material de transporte entre sus activos.

Figura 10. Distribución sectorial del impacto directo de la ZBE en Barcelona



Una limitación del análisis anterior es que no disponemos de datos sobre la eficiencia energética de los vehículos que utiliza cada sector. Así, podría darse el hecho de que un sector presente una elevada intensidad de utilización de coches –por lo que se le repercutiría una elevada proporción del coste–, pero que muchos de ellos cuenten con distintivo ambiental.

4.5 Impacto total

Por último, el estudio mide el impacto económico que generaría la ZBE sobre el conjunto de la economía. Esto incluye el impacto económico directo, es decir, sobre el propio sector afectado – lo que se ha estimado hasta ahora –, pero también un impacto indirecto, lo que provoca sobre el resto de sectores, y un impacto inducido, que es el efecto que el crecimiento de las rentas de los hogares ejerce, vía demanda, sobre los niveles de actividad.

Este análisis se desarrolla utilizando Tablas Input-Output (TIO), una de las metodologías más extendidas para analizar impactos económicos. Una TIO es una matriz que representa a todas las interrelaciones económicas entre los sectores de actividad económica. A partir de estas interrelaciones se obtienen multiplicadores de actividad económica, lo que permite estimar los efectos indirectos e inducidos.

A pesar de lo anterior, esta metodología presenta una serie de limitaciones. En primer lugar, el modelo de multiplicadores no contempla los posibles efectos de retroalimentación: un choque negativo se multiplica y todos sus efectos serán negativos, y la inversa con un choque positivo. Por tanto, presumiblemente, el impacto total se encuentre sobreestimado. En segundo lugar, hasta el momento no se dispone de una TIO de la ciudad de Barcelona, por lo que se utiliza la TIO de Cataluña del año 2014, y se aplican factores de ajuste para adaptar los resultados en la economía local. Aun así, estamos suponiendo que las interrelaciones sectoriales son las mismas en Barcelona que en Cataluña y que no se han modificado desde el año 2014.

En la Tabla 7 se puede observar el impacto económico total de la ZBE para los tres escenarios, dividido en impacto directo, indirecto e inducido. En los escenarios de Fase I y Londres, los impactos se sitúan en 160 y 200 millones, respectivamente. La gran mayoría proviene del impacto directo, con tan sólo un 15% proveniente de efectos indirectos y un 1% de impactos inducidos. Si sumamos las multas en estos dos escenarios el impacto económico se multiplica hasta los 323,7 millones en el primer escenario y hasta los 355,2 millones en el escenario Londres, muy lejos del escenario del 100% de reemplazo.

En el escenario de sustitución total los efectos totales aumentan hasta los 942 millones, con unas distribuciones entre los tipos de impacto muy similares a los dos supuestos anteriores. Este escenario debería tomarse como el límite máximo del posible impacto económico de la ZBE.

Tabla 7. Impacto económico de la ZBE

Escenario	Directo	Indirecto	Inducido	Total Efectos	Multas	Total Efectos + Multas
ZBE Fase I	134M€	24M€	2M€	**160M€**	274M€	**434M€**
ZBE Londres	167M€	30M€	3M€	**200M€**	261M€	**460M€**
100% Sustitución	788M€	140M€	15M€	**942M€**	0M€	**942M€**

Fuente: Estimación propia a partir de datos del Ayuntamiento de Barcelona

Los resultados anteriores podrían sugerir la idea errónea de que resulta conveniente realizar una sustitución parcial del parque de vehículos y afrontar las sanciones, dado que el impacto económico resulta inferior. Sin embargo, tal y como se especificó en el apartado 4.3, la estimación de multas corresponde a un solo año. Si cada año los conductores tuvieran que asumir el coste de las infracciones, llegaría un momento en el que superarían el coste de sustituir el vehículo.

La conveniencia de asumir el coste de las infracciones respecto a cambiar el vehículo depende, fundamentalmente, del precio del vehículo. El coste medio de las furgonetas utilizado en este estudio asciende a 29.989 euros, mientras que, con los supuestos establecidos, el coste anual de las infracciones sería de 12.115 euros. Es decir, a partir del tercer año es más eficiente reemplazar una furgoneta por una que cuente con distintivo ambiental a seguir asumiendo el coste de las multas.

En el caso de camiones y autobuses la situación es diferente. Para las categorías N2, N3, M2 y M3 el coste anual estimado de las infracciones se estima en 24.229 euros. El coste medio asignado a los vehículos N2 es de 65.564 euros, con lo que, a partir del tercer año, también resultará más rentable sustituirlo que seguir afrontando las multas. Sin embargo, en el caso de los camiones y autobuses de mayor envergadura, el elevado coste de sustitución -establecido en 131.417 y 168.262 euros-, asumir el coste de las infracciones puede resultar más rentable durante los 6 o 7 primeros años (tal y como están planteadas actualmente y con los supuestos establecidos). A partir de ese momento, el coste de las mismas supera el de una nueva unidad.

5 Bibliografía

Amundsen, A. H., & Sundvor, I. (2018). *Low Emission Zones in Europe Requirements, enforcement and air quality*.

ASPB. (2020). *Avaluació de la ZBE rondes Barcelona en la qualitat de l'aire - 1r Informe 2020*. https://www.aspb.cat/

Bernardo, V., Fageda, X., & Flores-Fillol, R. (2020). Pollution and Congestion in Urban Areas: The Effects of Low Emission Zones. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/SSRN.3289613

Broaddus, A., Browne, M., & Allen, J. (2015). Sustainable Freight: Impacts of the London Congestion Charge and Low Emissions Zones. *Https://Doi.Org/10.3141/2478-01*, *2478*, 1–11. https://doi.org/10.3141/2478-01

Browne, M., Allen, J., & Anderson, S. (2007). Low emission zones: the likely effects on the freight transport sector. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/13675560500405899*, *8*(4), 269–281. https://doi.org/10.1080/13675560500405899

Dablanc, L., & Montenon, A. (2015). Impacts of Environmental Access Restrictions on Freight Delivery Activities: Example of Low Emissions Zones in Europe. *Https://Doi.Org/10.3141/2478-02*, *2478*, 12–18. https://doi.org/10.3141/2478-02

Danielis, R., Rotaris, L., Marcucci, E., Massiani, J., Danielis, R., Rotaris, L., Marcucci, E., & Massiani, J. (2011). *An economic, environmental and transport evaluation of the Ecopass scheme in Milan: three years later*. https://econpapers.repec.org/RePEc:sit:wpaper:11_3

Ellison, R. B., Greaves, S. P., & Hensher, D. A. (2013). Five years of London's low emission zone: Effects on vehicle fleet composition and air quality. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *23*, 25–33. https://doi.org/10.1016/J.TRD.2013.03.010

Gehrsitz, M. (2017). The effect of low emission zones on air pollution and infant health. *Journal of Environmental Economics and Management*, *83*, 121–144. https://doi.org/10.1016/J.JEEM.2017.02.003

Gonzalez, J. N., Perez-Doval, J., Gomez, J., & Vassallo, J. M. (2021). What impact do private vehicle restrictions in urban areas have on car ownership? Empirical evidence from the city of Madrid. *Cities*, *116*, 103301. https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2021.103301

Holman, C., Harrison, R., & Querol, X. (2015). Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities. *Atmospheric Environment*, *111*, 161–169. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2015.04.009

Lebrusán, I., & Toutouh, J. (2020). Car restriction policies for better urban health: a low emission zone in Madrid, Spain. *Air Quality, Atmosphere & Health 2020 14:3*, *14*(3), 333–342. https://doi.org/10.1007/S11869-020-00938-Z

Lurkin, V., Hambuckers, J., & van Woensel, T. (2021). Urban low emissions zones: A behavioral operations management perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *144*, 222–240. https://doi.org/10.1016/J.TRA.2020.11.015

Malina, C., & Scheffler, F. (2015). The impact of Low Emission Zones on particulate matter concentration and public health. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *77*, 372–385. https://doi.org/10.1016/J.TRA.2015.04.029

Morfeld, P., Groneberg, D. A., & Spallek, M. F. (2014). Effectiveness of Low Emission Zones: Large Scale Analysis of Changes in Environmental NO2, NO and NOx Concentrations in 17 German Cities. *PLOS ONE*, *9*(8), e102999. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0102999

Müller, J. (2018). *City bans are spreading in Europe*. https://www.transportenvironment.org/discover/city-bans-are-spreading-europe/

Müller, J. (2019). *Low-Emission Zones are a success - but they must now move to zero-emission mobility*. https://www.osman.es/wp-content/uploads/2019/10/2019_09_Briefing_LEZ-ZEZ_final.pdf

Oltra, C., Sala, R., López-Asensio, S., Germán, S., & Boso, À. (2021). Individual-Level Determinants of the Public Acceptance of Policy Measures to Improve Urban Air Quality: The Case of the Barcelona Low Emission Zone. *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 1168*, *13*(3), 1168. https://doi.org/10.3390/SU13031168

Panteliadis, P., Strak, M., Hoek, G., Weijers, E., van der Zee, S., & Dijkema, M. (2014). Implementation of a low emission zone and evaluation of effects on air quality by long-term monitoring. *Atmospheric Environment*, *86*, 113–119. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2013.12.035

Poulhès, A., & Proulhac, L. (2021). The Paris Region low emission zone, a benefit shared with residents outside the zone. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *98*, 102977. https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102977

Prieto-Rodriguez, J., Pérez Villadóniga, M. J., Russo, A., & Salas, R. (2021). The impact of London traffic restrictions: Effective but insufficient. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/SSRN.3899132

Roth, A., Von Bahr, J., Kloo, H., & Wisell, T. (2021). *Zero-emission vehicles and zones in Nordic cities Promotion, instruments and effects*. www.ivl.se

Salas, R., Perez-Villadoniga, M. J., Prieto-Rodriguez, J., & Russo, A. (2021). Were traffic restrictions in Madrid effective at reducing NO2 levels? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *91*, 102689. https://doi.org/10.1016/J.TRD.2020.102689

Santos, F. M., Gómez-Losada, Á., & Pires, J. C. M. (2019). Impact of the implementation of Lisbon low emission zone on air quality. *Journal of Hazardous Materials*, *365*, 632–641. https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2018.11.061

Tassinari, F. (2021). *Low emission zones and traffic congestion: evidence from Madrid Central*. https://drive.google.com/file/d/1-EgAqvohEeTXhLCqcySLmhPLf9zoLlFx/view

Wolff, H. (2014). *Keep Your Clunker in the Suburb: Low Emission Zones and Adoption of Green Vehicles* (No. 8180; IZA Discussion Papers). Institute for the Study of Labor (IZA). https://www.econstor.eu/handle/10419/98991

Anexo I

Descripción de la metodología

La metodología que se utiliza en la primera parte de este estudio es una metodología casi-experimental, que permite analizar el impacto de la entrada en vigor de la ZBE mediante la comparación, antes y después de su entrada en vigor, del grupo de individuos que se ha visto afectado por la medida y del grupo de individuos que no se ha visto afectado. Más concretamente, esta metodología es la llamada técnica de "diferencias en diferencias" (DiD , por sus siglas en inglés) y consiste en seguir la trayectoria del grupo afectado por la medida (grupo de tratamiento) y el grupo que no se ha visto afectado (grupo de control) antes y después de la introducción del programa.

Así, en primer lugar se han definido los grupos de tratamiento y control. El primer grupo lo conforman todas aquellas personas que se desplazaban por dentro de la ZBE, en horario entre las 7 de la mañana y las 8 de la tarde, en vehículos afectados por la normativa de la ZBE en el año 2019, esto es turismos de gasolina matriculados antes de 2000, turismos diésel matriculados antes de 2005/2006 y motocicletas y ciclomotores matriculados antes de 2003. El segundo grupo lo conforman las personas que se desplazaban con turismos y motocicletas y ciclomotores que no se encuentran en el grupo anterior pero que utilizan gasolina o diésel (quedan fuera los vehículos eléctricos o híbridos).

Una vez definidos los dos grupos, se ha estimado el modelo DiD mediante un análisis de regresión. Más concretamente, en primer lugar se han estimado dos regresiones que evalúan el cambio en la proporción de viajes en coche y motocicleta, respectivamente, después de la aplicación de las restricciones, Las ecuaciones son iguales entre sí y se corresponden con lo que se presenta a continuación:

$$\begin{aligned} &proporción\ desplazamientos\ coche\ (o\ moto)_{it} \\ &\quad = \alpha_i * coche\ afectado + \partial_i * moto\ afectada + \delta_t * ZBE\ en\ vigor + \boldsymbol{\beta_{1it}} \\ &\quad * (\boldsymbol{coche\ afectado * ZBE\ en\ vigor}) + \boldsymbol{\beta_{2it}} \\ &\quad * (\boldsymbol{moto\ afectada * ZBE\ en\ vigor}) + \gamma_t * (antigüedad * \text{año}) + \eta_t \\ &\quad * (tener\ coche * \text{año}) + \theta_t * (tener\ moto * any) + \varepsilon_{it}, \end{aligned}$$

donde la variable a explicar es la proporción de desplazamientos en coche (o moto) de la persona *y* al año *t* . El coeficiente α_i muestra la diferencia del efecto en la proporción de desplazamientos entre las personas con coches afectados y las personas con coches no afectados por la ZBE en todo el período 2019-2020. De la misma forma, ∂_i presenta esta misma diferencia pero entre las personas con motos afectadas y no afectadas por la ZBE. El coeficiente δ_t indica el efecto de la

entrada en vigor de la ZBE en la proporción de desplazamientos de todas las personas, independientemente del tipo de vehículo que tengan y si está o no afectado por la ZBE. Los coeficientes principales a estimar son los β, que identifican la diferencia en la proporción de desplazamientos en coche (o moto) entre las personas con coches afectados por la ZBE y las personas con coches no afectados antes y después de la entrada en vigor de la ZBE (β_{1it}), y la diferencia en la proporción de desplazamientos en coche (o moto) entre las personas con motos afectadas por la ZBE y las personas con motos no afectadas antes y después de la entrada en vigor de la ZBE ( ) β_{2it}. Se ha incluido por separado a las personas con coches afectados y a las personas con motos afectadas porque podría ser que exhiban comportamientos distintos. Por ejemplo, puede que las personas que tienen coches afectados disminuyan sus viajes en coche pero aumenten los viajes en moto. En ese caso, β_{1it} mostraría un signo negativo pero β_{2it} sería de signo positivo. En este caso, si se hubieran incluido juntos en una sola variable ésta podría resultar no significativa y, simplemente, estar enmascarando dos efectos que se contrarrestan entre sí.

Con estas variables descritas hasta el momento, eventos como la crisis de la COVID-19 quedan recogidos y pueden aislarse los efectos de la ZBE más allá de la pandemia, siempre y cuando hayan afectado a los distintos tipos de vehículo por igual. Igualmente, un evento que pudiera afectar a un tipo de vehículo y no a otro pero a la totalidad del período también quedaría recogido. Por último, se han añadido a la regresión otras variables que capturan otros factores que pueden afectar a la proporción de viajes en coche o en moto. En primer lugar, se ha añadido una variable que tiene en cuenta el hecho de que los coches afectados por la ZBE, al ser más antiguos, tienen una tendencia natural a desaparecer, reduciendo su número de desplazamiento. Por último, se han incluido dos variables que controlan que los resultados tienen en cuenta que no todo el mundo tiene coche ni todo el mundo tiene moto, aunque, por definición, todo el mundo tiene o una cosa u otra.

Esta ecuación, además de estimarse para estudiar la proporción de viajes en coche o moto, se ha ampliado, amándola también para estudiar la proporción de viajes en transporte público ya pie así como para evaluar si las personas en coche o motos afectadas han cambiado su vehículo. En este último caso, la parte derecha de la ecuación es la misma, pero la variable dependiente cambia. Concretamente, esta variable toma valor igual a 1 si la persona en concreto tiene un vehículo nuevo en 2020. Esto se define en base a la antigüedad del coche (o la moto). Es decir, si la antigüedad del coche (o moto) es inferior a 2020 que en 2019 se asume que la persona se ha cambiado el vehículo, ya sea por uno nuevo o por uno de segunda mano.

Por último, se ha realizado un análisis de heterogeneidad en el que se ha estudiado si la proporción de viajes en coche o en moto varía en función del sexo del conductor/a, su edad, su nivel de estudios, la ocupación del vehículo, tiempo de desplazamiento o renta del municipio de

residencia de la persona. Así, se ha estimado una ecuación por cada una de estas variables. A continuación se muestra, a modo de ejemplo, la ecuación correspondiente al análisis por sexo:

$$\begin{aligned} proporción\ desplazamientos\ coche\ (o\ moto)_{it} \\ &= \alpha_i * coche\ afectado + \partial_i * moto\ afectada + \delta_t * ZBE\ en\ vigor + \beta_{1it} \\ &* (coche\ afectado * ZBE\ en\ vigor) + \beta_{2it} \\ &* (moto\ afectada * ZBE\ en\ vigor) + \boldsymbol{\emptyset_i * sexo + \sigma_i} \\ &* \boldsymbol{(coche\ afectado * sexo) + \mu_i * (moto\ afectada * sexo) + \eta_{it}} \\ &* \boldsymbol{(ZBE\ en\ vigor * sexo) + \varphi_{1it}} \\ &* \boldsymbol{(coche\ afectado * ZBE\ en\ vigor * sexo) + \varphi_{2it}} \\ &* \boldsymbol{(moto\ afectada * ZBE\ en\ vigor * sexo) + \gamma_t * (antigüedad * año)} \\ &+ \eta_t * (tener\ coche * año) + \theta_t * (tener\ moto * año) + \varepsilon_{it}, \end{aligned}$$

donde las variables en negrita son las que se añaden a la ecuación inicial para poder introducir el efecto del sexo en el análisis. La variable sexo toma valor 1 si la persona es mujer y 0 si no lo es. Así, las variables en verde y negrita indican el efecto diferencial de la ZBE en la proporción de desplazamientos en coche (o moto) para las mujeres con coches afectados (φ_{1it}) o motos afectadas (φ_{2it}) por las restricciones. Para el resto de ejercicios de heterogeneidad la ecuación es la misma pero en vez del sexo se tiene en cuenta la edad (la variable toma valor igual a 1 por personas menores de 35 años y 0 para el resto), el nivel de estudios (valor igual a 1 para personas con estudios superiores y 0 para el resto), la ocupación del vehículo (valor igual a 1 si en el coche sólo viaja una persona y 0 si son más), el tiempo de desplazamiento (valor igual a 1 para desplazamientos menores de 20 minutos) y la renta municipal (valor igual a 1 si el municipio de residencia es considerado de rentas baja, es decir, está por debajo de la media de renta en Cataluña).

Tablas completas de resultados del análisis

Tabla A1: Proporción de viajes según medio de transporte y cambio de coche o moto

	Coche	Moto	Transporte público	A pie	Cambio de coche o moto
Coche afectado	0.226***	-0.0776***	-0.0542***	-0.0834	0.107
	(0.0633)	(0.0248)	(0.0152)	(0.0531)	(0.0970)
Moto afectada	-0.234***	0.0245	0.0110	0.0796	-0.266
	(0.0582)	(0.0704)	(0.0375)	(0.0869)	(0.172)
ZBE en vigor	-0.237***	-0.0702***	0.00568	0.0610***	-0.560***
	(0.0254)	(0.0164)	(0.00984)	(0.0187)	(0.0302)
Coche afectado * ZBE en vigor	-0.187*	0.122***	0.0866	-0.0268	0.160
	(0.101)	(0.0461)	(0.0671)	(0.0695)	(0.169)
Moto afectada * ZBE en vigor	0.249***	0.0398	0.00256	0.0172	0.687**
	(0.0575)	(0.158)	(0.0473)	(0.122)	(0.296)
Constante	0.576***	0.196***	0.0458**	0.148***	0.671***
	(0.0391)	(0.0272)	(0.0177)	(0.0339)	(0.0411)
Variables de control	Si	Si	Si	Si	Si
Observaciones	1,056	1,056	1,056	1,056	1,056
R- squared	0.329	0.525	0.012	0.018	0.316

Errores estándar robustos entre paréntesis: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabla A2: Proporción de viajes en coche: efectos heterogéneos

	Sexo	Edad	Nivel de estudios	Ocupación del coche	Tiempo desplazamiento	Renta municipio
Coche afectado * ZBE en vigor * Sexo	-0.337*				-0.356*	
	(0.182)				(0.198)	
Moto afectada * ZBE en vigor * Sexo	0.0179				-0.139	
	(0.0931)				(0.104)	
Coche afectado * ZBE en vigor * Edad		-0.250				
		(0.244)				
Moto afectada * ZBE en vigor * Edad		0.104				
		(0.107)				
Coche afectado * ZBE en vigor * Nivel estudios			-0.460***			
			(0.159)			
Moto afectada * ZBE en vigor * Nivel estudios			0.328***			
			(0.0639)			
Coche afectado * ZBE en vigor * Empleo coche				-0.459**		
				(0.188)		
Coche afectado * ZBE en vigor * Tiempo desplazamiento					-0.356*	
					(0.198)	
Moto afectada * ZBE en vigor * Tiempo desplazamiento					-0.139	
					(0.104)	
Coche afectado * ZBE en vigor * Renta municipio						-0.376**
						(0.168)
Moto afectada * ZBE en vigor * Renta municipio						0.103
						(0.0874)
Constante	0.564***	0.587***	0.578***	0.578***	0.623***	0.557***
	(0.0408)	(0.0399)	(0.0441)	(0.0546)	(0.0387)	(0.0401)
Variables de control	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Observaciones	1,056	1,056	1,054	1,056	1,056	1,046
R- squared	0.337	0.340	0.338	0.335	0.347	0.341

Errores estándar robustos en paréntesis: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabla A3: Proporción de viajes en moto: efectos heterogéneos

	Sexo	Edad	Nivel de estudios	Tiempo desplazamiento	Renta municipio
Coche afectado * ZBE en vigor * Sexo	-0.0968			0.0836	
	(0.0612)			(0.110)	
Moto afectada * ZBE en vigor * Sexo	0.200			0.249	
	(0.329)			(0.301)	
Coche afectado * ZBE en vigor * Edad		0.268			
		(0.281)			
Moto afectada * ZBE en vigor * Edad		-0.576***			
		(0.180)			
Coche afectado * ZBE en vigor * Nivel estudios			0.0498		
			(0.0852)		
Moto afectada * ZBE en vigor * Nivel estudios			0.278		
			(0.176)		
Coche afectado * ZBE en vigor * Ocupación coche					
Coche afectado * ZBE en vigor * Tiempo desplazamiento				-0.356*	
				(0.198)	
Moto afectada * ZBE en vigor * Tiempo desplazamiento				-0.139	
				(0.104)	
Coche afectado * ZBE en vigor * Renta municipio					-0.123*
					(0.0678)
Moto afectada * ZBE en vigor * Renta municipio					-0.602
					(0.393)
Constante	0.210***	0.184***	0.199***	0.183***	0.194***
	(0.0286)	(0.0274)	(0.0318)	(0.0255)	(0.0273)
Variables de control	Si	Si	Si	Si	Si
Observaciones	1,056	1,056	1,054	1,056	1,046
R- squared	0.528	0.540	0.528	0.534	0.529

Errores estándar robustos entre paréntesis : *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.

Anexo II

Detalle del cálculo de costes para motocicletas y ciclomotores

Para el cálculo del coste de renovar la motocicleta o ciclomotor se han considerado los precios de motos de 50cc (ciclomotores) y 125cc (motocicletas) en diferentes webs. Para las motos nuevas se han revisado las webs de Totmoto y s2motos - dos webs especializadas de Barcelona - y para las motos de segunda mano se han revisado precios en mundimoto y motos.coches.net. Dada la falta de datos históricos de precios para las motos se han ajustado los por la inflación acumulada del año 2021.

Además del precio de adquisición de la moto, se han tenido en cuenta otros costes derivados del uso de la misma. A continuación se listan los distintos costes y su cálculo, que incluye las diversas fuentes de datos.

- Gasolina. Se han considerado los precios históricos de la gasolina 95 sin plomo recogidos por la web Dieselogasolina.com, cogiendo como precio relevante el de 2021 que era de 1,3€ por litro. Así, para calcular el consumo de gasolina se ha tenido en cuenta el tiempo medio de viaje en motocicleta que realizan las personas encuestadas a la EMEF, que es de 23 minutos y se ha asumido una frecuencia de dos viajes por día, es decir, 46 minutos al día. Además se ha asumido una velocidad media de 30 km/hora y una capacidad de movilidad de 28,4 km por litro de gasolina, datos basados en estimaciones de Yamaha y revistas especializadas[18]. Teniendo en cuenta toda esta información, el gasto en gasolina por cinco días a la semana (los días laborables donde la ZBE está vigente) es de 5,26 €, siendo la suma anual de 273,3 €.
- Seguro. Para calcular el coste del seguro se ha utilizado el servicio de Rastreator, que compara a diferentes proveedores. Se han seleccionado opciones estándar de un modelo SYM SYMPHONY (el de mayor cantidad de matriculaciones), un conductor de 40 años que conducirá hasta 5.000 km por año y que aparca en la calle. El coste imputado es una media de las opciones de seguro contra terceros, el seguro contra terceros con asistencia a viaje y el seguro a todo riesgo con franquicia. Los precios medios para cada uno de estos seguros son los promedios de las ofertas encontradas por el buscador: 167,12 €, 211,44 € y 423,36 €, respectivamente.
- Mantenimiento y reparaciones. Según datos de la revista especializada Fórmula Moto, los costes anuales ascienden a 142,70 €, teniendo en cuenta los gastos en revisiones generales, cambio de aceite, ruedas, frenos y transmisión[19]. Además se ha incluido el precio de la ITV, que es de 10€.

[18] Ver web Yamaha
[19] Ver Fórmula Moto

Detalle del cálculo de costes para coches

Para el cálculo del coste de renovar el coche, tanto en coche nuevo como de segunda mano, se han extraído los precios de los datos de la Agencia Tributaria para el 2020, último año disponible [20]. Concretamente se ha utilizado como base el precio medio de los coches nuevos adquiridos en Cataluña en 2020 y el precio medio de los coches usados en Cataluña en 2020, haciendo la media entre ambos precios.

Además del precio de adquisición del coche, se han tenido en cuenta otros costes derivados del uso del mismo. A continuación se listan los distintos costes y su cálculo, que incluye las diversas fuentes de datos.

- Gasolina. Se han considerado los precios históricos de la gasolina 95 sin plomo recogidos por web Dieselogasolina.com, cogiendo como precio relevante el de 2021 que era de 1,3€ por litro. Así, para calcular el consumo de gasolina se ha tenido en cuenta el tiempo medio de viaje en coche que realizan las personas encuestadas a la EMEF, que es de 36 minutos y se ha asumido una frecuencia de dos viajes por día, es decir, 52 minutos al día. Además, se ha asumido una velocidad media de 30 km/hora y un gasto de 0,055 litros de gasolina por kilómetro, consumo especificado por el fabricante de coches "Seat Leon", el coche con mayor matriculación para el año de referencia. Teniendo en cuenta toda esta información, el gasto anual en gasolina es de 669,24 €.
- Seguro. Para calcular el coste del seguro se ha utilizado el servicio de Rastreator, que compara a diferentes proveedores. Se han seleccionado opciones estándar de un modelo Seat León (el de mayor cantidad de matriculaciones) asegurado a todo riesgo con franquicia. El precio obtenido es de 331,13 € anuales que corresponde a la media entre varios proveedores.
- Mantenimiento, reparaciones, parkings y peajes. Estos costes son la media que reportaba un estudio de mercado realizado por la firma Fintonic para la Revista El Motor del diario El País[21] para el año 2018. En promedio, los conductores españoles se gastaron 208,50 € en mantenimiento y reparaciones (incluye ITV) y 103,30 € en parkings y peajes.
- Impuestos. Además del impuesto de matriculación, incluido en el precio de los coches, los conductores y conductoras pagan el impuesto municipal sobre Vehículos de Tracción Mecánica, que, pese a variar a nivel municipal, se calcula que fue de 68,16 € de media para Cataluña para 2020[22].

[20] Ver Agencia Tributaria en Estadísticas de impuesto de matriculación.
[21] Ver Fintonic y El Motor
[22] Ver Automovilistas Europeos Asociados

Anexo III

Cuantificación de los vehículos afectados

En el marco de este estudio, entendemos que los vehículos afectados son el parque circulante de las categorías N1, N2, N3, M2 y M3 sin distintivo. Dado que no contamos con la información sobre la dimensión de este parque circulante, se lleva a cabo una estimación a partir de dos fuentes de información:

- Registros de las cámaras.
- Datos del Ayuntamiento de Barcelona del parque censado de vehículos según distintivo ambiental.

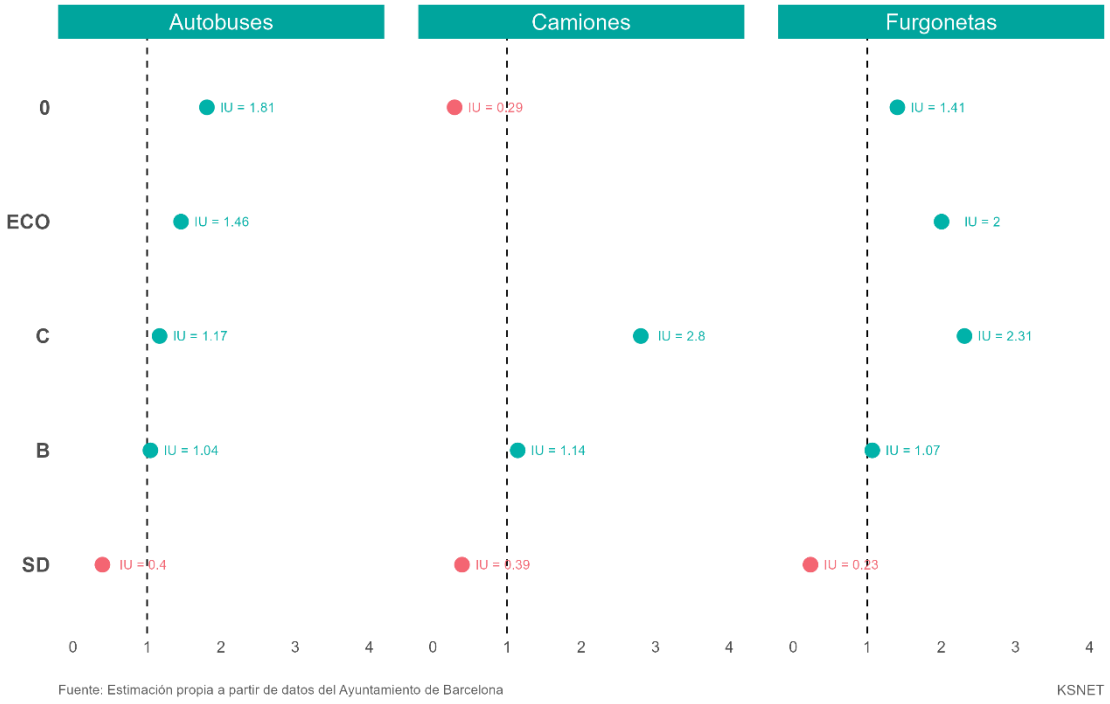
La extracción de los datos de las cámaras corresponde al mes de diciembre de 2021 y comprenden una muestra del total de vehículos que circulan por la ciudad de Barcelona (no se han incluido los datos de cámaras de fuera de la ciudad), pero no el total. Por tanto, para cuantificar el parque circulante debemos expandir esta muestra, lo que hacemos a partir de un índice de utilización y los datos del parque censado, mencionado anteriormente.

El índice de utilización (IU) es el cociente entre el porcentaje de vehículos circulante y el porcentaje de vehículos censados. Un índice superior a 1 indica que proporcionalmente los vehículos se utilizan con mayor frecuencia; y un índice inferior a 1 indica que se utilizan en menor frecuencia. Este índice lo calculamos para cada distintivo ambiental y cada categoría de vehículo afectada.

Por tanto, el IU se calcula de la siguiente manera:

$$IU_i = \frac{\frac{Veh_Circ_i}{\sum_{i=0}^{n} Veh_Circ_i}}{\frac{Veh_Cens_i}{\sum_{i=0}^{n} Veh_Cens_i}}$$

Donde i es el tipo de distintivo, Veh_Circ se refiere al número de vehículos de la muestra de cámaras, y Veh_Cens se refiere a los vehículos censados. El IU se calcula para cada tipo de vehículo. El siguiente gráfico muestra el IU calculado en diciembre de 2021.

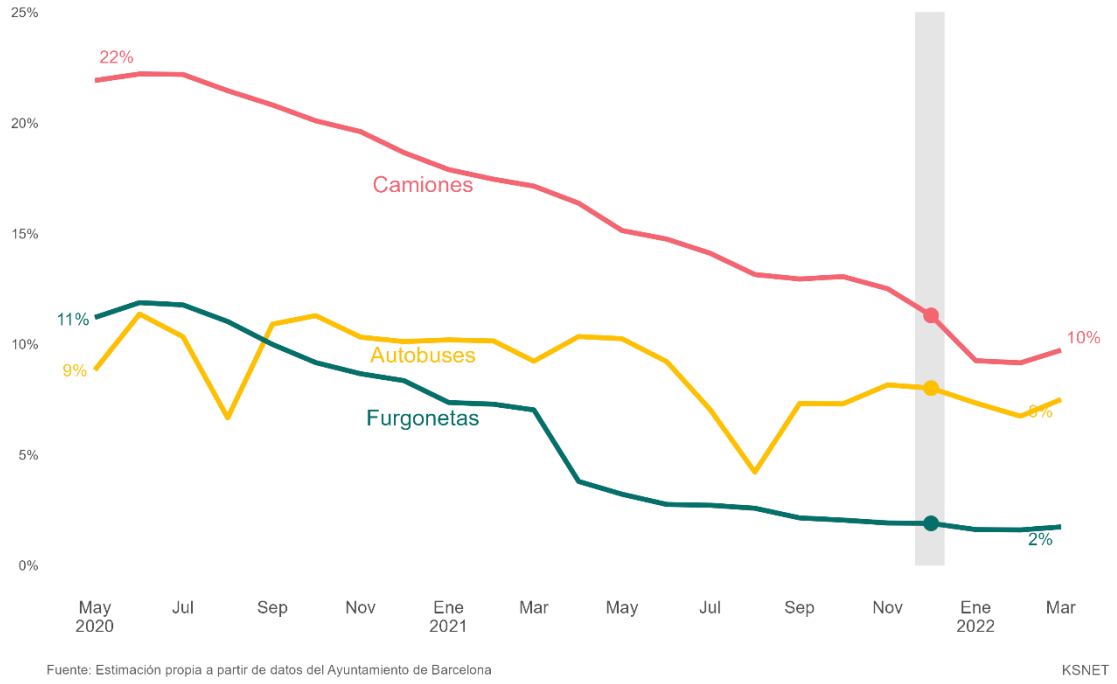


Después utilizamos el IU de los vehículos sin distintivo ambiental (SD) como un ponderador del parque censado sin distintivo para estimar el parque afectado.

$$Parque_afectado = IU_{SD} * Veh_Cens_{SD}$$

Tasa natural de sustitución

En todos los escenarios se asume que una parte de la sustitución es consecuencia del repuesto natural por antigüedad del parque de vehículos. En el apartado 4.3se presenta la evolución del parque censado de vehículos sin distintivo ambiental. A continuación se presenta la evolución de una muestra del parque circulante extraída de las cámaras de seguimiento de la política. Allí se observa que, aunque la serie tiene un plazo menor, la tendencia decreciente es la misma.



Coste de sustitución

Todos los precios de los vehículos fueron extraídos de fuentes públicas.

Precios autobuses

Fuente: https://www.fecav.es/wp-content/uploads/2021/12/2021-jul-OC.pdf

Tipo vehículo	Precio	Número de autobuses en Barcelona por plazas	%
Hasta 22	84.057,02 €	337	13%
Hasta 35	142.249,71 €	787	30%
Hasta 55	174.579,09 €	787	30%
Más de 55	232.772,81 €	680	26%

Precio ponderado autobuses	168.262,00 €

Precio camiones

Los precios son sin IVA y con supuestos descuentos sobre tarifa según el informe del observatorio de costes

Fuente: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/listado/recursos/observatorio_de_costes_octubre_2021.pdf

Tipo vehículo	Ningún tractor	Semirremolque	Precio
Rígido de 2 ejes de carga general	72.543,56 €	7.869,39 €	80.412,95 €
Rígido de 2 ejes de distribución	43.718,61 €	6.995,85 €	50.714,46 €
Articulado de carga general	117.316,04 €	36.476,75 €	153.792,79 €
Rígido de 3 ejes de carga general	98.372,33 €	10.668,77 €	109.041,10 €

Precio ponderado camiones <12 Tn	65.563,71 €
Precio ponderado camiones >12 Tn	131.416,95 €

Precio furgonetas

Tipo vehículo	Precio	Fuente
Furgoneta1	20.955	Link 1
Furgoneta2	29.986	Link 2
Furgoneta3	35.427	Link 3
Furgoneta4	33.426	Link 4
Furgoneta5	35.427	Link 5
Furgoneta6	30.225	Link 6
Furgoneta7	29.695	Link 7
Furgoneta8	24.904	Link 8
Furgoneta9	33.227	Link 9
Furgoneta10	26.614	Link 10

Precio medio furgoneta	29.988,60 €

Coste de las infracciones

La estimación se realiza de la misma forma que para el análisis de los turismos y motos. A continuación se presentan los cálculos según el tipo de vehículo:

Categoría Tipo de vehículo	N1 Furgonetas + Camiones <3,5 Tn	N2, N3, M2 y M3 Autobuses + Camión >3,5 Tn
Asumiendo infracción leve	100 €	200 €
Asumiendo que lo registran 3 de 5 días a la semana	300 €	600 €
Coste por reincidencia	90 €	180 €
Coste semanal	390 €	780 €
Coste anual de multas	**20.280 €**	**40.560 €**

Imputación sectorial de los impactos directos de la sustitución de vehículos

Para distribuir los costes entre los sectores económicos de Barcelona debemos analizar la magnitud de cada sector en la economía local y el peso de los vehículos dentro de su estructura de costes.

Para ello utilizamos los siguientes datos:

- PIB Barcelona 2019 Desagregación en 39 ramas de actividad del Departamento de Estadística Municipal de Barcelona.
- Material de transporte y Activos fijos de los Balances de activos no financieros – Stocks de capital fijo por activos y ramas de actividad del INE.

A partir de los datos del PIB estimamos la participación sectorial de cada una de las 39 ramas de actividad. Estos datos siguen la clasificación CNAE 2009 y se presentan a nivel de Divisiones agrupadas en las 39 ramas citadas.

A partir de los datos del Balance de activos no financieros calculamos la intensidad del uso de vehículos para cada rama calculando el cociente entre el stock de material de transporte y el stock de activos fijos. Estos datos también siguen la clasificación CNAE 2009, pero se presentan a nivel de actividad (una agrupación superior a la división).

A partir de ambos datos, calculamos el efecto para cada sector multiplicando la participación sectorial de cada una de las 39 ramas por la intensidad de uso de la actividad correspondiente, lo que nos da como resultado un coeficiente c para cada una de las 39 ramas.

$$c = a * b$$

a: peso en el PIB local, $0<a<1$

b: intensidad de uso de vehículos, $0<b<1$

Ahora, debemos distribuir todo el coste directo entre los sectores, pero el problema es que si sumamos todos los coeficientes sectoriales c, la sumatoria supera el 100%, por lo que debemos realizar un paso adicional. Por tanto, redistribuimos los efectos de la siguiente manera para garantizar consistencia: creamos un coeficiente d para cada una de las 39 ramas, que se calcula como el cociente del coeficiente c y la suma total de c.

$$d = c / \sum c$$

$$\rightarrow \sum d = 100\%$$

Por último, distribuimos el impacto directo de la sustitución de vehículos de cada escenario entre las diferentes ramas. Así, el impacto directo sobre el sector y en el escenario j surgirá de multiplicar el impacto directo del escenario j por el coeficiente d_i

$$\text{impacto}_{y}^{j} = \text{impacto_directo}^{j} * d_{i}$$

Donde están los tres escenarios (Fase I, Londres o 100% sustitución) y es cada una de las 39 divisiones agrupadas.

Estimación del impacto total - Tablas Input-Output

El análisis input-output de un sistema productivo se basa en las Tablas Input-Output (TIO) que representan los flujos de bienes y servicios entre los sectores económicos desagregados por las distintas ramas de actividad económica. Estos flujos generalmente se encuentran expresados en unidades monetarias. La idea de fondo es que los sectores económicos están interrelacionados. Por tanto, un choque de demanda en un sector, por ejemplo, genera efectos sobre el mismo sector, pero también tracciona una mayor demanda de bienes y servicios intermedios, afectando al resto de los sectores.

La TIO suele estar compuesta por tres matrices: la de compras y ventas intermedias (X), la de demanda final (I) y la de inputs primarios (Z). La matriz de compras y ventas intermedias muestra los flujos de mercancías y servicios entre las distintas ramas de actividad económica o, en otras palabras, los cambios intersectoriales de producciones intermedias. Por otra parte, la matriz de demanda final recoge las ventas de las distintas ramas de actividad económica a los distintos componentes de la demanda final, que generalmente están compuestos por el consumo público y privado, la inversión o formación bruta de capital, y las exportaciones. Por último, la matriz de inputs primarios representa la compra de inputs a los factores productivos primarios de la economía.

A partir de la matriz de inputs primarios, es posible obtener el llamado vector de producción efectiva (w), que puede calcularse tanto por el lado de las ventas como por el lado de las compras. Calculado junto a las compras, el vector de la producción efectiva (w) representa la suma de todas las compras intermedias y las compras de inputs primarios de cada rama de actividad económica. Por el lado de las ventas, la producción efectiva representa la suma de las ventas intermedias y las ventas a demanda final por cada rama de actividad. Por su parte, la matriz de inputs primarios contiene información sobre el Valor Añadido Bruto (VAB) y sus componentes para cada rama de actividad económica. Por último, las TIO suelen contener información sobre el número de puestos de trabajo ligados a las diferentes ramas de actividad.

Basándose en esta información, se puede realizar el análisis input-output para evaluar el impacto de un shock en la demanda final en un determinado sector sobre la producción, el VAB y el empleo. Para ello, en primer lugar, deben obtenerse los coeficientes técnicos, que representan el cociente entre cada elemento de la matriz de compras y ventas intermedias (X) y la producción efectiva (w) de cada actividad económica. La siguiente ecuación representa esta relación donde, x_{ij}es el elemento de la matriz X de la rama i- ésima (por filas) y j-ésima (por columnas) y $w_j$es la producción de la actividad j-ésima .

[1] $$a_{ij}=\frac{x_{ij}}{w_j}$$

El conjunto de los coeficientes técnicos se recoge en la matriz A:

[2] $$A=\begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Asimismo, se puede obtener la matriz inversa de Leontief (C) $C=(I-A)^{-1}$, donde refleja los requisitos de producción directos e indirectos necesarios para poder satisfacer un aumento en la demanda final. Los elementos c_{ij} de la matriz inversa de Leontief indican cuántas unidades más debe producir la rama de actividad y cuándo la demanda del sector j se aumenta en una unidad.

Aplicando algunas propiedades de las TIO, es posible concluir que la producción efectiva (w) es igual a la matriz inversa de Leontief $(I-A)^{-1}$multiplicada por el vector de la demanda final (i), que se expone en la ecuación 2:

[3] $$w = (I-A)^{-1}y$$

A partir de esta ecuación, y aplicando los datos de las TIO, es posible analizar un shock en la producción provocado por un shock en la demanda. No obstante lo anterior, es necesario aclarar que no se dispone de una TIO de la ciudad de Barcelona, por lo que se utiliza la TIO de Cataluña del año 2014.

Con el objetivo de corregir la metodología y adaptarla al caso de la economía local, aplicamos factores de ajuste sobre los coeficientes técnicos a_{ij} (ver ecuación 1). Dado que estos coeficientes captan la demanda intermedia de cada sector respecto al total en Cataluña, lo que hacemos es ajustar la demanda intermedia para que sea representativa de Barcelona y no de toda la comunidad autónoma.

Por tanto, aplicamos un factor de ajuste a los coeficientes técnicos en función del peso que cada sector de Barcelona representa respecto a este sector en Cataluña. Este factor de ajuste corresponde a los datos de peso y especialización en relación con Cataluña a Precios corrientes 2019-2021 publicado por el Departamento de Estadística municipal del Ayuntamiento de Barcelona.

ksnet /

knowledge sharing network