



Universitat Autònoma de Barcelona

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA
DEPARTAMENT D'ECONOMIA APLICADA
DOCTORADO EN ECONOMIA APLICADA

**LA DEMANDA DE GASOLINAS Y SUS IMPACTOS EN EL MEDIO
AMBIENTE EN ESPAÑA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN ECONOMÍA APLICADA
P R E S E N T A:
ORLANDO REYES MARTÍNEZ

DIRECTORA: DRA. ANNA MATAS PRAT

BARCELONA, 21 DE SEPTIEMBRE DE 2016

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Este trabajo quiero dedicarlo a mis padres Carlos e Isabel, a mis hermanas Fabiola y Paulina, a mi hermano Charlie y a mis sobrinos Orlandito y Carlos, por la enorme relevancia que tiene en mi formación profesional y por todo el apoyo que desde la distancia me han brindado. También quiero dedicarlo especialmente a mi hijo Facundo y a mi mujer Valentina, quienes me dieron las razones suficientes para poder cumplir con este sueño. Esto es lo que pasa con nuestros sueños, hay que alimentarlos para que sigan vivos.

Quiero agradecer de manera especial a mi asesora, la Dra. Anna Matas Prat por su colaboración, dedicación, dirección y apoyo en la elaboración de esta tesis doctoral. Sin duda que ha sido una pieza fundamental para culminar este proceso académico. También, agradezco los comentarios para la elaboración de este documento a Josep Lluís Raymond. De igual forma, agradezco a la Universidad Autónoma de Barcelona por permitirme continuar con mis estudios de posgrado. Mi sincera gratitud a los colegas del Departamento de Economía Aplicada especialmente a Pilar Bernabé, Juan Carlos Migoya, Emilio Padilla, Vicente Alcántara y Francesc Trillas.

Todos los sitios, el sitio, el cruce de caminos donde se dan cita la vida individual y la colectiva, agradezco a mis amigos y colegas durante mi estancia en Barcelona, Carlos, Manuel, Jorge Alí, Francisco, Matías, Luciana, Roberto, Ana, Janet, Edna y Monterito, gracias por compartir bellos momentos a mi lado. También agradezco la motivación durante las etapas difíciles de este proceso a Horacio Catalán y Roberto Escalante. Asimismo, agradezco la ayuda y el apoyo de mis amigos y colegas de la CEPAL, esencialmente a Luis Miguel Galindo, Joseluis Samaniego, José Eduardo Alatorre, Jimmy Ferrer, Allan Beltrán y Luis Sánchez.

Finalmente, quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo financiero durante la primera etapa de este proyecto.

Í N D I C E

RESUMEN	VIII
INTRODUCCIÓN	X
Referencias	XIX
CAPITULO I	
LA DEMANDA DE GASOLINAS: UNA REVISIÓN DE LA EXPERIENCIA Y EL DISEÑO DE POLÍTICAS AMBIENTALES	23
Resumen	24
I.1. Introducción	26
I.2. Literatura empírica: Demanda de gasolinas y medio ambiente	29
I.3. Eficacia de las políticas públicas dirigidas a reducir la contaminación ambiental	68
I.4. El impacto ambiental de la demanda de gasolinas	74
I.5. Implicaciones de políticas públicas ambientales	78
I.6. Conclusiones	82
Referencias	85
CAPITULO II	
LA DEMANDA DE GASOLINAS EN PROVINCIAS DE ESPAÑA: UN ANÁLISIS CON DATOS PANEL COINTEGRADO POR TIPO DE VEHÍCULO	99
Resumen	100
II.1. Introducción	102
II.2. Determinantes de la demanda de combustibles en España	104
II.3. Metodología econométrica	109
II.4. Descripción de los datos	111
II.5. Resultados econométricos: Elasticidades de la demanda de gasolinas	117
II.5.1 Raíz unitaria y relaciones de largo plazo	117
II.5.2. La demanda de combustibles de turismos: Diesel, gasolina y agregada	121
II.5.3. La demanda de combustibles de vehículos pesados: Diesel	126
II.6. La demanda de gasolinas y emisiones de gases contaminante	129
II.7. Conclusiones y recomendaciones generales	131

Referencias	135
-------------	-----

CAPÍTULO III

LA DEMANDA DE VIAJES DE VEHÍCULOS LIGEROS Y PESADOS:

ANÁLISIS CON DATOS PANEL EN ESPAÑA	140
---	-----

Resumen	141
---------	-----

III.1. Introducción	143
---------------------	-----

III.2. Revisión de la literatura empírica sobre tráfico inducido	146
--	-----

III.3. Análisis de los datos	159
------------------------------	-----

III.4. Metodología econométrica	161
---------------------------------	-----

III.5. Resultados de las estimaciones econométricas	163
---	-----

III.5.1. La demanda de viajes por carreteras de vehículos ligeros	166
---	-----

III.5.2. La demanda de viajes por carreteras de vehículos pesados	168
---	-----

III.6. Conclusiones e implicaciones de política económica	170
---	-----

Referencias	173
-------------	-----

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES DE

POLÍTICAS PÚBLICAS	179
---------------------------	-----

IV.1. Introducción	180
--------------------	-----

IV.2. Contribuciones a la literatura existente	181
--	-----

IV.3. Resultados de los capítulos analíticos	182
--	-----

IV.4. Implicaciones de políticas públicas	187
---	-----

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. 1 Elasticidades precio e ingreso de la demanda de gasolinas (<i>Series de tiempo</i>)	35
Cuadro 1. 2 Elasticidades precio e ingreso de la demanda de gasolinas (<i>Datos panel</i>)	48
Cuadro 1. 3 Elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolinas (<i>Total y muestras seleccionadas</i>)	53
Cuadro 1. 4 Descripción de las variables incluidas en el modelo de meta-regresión	56
Cuadro 1. 5 Meta-regresión: Fuentes de heterogeneidad las elasticidades ingreso y precio	60
Cuadro 1. 6 Estudios sobre estimaciones de elasticidades de la demanda de gasolinas (<i>Surveys y meta-análisis</i>)	63
Cuadro 1. 7 Literatura internacional sobre la elasticidad eficiencia de la demanda de gasolina	66
Cuadro 1. 8 Contaminantes e impactos del consumo de carburantes: Vehículos a diesel y gasolina	78
Cuadro 2. 1 Demanda de gasolinas en el sector transporte en España (<i>Resumen de resultados</i>)	107
Cuadro 2. 2 Tendencias de los indicadores del sector transporte en España (<i>Valores promedio, 1999-2012</i>)	117
Cuadro 2. 3 Determinantes y consumo de carburantes por tipo de vehículo en provincias de España (<i>Pruebas de raíces unitarias para datos panel</i>)	118
Cuadro 2. 4 Pruebas de cointegración para los modelos de demanda de carburantes	120

Cuadro 2. 5	
Estimaciones para la demanda de diesel por provincias en España: Turismos	123
Cuadro 2. 6	
Estimaciones de la demanda de gasolina por provincias en España: Turismos	124
Cuadro 2. 7	
Estimaciones de la demanda de carburantes por provincias en España: Turismos	126
Cuadro 2. 8	
Estimaciones para la demanda de diesel por Provincias en España: Camiones	128
Cuadro 3. 1	
Factores de políticas públicas y efectos en los kilómetros recorridos por vehículo (<i>Literatura internacional</i>)	148
Cuadro 3. 2	
Estadística descriptiva de los datos	161
Cuadro 3. 3	
Determinantes y kilómetros recorridos de vehículos en provincias de España (<i>Pruebas de raíces unitarias para datos panel</i>)	163
Cuadro 3. 4	
Modelos de kilómetros recorridos de vehículos en provincias de España (<i>Pruebas de cointegración</i>)	164
Cuadro 3. 5	
Estimaciones de los kilómetros recorridos por vehículos ligeros para provincias en España	168
Cuadro 3. 6	
Estimaciones de los kilómetros recorridos por vehículos pesados para provincias en España	170

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1. 1	
Distribución de frecuencias de la elasticidad ingreso de corto y largo plazo	54
Gráfico 2. 1	
Evolución del parque vehicular en España (Miles de vehículos, 1999-2012)	112
Gráfico 2. 2	
Consumo promedio y precios de carburantes y antigüedad de los vehículos	113
Gráfico 2. 3	
Consumo de carburantes por tipos de vehículos en España (Miles de toneladas, 1999-2012)	115
Gráfico 2. 4	
Consumo de combustibles del sector transporte, PIBIC y PIB en España (1999-2012)	116
Gráfico 2. 5	
Evolución de las emisiones de CO2 por consumo de combustibles en España	130

RESUMEN

El principal objetivo de esta tesis es analizar la demanda de carburantes y de viajes y sus impactos sobre el medioambiente en España. Estudios previos sobre la demanda de combustibles y viajes en el sector transporte han examinado los principales factores determinantes del consumo de gasolinas y uso del transporte en España a través de datos agregados a nivel nacional o por comunidades autónomas. Los resultados son diversos a consecuencia de las especificaciones y de los distintos métodos de estimación, por lo tanto, las conclusiones que se han obtenido son un tema aún abierto. Esta investigación, hasta donde es de nuestro conocimiento, es una de las pocas que utilizan datos de panel a nivel provincia, con especificaciones separadas por carburantes, gasolina y diesel, y por tipo de vehículos, pesados y ligeros. La no inclusión de esta separación de consumo de combustibles puede producir resultados erróneos sobre el comportamiento de la demanda de los carburantes y de los patrones del uso del automóvil. La tesis tiene tres contribuciones fundamentales, primero, sintetiza una amplia literatura sobre los determinantes y las consecuencias ambientales del consumo de gasolinas, a fin de comprender plenamente la instrumentación de políticas públicas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector transporte carretero. Segundo, atendiendo a los patrones y estilos del consumo de combustibles en el sector autotransporte empleamos datos agregados para 48 provincias de España durante el periodo 1999-2012 para estimar respuestas del consumo de carburantes distinguiendo por tipos de combustibles y vehículos a cambios en precios, renta, stock vehicular, la red de carreteras y la eficiencia de los combustibles. Tercero, utilizamos datos de kilómetros recorridos por vehículo para estimar los impactos de la eficiencia energética, el costo del combustible por kilometro, los ingresos y la capacidad de las carreteras en el uso del vehículo. Finalmente, se propone implementar políticas públicas conjuntas que contribuyan a reducir las distancias recorridas de los vehículos, el consumo de gasolinas, las emisiones contaminantes asociadas y sus impactos en el medio ambiente.

ABSTRACT

In this paper the main objective is to analyze fuel and travel demand and their impacts on the environment in Spain. Previous studies on fuel and travel demand in the transport sector examined the major determinants of gasoline consumption and use of transport in Spain through data aggregated at national level or by regions. The results are different as a result of the different specifications and estimation methods, therefore, the conclusions that have been obtained are still open issue. This investigation, to our knowledge, is one of the few that use panel data to province level, separated by fuel, gasoline and diesel specifications, and vehicles types, heavy and light. Failure to include this separation of fuel consumption can produce erroneous results on the behavior of demand for fuels and patterns of car use. Our findings make three contributions to the transportation literature. First, synthesizes a vast literature on the determinants and environmental consequences of gasoline consumption in order to fully understand the implementation of public policies to reduce greenhouse gases (GHG) emissions in the sector road transport. Second, based on the patterns and styles of fuel consumption in road transport sector we employ aggregate data for 48 provinces of Spain during the period 1999 to 2012 to estimate responses distinguishing fuel consumption by fuel and vehicle types to changes in prices, income, vehicle stock, highways and fuel efficiency. Third, we use data from vehicle kilometers traveled to estimate the impacts of the effect of fuel efficiency, fuel cost per kilometer, income and road network in the use of the vehicle. Finally, it is proposed to implement joint public policies that contribute to reducing the distances covered vehicles, gasoline consumption, associated emissions and their impacts on the environment.

INTRODUCCIÓN

El transporte es una de las actividades más importantes dentro del sistema económico. Es, sin duda, una fuente indispensable para el funcionamiento del aparato productivo. Los beneficios económicos que genera el transporte de personas y/o mercancías en una economía han sido ampliamente documentados (de Rus, *et al.*, 2003). Sin embargo, existen también externalidades negativas asociadas al consumo energético en el sector transporte, incluyendo la contaminación local del aire y el cambio climático global. Estas externalidades pueden ser abordadas con políticas públicas encaminadas a reducir la demanda de gasolina o la contaminación de los automóviles (Newbery, 2007; Goulder y Parry, 2008). Las emisiones de los distintos gases de efecto invernadero (GEI) están vinculadas directamente al consumo de combustibles fósiles (Kay, *et al.*, 2014), los cuales son la base de la generación de energía del sector transporte. Existe una amplia literatura que analizan las principales características de la demanda de gasolinas (Dahl, 1986; Dahl y Sterner, 1991a,b; Goodwin, 1992; Espey, 1996,1998; Graham y Glaister, 2002; Goodwin, *et al.*, 2004; Basso y Oum, 2007). También existe literatura que proporciona una visión general de la demanda de transporte, uso del transporte privado y de servicios, medido en kilómetros recorridos por vehículo (VKT, *por siglās en inglés*: Vehicle Kilometres Travelled) (Oum, 1992; Goodwin, 1992, 1996; Dahl, 1995; Noland y Lem, 2002; Graham y Glaister, 2004; Goodwin, *et al.*, 2004; Weis y Axhausen, 2009). Sin embargo, existe una diversidad de aspectos que impiden identificar con precisión, desde el punto de vista empírico, los principales factores determinantes de la demanda de combustibles y de viajes en el sector transporte.

El interés por la demanda de gasolinas para la actividad de transporte recibió especial relevancia después de las crisis del petróleo en los años setenta, cuando los altos precios de los combustibles expresaron su preocupación por la seguridad energética (Espey, 1996). Más recientemente, las preocupaciones por las emisiones de GEI y el cambio climático han dado lugar a un renovado interés en el deseo de comprender a la demanda de gasolinas (Nicol, 2003; Karathodorou, *et al.*, 2010). La reducción de las emisiones de GEI es un objetivo de política de importancia para la mayoría de los gobiernos. Entre los diferentes sectores de la economía, la descarbonización del transporte parece particularmente difícil. Teniendo en cuenta que el consumo de combustibles en sector transporte por carretera es uno de los mayores impulsores de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) con respecto a la quema de combustibles fósiles. En países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) el sector del transporte por carretera aporta aproximadamente el 85% del consumo de energía del sector transporte y el 90% del total de CO₂ (IEA, 2013).

Para 2014 el sector automotor en España aporta aproximadamente el 79% del consumo de energía del sector transporte y el 94.7% por ciento del total de emisiones de CO₂ equivalentes (MARM, 2016). Esta investigación busca identificar los factores que afectan a la demanda de combustibles y viajes en el transporte por carretera en España, proporcionando estimaciones que son sensibles a cambios en los precios, renta, stock vehicular, red de carreteras, eficiencia de los combustibles. Al analizar la demanda de combustible en el sector transporte, algunos estudios se han concentrado en la demanda de gasolina y el uso del automóvil, ya que el uso del automóvil representan uno de los mayores consumidores de combustible, y la gasolina es el principal combustible para la flota de automóviles (Brownstone y Golob, 2009). Aunque estudios anteriores han investigado el efecto de las características demográficas (*estructura familiar, la situación laboral y la densidad de población*), socioeconómicas, preferencias del consumidor, precios del combustible, impuestos, ingresos, stock vehicular, uso de la tierra, eficiencia energética, de las formas funcionales, de los métodos de estimación que incluyen especificaciones de sección cruzada, de series de tiempo y de datos panel, con estructuras de rezagos, con microdatos y datos agregados en el consumo de gasolinas en el sector transporte y en kilómetros recorridos por vehículo, los efectos no ha sido examinado por completo.

Las políticas públicas pueden influir en las actitudes y comportamiento hacia el transporte y desalientan explícitamente el uso del vehículo con el fin de reducir el consumo de gasolinas y limitar así las emisiones de GEI. También, se ha incrementado el interés en el uso de los impuestos al consumo de combustibles como instrumento de la política climática (Stern, 2007, 2012; Liddle y Lung, 2015). Por ejemplo, se ha sugerido políticas de precios, como impuestos verdes al consumo de gasolinas, a la compra de autos y a la congestión por contaminación atmosférica por uso de vialidades (Hirota y Poot, 2005; Bento, *et al.*, 2009; Small, 2012; De Mooij, *et al.*, 2012); medidas para mejorar la eficiencia energética del sistema de transporte, normativas sobre emisiones de CO₂, aumento de los rendimientos energéticos en vehículos ligeros, medianos y pesados, vehículos más eficientes que reduzcan el consumo de energía por vehículo kilómetros recorridos, reducciones de VKT opciones tales como el transporte público, la forma urbana energéticamente eficiente, la mejora de la logística y la gestión de la demanda y combustibles bajos en carbono (Hankey y Marshall, 2010).

La elección del vehículo, el tipo de combustibles y los kilómetros recorridos por vehículo son los principales determinantes de la demanda de carburantes y del nivel de emisión de gases

contaminantes (Cervero y Kockelman, 1997; Ewing, *et al.*, 2008; Schipper, 2011; Mayeres y Proost, 2012). Por tanto, resulta necesario conocer el impacto de la quema de combustibles fósiles en dichas emisiones para dimensionar correctamente las decisiones de política de transporte orientadas a disminuir el consumo energético. Para ello, se requiere conocer apropiadamente las magnitudes de las elasticidades de los determinantes de la demanda de combustibles, ya que son un insumo fundamental para cualquier análisis del uso de combustibles en el futuro, sus consecuencias para el medio ambiente, por la respuesta de los consumidores y por el impacto de las respuestas sobre políticas públicas. La predicción del consumo de combustibles tiene un papel fundamental y es una herramienta cada vez más importante para la planificación y modelización de la demanda de energía (Hunt, *et al.*, 2003; Li, *et al.*, 2010; Salisu y Ayinde, 2016).

En la literatura aplicada, se han utilizan diferentes enfoques para analizar la demanda de gasolinas y uso del automóvil. Una primera distinción se puede hacer entre los estudios que utilizan datos desagregados frente a los datos agregados. El uso de los datos a nivel micro permite la modelación del comportamiento individual y de los hogares con mayor precisión (véase, por ejemplo Hensher, *et al.*, 1992; Eltony, 1993; Rouwendal, 1996; Nicol, 2003; Wadud, *et al.*, 2010a). Sin embargo, a pesar de la disponibilidad de datos desagregados en España, los datos no permiten separar entre el consumo de diesel y de gasolina, ni mucho menos permiten contar con una serie histórica (o con varios años) para el análisis. Por lo que esta tesis se basa en datos agregados. A nivel agregado, los modelos se pueden distinguir por la clasificación de los datos: Series de tiempo, corte transversal y datos de panel (Graham y Glaister, 2002; Basso y Oum, 2007). Las estadísticas de transporte en España disponen de datos a nivel de provincias en España, nuestra elección se basa en modelos de datos panel.

Existen estudios tipo ‘surveys’ que proporcionan un análisis detallado los resultados de las elasticidades de la demanda de gasolina (véase, por ejemplo, Blum, *et al.*, 1988; Dahl y Sterner, 1991a,b; Graham y Glaister, 2002; Dahl, 2012). Estos documentos hacen hincapié en la importancia de la especificación del modelo, la forma funcional, estructura distributiva de rezagos y la elección de las variables explicativas. Los resultados en general indican que la demanda de gasolina es inelástica, lo que refleja la relativa falta de alternativas al uso de la gasolina, también indican que las elasticidades de precios son más bajos que los correspondientes valores de las elasticidades de ingresos, tanto en el corto como en el largo plazo. La baja capacidad de respuesta de los consumidores a la variación en el precio de la

gasolina y a los ingresos puede depender de cambios estructurales tecnológicos, económicos y políticos (Espey, 1998, Sterner, 2007; Hughes, *et al.*, 2008).

También, se ha hecho uso de los estudios de meta-análisis para complementar el análisis de la demanda de carburantes y proporcionar respuestas satisfactorias en cuanto a la calidad de las estimaciones, de la forma funcional o de las especificaciones del modelo. Por ejemplo, Goodwin, *et al.* (2004) encuentran en la forma funcional y en los datos usados las fuentes de variación de las elasticidades estimadas. Espey (1998) examina la heterogeneidad en las estimaciones. Similar a Espey (1998), Brons, *et al.* (2008) se centran en la heterogeneidad derivada de los diferentes métodos utilizados. Havranek, *et al.* (2012) y Havranek y Kokes (2015) muestran que hay un sesgo de publicación sustancial en la literatura sobre las elasticidades precio e ingreso de la demanda de gasolina. El consumo de gasolina es mucho más inelástica al precio que lo que se cree generalmente, mientras que las elasticidades ingreso están sesgadas a la alza.

Una revisión de los estudios dedicados a la estimación de la demanda de gasolinas permite constatar que el uso de datos de series temporales es uno de los más habituales (Reyes, *et al.*, 2010; Galindo, *et al.*, 2015). Se han aplicado técnicas econométricas que permiten modelar la naturaleza no estacionaria de las variables involucradas en la ecuación de manera explícita (por ejemplo: Bentzen, 1994; Ramanathan, 1999; Badr, *et al.*, 2008; Wadud, *et al.*, 2009). Como resultado de la aplicación de técnicas de cointegración existe algún tipo de acuerdo en ciertas cuestiones, por ejemplo, los valores de las elasticidades ingreso y precio a largo plazo son mayores que en el corto plazo; las elasticidades ingreso tienden a ser mayores tanto a corto y a largo plazos que las elasticidades precio; y los valores estimados para la elasticidad precio en el largo plazo son inferiores a los hallados en otros tipo de estudios (Graham y Glaister, 2002). Además, de acuerdo con Brons, *et al.* (2008) las elasticidades de los estudios de series de tiempo reportan valores de menor magnitud que estudios donde se incluye datos de sección cruzada. Espey (1998) encontró que los estudios con datos de sección cruzada tienden a producir elasticidades ingreso más inelásticas y elasticidades precio más elásticas en el corto plazo, mientras que no hubo diferencias significativas en el largo plazo.

Existen estudios que estiman la demanda de gasolina con la metodología econométrica de datos panel (Baltagi y Griffin, 1983; Pock, 2010). Estudios que utilizan especificaciones dinámicas y datos panel tienden a producir estimaciones de elasticidad más bajas (Goodwin, *et al.*, 2004).

Espey (1998) reporta que los estudios basados en datos panel, tienden a producir elasticidades ingreso y precio que son similares a los estudios particulares (un solo país) en el largo plazo, sin embargo, en el corto plazo las elasticidades reportan mayor magnitud. Parte de la explicación es que las elasticidades varían a través del tiempo y de lugar (Kouris, 1981). También se observa que los resultados dependiendo del modelo especificado, países incluidos y el período de tiempo presentan sesgo por variables omitidas. Las elasticidades ingreso y precio difieren si se incluye el stock vehicular, en particular en vehículos de combustión a gasolina. Los bajos valores junto con respuestas inelásticas se asocian a la reacción de los consumidores al aumento de los precios, sustituyendo gradualmente sus vehículos a gasolina con autos a diesel.

La creciente literatura sobre la demanda de gasolinas ha ofrecido diferentes dimensiones para la evaluación de su dinámica que van desde la elección de las especificaciones, de las formas funcionales, de los enfoques metodológicos, de los factores determinantes y el tratamiento del sesgo de publicación. Si bien los esfuerzos en este sentido han sido bastantes, los resultados de los estudios son potencialmente sensibles y existen diferencias sustanciales en las estimaciones tanto de la elasticidad precio como en la elasticidad ingreso. Por ejemplo, recientemente se ha modelado la demanda de gasolinas con variables para controlar la endogeneidad de los precios, la heterogeneidad a través de las características del hogar, hábitos racionales de consumo y características del parque vehicular (Espey, 1998; Hughes, *et al.*, 2008; Wadud, *et al.*, 2010b) y con modelos de parámetros variables en el tiempo (Park y Zhao, 2010; Neto, 2012, 2015). Los resultados sugieren que las elasticidades precio han fluctuado con el tiempo (Park y Zhao, 2010; Neto, 2012, 2015). Es probable que las elasticidades a largo plazo hayan disminuido con el paso del tiempo (Hughes, *et al.*, 2008). Por el contrario, los resultados del informe de meta-análisis de Espey (1998), sostienen que las elasticidades de corto plazo han disminuido con el tiempo, pero elasticidades a largo plazo han aumentado.

Los resultados de las estimaciones proporcionan una fuerte evidencia de la heterogeneidad de las elasticidades de la demanda de gasolina en el tiempo. Se argumenta que los cambios en las elasticidades de la demanda probablemente se debe a los cambios estructurales, a choques macroeconómicos, al comportamiento del consumidor, a regulaciones y normas sobre la eficiencia energética, cambios en los patrones de uso del suelo, a la trayectoria de los ingresos y a los servicios del transporte público. Dada la creciente importancia de la demanda de combustibles y el calentamiento global es necesario identificar las brechas en la literatura para

poder llegar a un acuerdo de la proliferación de documentos existentes sobre la modelización energética.

Por otra parte, durante mucho tiempo los estudios antes citados modelan los determinantes de la demanda de gasolinas sin diferenciar por tipo de combustible, ni mucho menos por tipo de vehículos. Así por ejemplo, una parte de estas investigaciones se basan en la demanda de los combustibles tradicionales del transporte por carretera, gasolina y diesel, pero la gran mayoría únicamente basan su análisis en el consumo de combustible de gasolina. No obstante, existe evidencia que indica una magnitud diferente de respuesta en la sensibilidad del consumo del diesel en comparación con la gasolina, los consumidores que utilizan vehículos de combustión a diesel pueden tener distinto comportamiento a cambios en los precios y los ingresos (Schipper y Fulton, 2009; Schipper, 2011). Respecto al análisis por tipo de combustible y tipo de vehículo, se conoce pocos estudios que hagan esta distinción, esto es, separar por carburantes (gasolina y diesel) y por tipo de vehículos (pesados y ligeros). De hecho, en los últimos años, en algunos países europeos se observaron tendencias de cambio de vehículos, con características de mayor potencia, ligeros y con funcionamiento a diesel (Sterner, 2002; Ramli y Graham, 2014).

Algunos estudios sobre la demanda de gasolina se han realizado para España. El trabajo más reciente explica el comportamiento de la demanda de gasolina, diesel y del total introduciendo como variable adicional la cuota de la flota vehicular a diesel (Danesin y Linares, 2015). Los resultados de este estudio muestran un impacto significativo de la proporción de vehículos con motor a diesel cuando se estima por separado la demanda de gasolina y del diesel, pero este valor es mucho menor cuando se cuantifica en la demanda total de los combustibles. Prestando especial atención a la heterogeneidad de los hogares, Romero, *et al.* (2014) han tenido en cuenta en las especificaciones de demanda de combustible los hábitos de consumo. Los resultados muestran que los hábitos tienen gran relevancia en la decisión de consumo de los carburantes; y que existe una relación significativa entre consumo y el tamaño del hogar, la ubicación geográfica y la situación profesional del hogar. Utilizando datos de panel González, *et al.* (2012) estiman un modelo dinámico a partir del método de momentos generalizado para 16 comunidades autónomas durante el periodo 1998-2006 distinguiendo por tipo de combustible. La sugerencia que dan los autores es que el consumo de los combustibles, al menos en el corto plazo, es inelástica a los precios, por lo que no es posible utilizar el precio de las gasolinas como instrumento de política económica para regular el consumo de este producto.

Estudios previos sobre la demanda de gasolina con el uso de datos panel no consideran otros factores de manera explícita, por ejemplo la eficiencia de los combustibles, ya que no separan los efectos que son capturadas de forma implícita, en cierta medida, por el término de error y/o una tendencia en el tiempo. Para el caso español, en las investigaciones previas no se ha hecho la distinción entre la demanda de diesel y gasolina por tipo de vehículo (López, 1995; Labeaga y López, 1997; Álvarez, *et al.*, 2006; Labandeira, *et al.*, 2006; González, *et al.*, 2012; Bakhart, *et al.*, 2012; Romero, *et al.*, 2014; Danesin y Linares, 2015). Los enfoques, omisión de variables y no distinción entre tipo de combustible y vehículo producen diferencias importantes en los resultados que podrían incidir en las recomendaciones de políticas públicas. Este es sin duda un inconveniente dado los problemas actuales del consumo energético sobre el medio ambiente para diseñar una serie de políticas viables y factibles que favorezcan a reducir la demanda futura de energía y, por tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero. Las elasticidades de la demanda de gasolinas son un parámetro clave para las preocupaciones ambientales, proporciona ayuda a comprender, entre otras cosas, cómo las emisiones de GEI derivadas del consumo de carburantes evolucionarán en el futuro. Debido a su relevancia política, la elasticidad se ha estimado por cientos de investigadores en las últimas décadas. Sin embargo, la amplia investigación no ha dado lugar a un consenso sobre la magnitud de la elasticidad.

Esta tesis tiene que ver con el análisis del consumo de combustibles en España. La literatura ha discutido y analizado las diferentes dimensiones de la relación entre los principales determinantes (*ingreso y precios*) y la demanda de combustibles. La mayoría de las estimaciones (*elasticidades*) reportadas en estos estudios provienen del análisis de la demanda total de carburantes (*gasolina y diesel*) o particularmente de la demanda de gasolina. Sin embargo, diferenciar por tipo de combustible y por tipo de vehículo (ligero y pesado) en el análisis de la demanda de combustibles ha recibido poca atención (Wadud, 2016). Existen algunos análisis que han incluido la separación entre consumo de gasolina y diesel (por ejemplo, González, *et al.*, 2012; Danesin y Linares, 2015) pero estos estudios no han incluido estimaciones que permitan la estimación directa por tipo de combustible y vehículo.

El objetivo de este trabajo es investigar los factores determinantes de la demanda de gasolina y los kilómetros recorridos en por vehículos en España, y evaluar su impacto en el consumo. Entre otros, nos centramos en el impacto de los precios, ingresos, red de carreteras de alta capacidad, parque vehicular, eficiencia de los carburantes y medimos las elasticidades de la demanda en el corto y en el largo plazo. Gracias al amplio conjunto de datos que construimos,

somos capaces de utilizar variables adicionales y podemos realizar la separación del consumo de carburantes, gasolina y diesel, y también más por tipo de vehículo, ligero y pesados. De hecho, la no inclusión de esta separación de consumo de combustibles puede producir resultados erróneos sobre el comportamiento de la demanda de los combustibles y de los patrones del uso del automóvil. Contrariamente a lo que se suele hacer en los estudios típicos en la demanda de gasolina, no sólo el precio y los ingresos son considerados como determinantes, sino también de la eficiencia de los carburantes y parque vehicular.

Esta tesis doctoral está estructurada en cuatro capítulos. El capítulo I hace una revisión de la literatura teórica y empírica existente sobre la demanda de gasolinas, con el propósito de extraer lecciones para la estimación y el análisis de la sensibilidad de la demanda en la emisión de GEI. De esta manera, en primer lugar se analizan estudios sobre la demanda combustibles, poniendo énfasis en la información diferenciado por métodos de estimación, formas funcionales, variables independientes y tipos de datos. En segundo lugar, se sintetiza una amplia literatura sobre los determinantes y las consecuencias ambientales del consumo de carburantes, a fin de comprender plenamente la instrumentación de políticas públicas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte. La revisión empírica permitió la identificación de los principales temas de la literatura relacionados con el medio ambiente.

Por otra parte, las estimaciones sobre el consumo de carburantes por tipo de vehículo para las provincias de España realizadas se han centrado en obtener y analizar las elasticidades ingreso, precios, el stock de vehículos, la red de carreteras y la eficiencia para las provincias españolas. En este contexto, el Capítulo II muestra que los vehículos ligeros y pesados a diesel son muy sensibles a la renta. Por su parte, los turismos a gasolina presentan una elasticidad positiva y significativa, pero inelástica al ingreso. También, se confirma que los turismos y camiones pesados son poco sensibles a cambios de precios. Estos resultados cuestionan la política seguida en Europa de fijar menores impuestos para el diesel que la gasolina. De igual manera, los resultados muestran que una política sobre los precios puede no ser una manera eficaz de controlar el consumo de combustible y las emisiones de carbono en el sector del transporte.

El capítulo III se presenta un análisis sobre los factores que determinan la demanda de tráfico en España. Para ello, utilizamos datos de los kilómetros recorridos por tipo de vehículo para estimar los impactos de los precios de los carburantes, de la actividad económica, de la eficiencia energética, del costo del combustible por kilometro, de la densidad poblacional y de

la capacidad de las carreteras en el uso del vehículo. El estudio actualiza los trabajos previos de VKT en España e incluye implicaciones de políticas públicas sobre las normas de eficiencia energética y sus impactos en el medio ambiente. También, se observa que parte de la mejora en la eficiencia se pierde a través de un mayor uso de los vehículos ligeros. Los resultados obtenidos proporcionan evidencia de la existencia de una demanda inducida para el transporte en España, los resultados varían dependiendo del tráfico generado, por un lado el generado tradicionalmente por la red carreteras y el derivado por otros factores de la demanda, por tanto, los instrumentos de política pública deben ser diferentes. Estos resultados pueden tener importantes implicaciones, por ejemplo, sobre las medidas de eficiencia de combustibles que podrían contribuir a la reducción del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas.

Finalmente, en este trabajo se considera importante el papel que juega la instrumentación de políticas públicas que contribuyen sustancialmente con los objetivos de reducción de emisiones de CO₂ y control del consumo de combustibles. Por lo que, se añaden una serie de políticas públicas, que de acuerdo con la literatura especializada y los resultados de esta tesis, se han formulado como necesarias para frenar las consecuencias del consumo de combustibles sobre el cambio climático.

Referencias

- Álvarez, G. S., M. Jorge y D. R. Jordán (2006) “Explorando la demanda de carburantes de los hogares españoles: Un análisis de sensibilidad”, Papeles de Trabajo No. 18, Instituto de Estudios Fiscales.
- Ajanovic, A., C. Dahl y L. Schipper (2012) “Modelling transport (energy) demand and policies -An introduction”, *Energy Policy*, 41, 3-16.
- Badr, E. A., G. E. Nasr y G. L. Dibeh (2008) “Econometric modeling of gasoline consumption: A cointegration analysis”, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 3(3), 305-313.
- Bakhat, M., J. M. Labeaga, X. Labandeira y X. López (2012) “Economic crisis and elasticities of car fuels: Evidence for Spain”. WP FA15/2012, ALCOA Foundation.
- Baltagi, B. H., y J. M. Griffin (1983), “Gasoline demand in the OECD: An application of pooling and testing procedures”, *European Economic Review*, 22 (2), 117-137.
- Basso, J. L. y T. H. Oum (2007) “Automobile fuel demand: A critical assessment of empirical methodologies”, *Transport Reviews*, 27(4), 449-484.
- Bento, A. M., L. H. Goulder, M. R. Jacobsen y R. H. von Haefen. (2009) “Distributional and efficiency impacts of increased US gasoline taxes”, *American Economic Review*, 99(3), 667-99.
- Bentzen, J. (1994) “An empirical analysis of gasoline demand in Denmark using cointegration techniques”, *Energy Economics*, 16(2), 139-143.
- Blum, C. H. U., G. Foos y M. J. I. Gaudry (1988) “Aggregate time series gasoline demand models: Review of the literature and new evidence for West Germany”, *Transportation Research Part A: General*, 22(2), 75-88.
- Brons, M., P. Nijkamp, E. Pels y P. Rietveld (2008) “A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand. A SUR approach”, *Energy Economics*, 30(5), 2105-2122.
- Brownstone, D. y T. F. Golob (2009) “The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption”, *Journal of Urban Economics*, 65(1), 91-98.
- Cervero, R. y K. Kockelman (1997) “Travel demand and the 3Ds: Density, diversity and design”, *Transportation Research D*, 2(3), 199-219.
- Charemza, W. W. y D. F. Deadman (1997) “*New direction in econometric practice, general to specific modelling, co-integration and vector autoregression*”. Edward Elgar Publishing, Ltd., Hants, England.
- Dahl, C. (1986) “Gasoline demand survey”, *The Energy Journal*, 7(1), 67-82.
- Dahl, C. (1995) “Demand for transportation fuels: A survey of demand elasticities and their components”, *The Journal of Energy Literature*, 1(2), 3-27.
- Dahl, C. (2012) “Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities”, *Energy Policy*, 41(1), 2-13.
- Dahl, C. y T. Sterner (1991a) “A survey of econometric gasoline demand elasticities”, *International Journal of Energy Systems*, 11(2), 53-76.
- Dahl, C. y T. Sterner (1991b) “Analysing gasoline demand elasticities: A survey”, *Energy Economics*, 13(3), 203-210.
- Danesin, A. y P. Linares (2015) “An estimation of fuel demand elasticities for Spain: An aggregated panel approach accounting for diesel share”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 49(1), 1-16.
- De Mooij, R., I. W. H. Parry y M. Keen (2012) “*Fiscal policy to mitigate climate change a guide for policymakers*”. International Monetary Fund.
- De Rus, M. G., J. Campos y G. Nombela (2003) “*Economía del transporte*”. Antoni Bosch (ed.), Barcelona.

- Del Rio, P. D. Romero, M. Jorge y M. Burguillo (2012) "Territorial differences for transport fuel demand in Spain: An econometric study". En: L. Kreiser, *et al.* (eds.), *Green taxation and environmental sustainability green taxation and environmental sustainability*. Edward Elgar Publishing Limited.
- Eltony, M. (1993) "Transport gasoline demand in Canada", *Journal of Transport Economics and Policy*, 27(2), 193-208.
- Espey, M. (1996) "Explaining the variation in elasticity estimates of gasoline demand in the United States: A meta-analysis", *Energy Journal*, 17(3), 49-12.
- Espey, M. (1998) "Gasoline demand revisited: An international meta-analysis of elasticities", *Energy Economics*, 20(3), 273-295.
- Ewing, R., K. Bartholomew, S. Winkelman, J. Walters y D. Chen (2009) "*Growing cooler: The evidence on urban development and climate change*". ULI—the Urban Land Institute.
- Galindo, L. M., J. Samaniego, J. E. Alatorre, J. Ferrer y O. Reyes (2015) "Meta-análisis de las elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolina: Implicaciones de política pública para América Latina", *Revista CEPAL*, 117(2), 7-25.
- González, R. M. y G. A. Marrero (2012) "Induced road traffic in Spanish regions: A dynamic panel data model", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), 435-445.
- Goodwin, P. B. (1992) "A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects on price changes", *Journal of transport economics and policy*, 25(2), 155-169.
- Goodwin P (1996) "Empirical evidence on induced traffic: A review and synthesis", *Transportation*, 23(1), 34-54.
- Goodwin, P., J. Dargay, y M. Hanly (2004) "Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A review", *Transport Reviews*, 24(3), 275-292.
- Goulder. L. H e I. W. H. Parry (2008) "Instrument choice in environmental policy", *Review of Environmental Economics and Policy*, 2(2) 152-174.
- Graham, D. y S. Glaister (2002) "The demand for automobile fuel a survey of elasticities", *Journal of Transport Economics and Policy*, 36(1), 1-26.
- Graham, D. y S. Glaister (2004) "Road traffic demand elasticity estimates: A review", *Transport Reviews*, 24(3), 261-274.
- Hankey, S., y J. D. Marshall (2010) "Impacts of urban form on future US passenger-vehicle greenhouse gas emissions", *Energy Policy*, 38(9), 4880-4887.
- Havranek, T. y O. Kokes (2015) "Income elasticity of gasoline demand: A meta-analysis", *Energy Economics*, 47(1), 77-86.
- Havranek, T., Z. Irsova y K. Janda (2012) "Demand for gasoline is more price-inelastic than commonly thought", *Energy Economics*. 34(1), 201-207.
- Hensher, D. A., N. C. Smith, F. W. Milthorpe y P. O. Barnard (1992) "*Dimensions of automobile demand: A longitudinal study of household automobile ownership and use*". North Holland, Amsterdam.
- Hirota, K. y J. Poot (2005) "Taxes and the environmental impact of private car use: Evidence from 68 cities". In: A. Reggiani y L. A. Schintler (eds.) *Methods and Models in Transport and Telecommunications: Cross Atlantic Perspectives*. Springer Press.
- Hughes, J., C. R. Knittel y D. Sperling (2008) "Evidence of a shift in the short-run price elasticity of gasoline demand", *The Energy Journal*, 29(1), 113-134.
- Hunt, L. C., G. Judge e Y. Ninomiya (2003) "Underlying trends and seasonality in UK energy demand: A sectoral analysis", *Energy Economics*, 25(1), 93-118.
- IEA (International Energy Agency, 2013) "Oil information". IEA Statistics.
- Karathodorou, N., D. J. Graham y R. B. Noland (2010) "Estimating the effect of urban density on fuel demand", *Energy Economics*, 32(1), 86-92.

- Kay, A. I., R. B. Noland, C. J. Rodier (2014) "Achieving reductions in greenhouse gases in the US road transportation sector", *Energy Policy*, 69, 536-545.
- Kouris, G. (1981) "Elasticities-science or fiction?", *Energy Economics*, 3(2), 66-70.
- Labandeira, X., J. M. Labeaga y M. Rodríguez (2006) "A residential energy demand system for Spain", *The Energy Journal*, 27(2), 87-112.
- Labeaga, J. M. y A. Lopez (1997) "A study of petrol consumption using Spanish panel data", *Applied Economics*, 29(6), 795-802.
- Li, Z., J. M. Rose y D. A. Hensher (2010) "Forecasting automobile petrol demand in Australia: An evaluation of empirical models", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(1), 16-38.
- Liddle, B. y S. Lung (2015) "The endogeneity of OECD gasoline taxes: Evidence from pairwise, heterogeneous panel long-run causality tests", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 73, 31-38.
- López, N. A. (1995) "Transporte privado y fiscalidad". *Revista de Economía Aplicada*, 8(3), 25-39.
- Mayeres, I. y S. Proost (2012) "The taxation of diesel cars in Belgium - revisited. Decades of Diesel", *Energy Policy*, 54, 33-41.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2013) "Inventario de gases de efecto invernadero de España". Subdirección General de Calidad Ambiental, Madrid.
- Montag, J. (2015) "The simple economics of motor vehicle pollution: A case for fuel tax", *Energy Policy*, 85, 138-149.
- Neto, D. (2012) "Testing and estimating time-varying elasticities of Swiss gasoline demand", *Energy Economics*, 34(6), 1755-1762.
- Neto, D. (2015) "Testing for and dating structural break in smooth time-varying cointegration parameters, with an application to retail gasoline price and crude oil price long-run relationship", *Empirical Economics*, 1-20.
- Newbery, D. M. (2007) "Road user and congestion charges". En: S. Cnossen (ed.), *Theory and Practice of Excise Taxation: Smoking, drinking, gambling, polluting, and driving*. Oxford University Press.
- Newman, P. W. G. y J. Kenworthy (1999) *Sustainability and cities: Overcoming automobile dependence*. Island Press.
- Nicol, C. J. (2003) "Elasticities of demand for gasoline in Canada and the United States", *Energy Economics*, 25(2), 201-214.
- Noland, B. R. y L. L. Lem (2002) "A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and the UK", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7(1), 1-26.
- Oum, T., W. Waters y J. Yong (1992) "Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates: An interpretative survey", *Journal of Transport Economics and Policy*, 26(2), 139-154.
- Park, Y. S. y G. Zhao (2010) "An estimation of U.S. gasoline demand: A smooth time-varying cointegration approach", *Energy Economics*, 32(1), 110-120.
- Pock, M. (2010) "Gasoline demand in Europe: New insights." *Energy Economics*, 32(1), 54-62.
- Ramanathan, R. (1999) "Short- and long-run elasticities of gasoline demand in India: An empirical analysis using cointegration techniques", *Energy Economics*, 21(4), 321-330.
- Ramli, R. A. y D. J. Graham (2014) "The demand for road transport diesel fuel in the UK: Empirical evidence from static and dynamic cointegration techniques", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 26, 60-66
- Reyes, O., R. Escalante y A. Matas (2010) "La demanda de gasolinas en México: Efectos y alternativas ante el cambio climático", *Economía Teoría y Práctica*, 32(1), 83-111.

- Romero, J. D., P. del Río, M. Jorge y M. Burguillo (2010) "Price and income elasticities of demand for passenger transport fuels in Spain. Implications for public policies", *Energy Policy*, 38(8), 3898-3909.
- Rouwendal, J. (1996) "An economic analysis of fuel use per kilometre by private cars", *Journal of Transport Economics and Policy*, 30(1), 3-14.
- Salisu, A. A. y T. O. Ayinde (2016) "Modeling energy demand: Some emerging issues", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1470-1480.
- Schipper, L. (2011) "Automobile use, fuel economy and CO₂ emissions in industrialized countries: encouraging trends through 2008?", *Transport Policy*, 18(2), 358-372.
- Schipper, L. y L. Fulton (2009) "Disappointed by diesel?", *Transportation Research Record*, 2139, 1-10.
- Small, K. A. (2012) "Energy policies for passenger motor vehicles", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(6), 874-889.
- Sterner, T. (2002) "*Policy instruments for environmental and natural resources management*". Resources for the Future.
- Sterner, T. (2007) "Fuel taxes: An important instrument for climate policy", *Energy Policy*, 35(6), 3194-3202.
- Sterner, T. (2012) "Distributional effects of taxing transport fuel", *Energy Policy*, 41, 75-83.
- Wadud, Z., D. J. Graham y R. B. Noland, (2009) "A cointegration analysis of gasoline demand in the United States", *Applied Economics*, 41(26), 3327-3336.
- Wadud, Z., D. J. Graham y R. B. Noland (2010a) "Modelling fuel demand for different socioeconomic groups", *Applied Energy*, 86(12), 2740-2749.
- Wadud, Z., D. J. Graham y R. B. Noland (2010b) "Gasoline demand with heterogeneity in household responses", *The Energy Journal*, 31(1), 47-74.
- Weis, C. y K. W. Axhausen (2009) "Induced travel demand: Evidence from a pseudo panel data based structural equations model", *Research in Transportation Economics*, 25(1), 8-18.



CAPÍTULO I

LA DEMANDA DE GASOLINAS: UNA REVISIÓN DE LA EXPERIENCIA Y EL DISEÑO DE POLÍTICAS AMBIENTALES



La demanda de gasolinas: Una revisión de la experiencia y el diseño de políticas ambientales

Resumen: La demanda de combustibles en el sector transporte ha sido ampliamente estudiada en los últimos 30 años. Existen estudios que han sintetizado la información diferenciado por métodos de estimación, formas funcionales, variables independientes y tipos de datos. Sin embargo, no sólo se han obtenido diferentes puntos de vista acerca de la magnitud de las elasticidades sino también diferentes conclusiones, así como contradicciones en la validez de los resultados y en la comparabilidad entre los estudios. Recientemente, se justifica el análisis del consumo de gasolinas por las consecuencias ambientales. En este estudio, se sintetiza la literatura existente mostrando los hallazgos relevantes sobre las consecuencias ambientales, a fin de comprender plenamente las políticas públicas en el sector transporte. El principal interés tiene que ver con políticas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El propósito no es una revisión metodológica, en su lugar, se centra en la identificación de los principales temas de la literatura relacionados con el medio ambiente.

Puntos Clave:

- Proporcionamos una actualización de la literatura la demanda de combustible.
- Se estima un meta-análisis del valor promedio de las elasticidades ingreso y precio y se analiza la variación en las estimaciones empíricas.
- Nuestros resultados sugieren que las elasticidades precio e ingreso de la demanda de gasolina es de -0.146 y 0.358 para el corto plazo y -0.403 y 0.929 para el largo plazo, respectivamente.
- Los impuestos a los combustibles son un instrumento de política climática más utilizado.
- Se caracteriza los factores principales detrás de la política medioambiental.

Palabras clave: Demanda, gasolina, diesel, elasticidades, formas funcionales, tipos de datos, métodos de estimación, medio ambiente y políticas públicas.

Clasificación JEL: D12, O13, y Q58.

Gasoline demand: A review of experience and policy environmental design considerations

Abstract: Gasoline demand in the transport sector has been widely studied in the last 30 years. Studies have synthesized the differential information estimation methods, functional forms, independent variables and data types. However, not only have obtained different views about the magnitude of elasticities but different conclusions and contradictions in the validity of results and comparability between studies. Recently, his analysis is justified by the environmental consequences of using gasoline. The main interest has to do with policies to reduce greenhouse gas emissions. Thus, in this study, the literature is summarized showing the

relevant findings on the environmental consequences of using gasoline, raised by studies in order to fully understand the public policy in the transport sector. The purpose is not a methodological review, instead, focuses on identifying the main themes of the literature related to the environment.

Highlights:

- We provide an up-to-date survey of the fuel demand literature.
- We synthesize quantitatively empirical estimates of income and price elasticities of gasoline reported in previous studies and analyse the reasons for the variations in the elasticities.
- Our results suggest that the income and price elasticities of gasoline demand are -0.146 and 0.358 for the short run and -0.403 and 0.929 for the long run, respectively.
- Fuel taxes are the single most powerful climate policy instrument implemented to date.
- The results will permit to characterize the main factors behind the policy environmental.

Key words: Demand, gasoline, diesel, income and prices elasticity, functional forms, types of data, estimation techniques, environmental and economic policy.

I.1. Introducción

La demanda de combustibles ha sido ampliamente estudiada en los últimos 30 años. El objetivo de los estudios de demanda de combustible ha sido el de captar los efectos en las variaciones en los precios y en los cambios de los ingresos de la demanda de combustible y el uso del automóvil. En particular, se evalúa las elasticidades precio e ingreso de la demanda de gasolina a niveles de país o región, dada su facilidad de interpretación y a fin de comprender plenamente las consecuencias de diferentes alternativas de políticas públicas en el sector transporte. Las investigaciones de la demanda de combustibles han puesto gran interés en los diferentes enfoques y métodos de estimación, las formas funcionales, las variables independientes y los tipos de datos (Drollas, 1984; Blum, *et al.*, 1988; Dahl y Sterner, 1991a, b; Sterner y Dahl, 1992; Goodwin, 1992; Dahl, 1995; Espey, 1998; Graham y Glaister, 2002; Goodwin, *et al.*, 2004; Basso y Oum, 2007). Sin embargo, hay diferencias sustanciales en las estimaciones tanto de la elasticidad precio y la elasticidad ingreso. En este sentido, como resultado de las estimaciones, se han obtenido no sólo diferentes puntos de vista acerca de la magnitud de los efectos de las variables consideradas en el consumo de gasolina sino también diferentes conclusiones, así como la validez de los resultados y la comparabilidad entre los estudios.

La demanda de combustible se ha cuantificado en términos de consumo de combustible total (Virley, 1993; Samimi, 1995; Al-Faris, 1997; Li, *et al.*, 2010), en consumo de combustible per cápita (Bentzen 1994; Alves y Bueno, 2003; Cheung y Thomson, 2004; Polemis, 2006; Liddle, 2009; Li y Zeng, 2013), en consumo de combustible por vehículo (Baltagi y Griffin, 1983; Baltagi, *et al.*, 1997; 2003; Crotte, *et al.*, 2010; Melo y Ramli, 2014), el consumo por tipo de combustible (Dahl y Kartubi, 2002; Polemis, 2006; González, *et al.*, 2012; Boshoff, 2012; Madowitz y Novan, 2013; Sa'ad y Isah, 2016; Mensah, *et al.*, 2016) y consumo por tipo de combustible y por tipo de vehículo (Garbacz, 1989; Belhaj, 2002; Rodrigues y Bacchi, 2016; Wadud, 2016). La especificación del modelo más común representa el efecto de los precios del combustible y del ingreso en el consumo de carburantes. También existen estudios que han examinado el papel del stock vehicular, el precio de combustibles sustitutos (*precio de gasolinas y diesel*), otras características relacionadas con los viajes, como precio del transporte público y las distancias recorridas (*lugar de residencia y trabajo*), características de los combustibles (*eficiencia en el consumo*), preferencias del consumidor, factores socio-demográficos (*estructura familiar, la situación laboral, la densidad de población, porcentaje*

de población). La exclusión de algunas de estas variables puede dar lugar a sesgo de variables omitidas.

La discusión de las distintas estimaciones tiene que basarse en una comprensión clara del método utilizado, del contexto empírico para la estimación y de lo que realmente se mide. Si bien la mayoría de los estudios difieren en espacio, tiempo y método de estimación (*corte transversal, series de tiempo, o datos panel*), las elasticidades precio tienden a estimar valores por encima de su valor real por la naturaleza no estacionaria de las variables involucradas con el uso de series de tiempo y técnicas de cointegración; mientras que las elasticidades ingreso pueden sobrestimarse con el uso de micro-datos y formas funcionales inadecuadas (Basso y Oum, 2007); las estimaciones de corte transversal tienden a dar valores precio mucho más altos comparados con estimaciones de series de tiempo (Graham y Glaister, 2002); también se observa diferencias importantes entre las elasticidades precio a largo y corto plazos del consumo de combustible, en el corto plazo la elasticidad precio es baja, mientras que en el largo plazo hay una respuesta significativa, aunque sigue siendo inferior a la unidad (Graham y Glaister, 2002). Una gran preocupación entre los responsables de las políticas públicas en términos de reducción de la demanda de gasolina es la rigidez en la demanda que los consumidores muestran (Lin y Prince, 2013). En este sentido, existe un gran interés para identificar cuáles son los elementos que influyen en la elasticidad, por ejemplo, la diferenciación entre los efectos de corto y largo plazos, con el fin de comprender plenamente las implicaciones de las diferentes alternativas de políticas públicas.

El interés por la demanda de gasolinas cobró especial relevancia después de las crisis del petróleo en los años setenta. Las fluctuaciones en el precio mundial del petróleo, el calentamiento global y los crecientes niveles de emisiones de GEI han dado lugar a un renovado interés en la estimación de la demanda de gasolinas, especialmente después de la negociación del Protocolo de Kyoto en 1997 (Chapman, 2007). A pesar de que surgen las preocupaciones ambientales en todos los sectores consumidores de energía, las del sector del transporte son especialmente graves por la tendencia creciente que manifiestan. Las emisiones del transporte por carretera dependen directamente de la cantidad de los combustibles utilizados (Knittel, 2012). En los países de la OCDE, el sector del transporte genera el 26% del total de emisiones de CO₂ y representa el 60% del consumo total de petróleo y su tasa de crecimiento es más rápida que cualquier otro sector con consumo energético, mientras que el transporte por carretera aporta aproximadamente el 85% del consumo de energía del sector transporte y el 90% del total

de CO₂ (IEA, 2013, 2014). Esta gran contribución hace que el sector transporte por carretera sea uno de los mayores contaminadores con respecto a la quema de combustibles fósiles.

El consumo energético en el sector transporte crea numerosas externalidades negativas, incluyendo la contaminación local del aire y el cambio climático global. Estas externalidades pueden ser abordadas con políticas públicas encaminadas a reducir la demanda de gasolina o la contaminación de los automóviles (Blair, *et al.*, 1984, Santos, *et al.*, 2010). Por ejemplo, existen medidas para mejorar la eficiencia energética del sistema de transporte, normativas sobre emisiones (e.g. *emisiones de CO₂ por kilómetro*), impuestos verdes al consumo de gasolinas (e.g. *por características de los combustibles*), a la compra de autos, a la congestión por contaminación atmosférica por uso de vialidades. La elección del vehículo y tipo de combustibles contribuyen de forma significativa al nivel de emisión de gases contaminantes. En este sentido, es esencial que el transporte contribuya sustancialmente con los objetivos de reducción de emisiones de CO₂ y control del consumo de combustibles (McCollum e Yang, 2009; Newman, *et al.*, 2011).

Las políticas enfocadas de manera unilateral en el sector transporte no serán suficientes para resolver el problema de los altos niveles de consumo de energía y emisiones contaminantes. Independientemente de sus potenciales y debilidades, es preciso instrumentar medidas orientadas a reducir el consumo y, por consiguiente, las emisiones del transporte por carretera. Existen algunos factores claves encaminadas a reducir la demanda de gasolinas y gases contaminantes. En este capítulo se consideran dos objetivos primero, se sintetiza una amplia literatura sobre los determinantes de la demanda de carburantes, y segundo se destacan las principales consecuencias ambientales del consumo de carburantes a fin de comprender plenamente la instrumentación de políticas públicas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte.

El capítulo está estructurado en 4 partes incluyendo la presente introducción. La segunda sección hace una revisión de la literatura empírica existente sobre la demanda de combustibles, poniendo énfasis en la información diferenciado por métodos de estimación, formas funcionales, variables independientes y tipos de datos. La tercera sección discute una amplia literatura sobre las consecuencias ambientales del consumo de carburantes, a fin de comprender plenamente la instrumentación de políticas públicas de reducción de emisiones de gases de

efecto invernadero en el sector transporte. Finalmente, en la parte cuarta se presentan una serie de recomendaciones de políticas públicas.

I.2. Literatura empírica: Demanda de gasolinas y medio ambiente

La literatura empírica sobre la demanda de gasolinas se puede clasificar en tres grandes grupos, de acuerdo con sus distintos objetivos. La primera es la estimación de las elasticidades de los principales determinantes de la demanda de gasolina a corto y largo plazos. El segundo objetivo es el análisis de la evolución del consumo de gasolinas, identificando sus principales determinantes y magnitudes, esto tiene diversos beneficios para la instrumentación de políticas públicas. Una de esas ventajas es hacer predicciones, simulaciones y proyecciones de corto, mediano y largo plazos para diferentes escenarios de las variables determinantes, incluyendo sus principales consecuencias ambientales. El tercer objetivo se centra en que la finalidad de la evaluación de las políticas públicas es esencial, tanto para determinar cómo reacciona la demanda de gasolina a los cambios en sus principales determinantes, sino además para contribuir en el diseño las políticas relacionadas con el consumo de la gasolina.

Los resultados de las investigaciones muestran que existen diferencias con respecto a los efectos y magnitudes de las elasticidades. Las razones de estas diferencias radican en el uso de diferentes enfoques y métodos de estimación, las formas funcionales, la especificación de la variable independiente y los tipos de datos utilizados en los análisis (Graham y Glaister, 2002; Goodwin, *et al.*, 2004; Brons, *et al.*, 2008; Dahl, 2012).

La teoría económica convencional considera que el consumo de un bien es una función de las preferencias del individuo sujeto a una determinada restricción presupuestaria. En términos econométricos, la demanda de gasolina puede escribirse como (Dahl y Sterner, 1991a):

$$i) \quad G = f(Y, P, G_{t-1})$$

donde G es la demanda de la gasolina, Y es el ingreso, P son los precios de las gasolina, y G_{t-1} es la estructura de rezagos del periodo anterior de la demanda de gasolina. También, G podría ser la demanda de diesel, la suma total de combustibles (gasolina y diesel), así como cualquiera de los componentes de la demanda, tales como los vehículos adquiridos, los

kilómetros recorridos por vehículos o la eficiencia energética de los vehículos utilizados. La formulación más general en su forma logarítmica:¹

$$\text{ii)} \quad G_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \delta_i G_{t-i} + \sum_{i=0}^q \gamma_i P_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_i Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

Los ajustes de la demanda a corto plazo ante cambios actuales de las variables independientes están representados por los coeficientes γ y β , que son las elasticidades ingreso y precio, respectivamente, y $t-i$ son las estructuras de rezagos, y ε_t es el término de error aleatorio que sigue los supuestos de econometría clásicos. Existen diferentes formas funcionales que se enumeran a continuación (Charemza y Deadman, 1997):

El *Modelo Estático*, es una de las especificaciones más utilizada en la literatura empírica:

$$\text{iii)} \quad G_t = \alpha + \gamma Y_t + \beta P_t + \varepsilon_t$$

El *Modelo de Ajuste Parcial*² incorpora un retardo de la variable endógena:

$$\text{iv)} \quad G_t = \alpha + \gamma Y_t + \beta P_t + \sum_{i=1}^p \delta_i G_{t-i} + \varepsilon_t$$

Existen también, modelos con estructura de rezagos distribuidos en las variables exógenas:

$$\text{v)} \quad G_t = \alpha + \sum_{i=0}^q \gamma_i P_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_i Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

Igualmente, se puede asumir que la estructura de rezagos sigue un rezago de Pascal:

$$\text{vi)} \quad G_t = \alpha + \gamma Y_t + \beta P_t + \delta_2 G_{t-1} + \delta_2 G_{t-2} + \varepsilon_t$$

¹ En este modelo (conocido como: Modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos "ARDL(p, q)") la estructura de rezagos distribuidos combina rezagos en la variable endógena y exógena. Estos modelos pueden presentar problemas de identificación de numerosos parámetros si el número de rezagos elegido es muy grande.

² Su uso se caracteriza por la mejora en el ajuste estadístico, no obstante, puede presentar problemas de autocorrelación, debido a la inclusión de retardos de la variable dependiente.

Finalmente, reparametrizando como un modelo de corrección de errores (ECM):

$$\text{vii) } \Delta G_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta G_{t-i} + \sum_{i=0}^q \gamma_i \Delta P_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_i \Delta Y_{t-i} - \rho(G_{t-1} - \alpha - \gamma_1 P_{t-1} - \beta_1 Y_{t-1}) + u_t$$

En la práctica, estas ecuaciones se pueden modificar de muchas maneras. Las magnitudes y variaciones de estas elasticidades han sido motivo de controversia, en gran parte debido a la falta de una técnica de estimación estandarizada. Las diferencias metodológicas en la selección de datos, técnica de estimación, forma funcional y la especificación de la demanda pueden afectar sustancialmente las estimaciones de las elasticidades para el consumo de gasolina. En este contexto, la revisión de la literatura en términos de valores, magnitudes y de variación de los determinantes de la demanda de gasolinas presenta las siguientes conclusiones:

Métodos de estimación y tipo de datos: Las magnitudes de las elasticidades ingreso y precio son diferentes dependiendo del tipo de datos utilizados y de los métodos de estimación aplicados (Espey, 1996, 1998; Graham y Glaister, 2002). Por ejemplo, Baltagi y Griffin (1983) mencionan que las variaciones en las estimaciones de las elasticidades precio e ingreso son causadas por la metodologías y los datos utilizados. Por su parte, Goodwin (1992) indica que es la selección en el tipo de dato, la que afecta los valores de las estimaciones.

Periodo de tiempo: Las elasticidades pueden ser significativamente diferentes en el corto y el largo plazos. Esto es porque la respuesta de los agentes económicos ante choques aleatorios no se produce de manera inmediata. La conducta de los consumidores varía de acuerdo con el período de tiempo en el que ajusta sus expectativas de consumo ante los cambios en el ingreso y en los precios. Existen eventos que tienen efectos que persisten en el tiempo, tales efectos no se perciben sólo en punto en el tiempo, sino que es distribuido sobre él. En el corto plazo, el consumo de gasolina por parte de los individuos es fijo, sólo cambia paulatinamente a medida que se reemplaza. Por lo tanto, los desplazamientos a lo largo de la curva de demanda seguramente serán mucho mayores en el largo plazo. De esta manera, en el largo plazo se puede cambiar el tipo de combustible, cambiar el modo de transporte o desplazarse de residencia (Hughes, *et al.*, 2008; Litman, 2010). Estas diferencias, también sugieren la presencia de ajustes en los agentes económicos que retrasan su respuesta al aumento de los precio de la gasolina.

Cambio estructural y estabilidad: Los cambios estructurales son características comunes de los datos de series de tiempo (Adom, *et al.*, 2016). La conducta de los consumidores varía de acuerdo con el período de tiempo en el que ajusta sus expectativas de consumo ante los cambios estructurales. Las elasticidades de corto y largo plazos pueden cambiar con el tiempo. Así por ejemplo, Hughes, *et al.* (2008) documentan la dinámica de posibles cambios estructurales y conductuales de los consumidores para los Estados Unidos, los autores estiman la capacidad de respuesta a cambios en los precios de la gasolina, obteniendo valores de -0.335 para el periodo 1975-1980, mientras que para el periodo 2001-2006 el valor se reduce a -0.041. Existen estudios que apoyan los resultados de Hughes *et al.* (2008) sobre la respuesta a los precios en Estados Unidos, es menor que en la década de 1970, sin embargo, los resultados para otros países sugieren que las elasticidades de los precios se han mantenido estables (Al Dossary, *et al.*, 2009). Si la curva de demanda se desplaza a través del tiempo debido a variables que no están incluidas en el análisis, no es posible estimar un único valor de las elasticidades. Algunos estudios han estimado la presencia de cambios estructurales con una serie de pruebas tipo Chow. Dahl (1995) examina una serie de estudios de demanda de gasolina para los Estados Unidos y concluye que las elasticidades de la demanda de gasolina tienden a disminuir con el paso del tiempo. Resultados exactamente opuestos son reportados por Goodwin (1992), en donde se indican que las elasticidades han aumentado ligeramente hacia arriba. Existen razones suficientes para creer que las elasticidades de demanda actuales difieren de períodos anteriores, los factores conductuales y estructurales en las últimas décadas han cambiado la capacidad de respuesta de los consumidores.

Localización (países o regiones): Las magnitudes de las elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolina son distintas por regiones, pero de igual manera, entre países, y también se observan diferencias entre estados. La evidencia disponible sugiere que el nivel de ingreso per cápita, las características de las zonas urbanas, la evolución demográfica o incluso los estilos de vida inciden, entre otros factores, sobre las sensibilidades de respuesta de la demanda de gasolinas a la trayectoria del ingreso y de los precios (Baltagi y Griffin, 1983; Sterner, *et al.*, 1992; Bentzen, 1994; Pock, 2010).

Omisión de variables relevantes: La evidencia disponible indica que los resultados dependiendo del modelo especificado, países incluidos y el período de tiempo presentan sesgo por variables relevantes omitidas (Greene, 2003; Pock, 2010). Los resultados señalan que, más allá del precio y el ingreso, la de demanda de la gasolina es sensible a otros determinantes. Factores como por

ejemplo, preferencias del consumidor, factores socio-demográficos, características del hogar, hábitos racionales de consumo, características del parque vehicular, progreso técnico, variables ambientales, han reportado impactos significativos sobre el valor estimado de las elasticidades de la demanda de gasolinas.

Especificaciones por tipo de combustibles y vehículos: Tradicionalmente se ha modelado la respuesta del consumo de gasolina a cambios en las variables habituales, sin diferenciar por tipo de combustible, ni mucho menos por tipo de vehículos. El análisis contempla la demanda de los gasolina, o en un agregado (*gasolina y diesel*) del transporte carretero, pero la gran mayoría considera exclusivamente el consumo de combustible de gasolina y rara vez la demanda de diesel (Ajanovic, *et al.*, 2012; Ramli y Graham, 2014; Adom, *et al.*, 2016). Esto específicamente porque el enfoque de la literatura se ha realizado sobre los Estados Unidos, donde el consumo de gasolina sigue dominando. El cambio de gasolina a diesel ha sido poco modelado (Chandrasiri, 2006; Pock, 2010). Una estimación de la demanda de diesel o gasolina que ignore este cambio podría presentar sesgo de variables omitidas. De hecho, algunos resultados de estas investigaciones muestran magnitudes diferentes de respuesta en la sensibilidad del consumo de gasolina con respecto al diesel (Schipper y Fulton, 2009; Schipper, 2011). Una solución aparentemente natural a este problema es tener especificaciones separadas por carburantes (*gasolina y diesel*) y por tipo de vehículos (*pesados y ligeros*). La separación del consumo de combustibles puede revelar algunas características importantes con respecto a la naturaleza estructural del comportamiento del consumidor de combustibles.

La revisión de los estudios dedicados a la estimación de la demanda de gasolinas permite constatar que el uso de datos de series temporales es uno de los más habituales. El Cuadro 1. 1 ofrece los principales resultados de 85 estudios ordenados según el método de estimación. Gran parte de dichos estudios consideran el orden de integración de las series y las relaciones de cointegración para modelar la naturaleza no estacionaria de las variables involucradas en la ecuación de manera explícita. Con el objetivo de arrojar nueva luz sobre la magnitud de las elasticidades de la demanda de carburantes y los factores determinantes de las mismas se ha llevado a cabo una revisión de un elevado número de estudios que tienen por finalidad estimar la demanda de carburante (*gasolina y/o diesel*). La revisión contempla distintos países y periodos y se ha estructurado según se utilizan datos de series temporales o datos de panel. Para determinar qué factores afectan sistemáticamente las elasticidades se ha realizado un

tratamiento estadístico de los datos a través de la técnica del meta-análisis.³ Esta técnica permite calcular los estadísticos descriptivos de la muestra y cuantificar el efecto de un conjunto de variables a través de una meta-regresión. Los resultados se comparan con meta-análisis previos relativos al consumo de gasolina. En particular, cabe citar el trabajo inicial de Espey (1996) para Estados Unidos y los trabajos más recientes de Havranek (2015), Galindo, *et al.* (2015) y Labandeira, *et al.* (2016).

³ El meta análisis se utiliza para identificar si existen factores (*por ejemplo, los tipos de datos o la especificación del modelo*) que afectan sistemáticamente las elasticidades precios e ingreso de la demanda de combustibles. Un meta análisis es fundamental cuando se tiene un gran número de observaciones (*elasticidades*). Este tipo de análisis permite sintetizar y analizar el rango y la magnitud de los efectos, identificar las causas de la heterogeneidad y la robustez de los resultados (Hartung, *et al.*, 2008; Borenstein, *et al.*, 2009).

Cuadro 1. 1
Elasticidades precio e ingreso de la demanda de gasolinas
(Series de tiempo)

Autor	País / Periodo	Combustible	Técnicas de estimación	Variables usadas	Consecuencias en el medio ambiente	Elasticidad precio		Elasticidad ingreso	
						CP	LP	CP	LP
<i>Cointegración, modelos de corrección de errores y otras especificaciones</i>									
Bentzen (1994)	Dinamarca (1948-1991)	Gasolina	Cointegración y ECM	svp, pg, t	No analiza	-0.320	-0.414	0.885	1.044
Eltony y Al-Mutairi (1995)	Kuwait (1970-1989)	Gasolina	Cointegración y ECM	yp, pg	No analiza	-0.372	-0.463	0.472	0.919
Samimi (1995)	Australia (1980-1993)	Gasolinas	Cointegración y ECM	yc, pg	No analiza	-0.018	-0.131	0.252	0.518
Galindo y Salinas (1996)	ZMVM (1991-1995)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, t	No analiza		-0.2 a -0.8		0.8 a 1.2
Galindo y Salinas (1997)	ZMVM (1987-1995)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	El uso de impuesto a las gasolinas contribuye a reducir la contaminación ambiental	-0.001	-0.046	0.560	1.310
Ramanathan (1999)	India (1973-1993)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	-0.209	-0.319	1.178	2.682
Hunt, <i>et al.</i> (1999)	Honduras (1971-1995)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza		-0.236		1.578
Ramanathan y Subramaniam (1999)	Omán (1979-2000)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	-0.050	-0.520	0.350	0.960
Dahl y Kurtubi (2001)	Indonesia (1970-1995)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	-0.036	-0.631	0.190	1.284
		Diesel	Cointegración y ECM			-0.131	-0.670	2.149	1.264

Amengual y Cubas (2002)	Uruguay (1988-2001)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, pd	No analiza	-0.770		0.600	
		Diesel		y, pd, pg		-0.320		1.710	
Burnquist y Bacchi (2002)	Brasil (1973-1998)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	-0.319	-0.227	0.600	0.959
Alves y Bueno (2003)	Brasil (1984-1999)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, pe, t2	No analiza	-0.092	-0.465	0.122	0.122
Hunt y Ninomiya (2003)	Reino Unido (1972-1995)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza		-0.222		0.516
	Japón (1972-1995)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, t	No analiza		-0.017		0.548
Cheung y Thomson (2004)	China (1980-1999)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	-0.194	-0.559	1.636	0.972
Nadaud (2004)	Francia (1960-2005)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	-0.060	-0.090	0.270	0.280
Galindo (2005)	México (1965-2001)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, t	No analiza	0.089	-0.435	0.836	0.541
Roppa (2005)	Brasil (1979-2003)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, pe, t2	No analiza	-0.073	-0.634	0.472	0.164
Polemis (2006)	Grecia (1978-2003)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pd, t	No analiza	-0.100	-0.380	0.360	0.790
		Diesel		y, pg, svd		-0.070	-0.440	0.420	1.180
De Vita, <i>et al.</i> (2006)	Namibia (1980-2002)	Diesel	Cointegración y ARDL	y, pd, t	No analiza		-0.109		2.075
Rodriguez (2006)	República Dominicana (1997-2006)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza		-0.630		-0.070
		Gasolina premium		y, pg			-0.410		0.030
		Diesel		y, pd			-0.040		0.800
Akinboade, <i>et al.</i> (2008)	Sud África (1978-2005)	Gasolina	Cointegración y ARDL	y, pg	No analiza		-0.470		0.360

Galindo (2008)	México (1960-2007)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, pa, efi, dt	Una política sobre la eficiencia energética no disminuye las emisiones de GEI	-0.048	-0.140	0.399	1.130
Sa'ad (2009a)	Indonesia (1973-2005)	Gasolinas	Cointegración y ARDL	y, pg, t	No analiza	-0.040	-0.150	0.410	0.860
		Gasolina	Cointegración y ARDL	y, pg, t		-0.010	-0.016	0.019	0.160
Sa'ad (2009b)	Indonesia (1973-2007)	Gasolinas	UECM	y, pg, t	No analiza	-0.020	-0.160	0.390	0.880
Wadud, <i>et al.</i> (2009)	Estados Unidos (1978-2004)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, t	No analiza	-0.065 a -0.091	-0.102 a -0.118	0.473 a 0.520	0.565 a 0.593
Rao y Rao (2009)	Fiyi (1970-2005)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, dt	No analiza		-0.159 a -0.244		0.427 a 0.462
Iooty, <i>et al.</i> (2009)	Brasil (1970-2005)	Gasolina	LA-AIDS y ECM	y, pg, pd, pe, pgas	No analiza		-3.848		1.188
		Diesel	AIDS y ECM				-0.627		1.014
Iwayemi, <i>et al.</i> (2010)	Nigeria (1977-2006)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	-0.055	-0.2495	0.747	0.3058
		Diesel	Cointegración y ECM	y, pd	No analiza	0.108	-0.4153	-0.100	0.8014
Reyes, <i>et al.</i> (2010)	México (1960-2008)	Gasolinas	Cointegración y ECM	y, pgs, dt	Aplicación de políticas públicas simultáneas podrían reducir emisiones CO2	-0.041	-0.285	0.721	1.004
Crotte, <i>et al.</i> (2010)	México (1960-2008)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, svpc, pm	No analiza	-0.056 a -0.104	-0.062 a -0.292	0.426 a 0.782	0.533 a 0.757
Omisakin, <i>et al.</i> (2012)	Nigeria (1977-2008)	Gasolina	Cointegración y cambio estructural	y, pg	No analiza		-0.015 y-0.104		0.714 y 0.511
Lim, <i>et al.</i> (2012)	Corea (1986-2011)	Diesel	Cointegración y ECM	y, pd	No analiza	-0.357	-0.547	1.589	1.478

Neto (2012)	Suecia (1973-2010)	Gasolina	Cointegración y coeficientes invariantes en el tiempo	y, pg	Impuesto al carbono puede contribuir a reducir las emisiones de GEI		-0.167		0.692
Sentenac (2012)	Estados Unidos (1978-2005)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, p, svpa	No analiza	-0.25	-0.28	0.28	0.60
	India (1978-2005)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, svpa	No analiza	-0.30	-0.58		-0.65
Caballero (2012)	México (1995-2010)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, svg	Una política impositiva reduce las emisiones de CO ₂ con respecto a la línea base	-0.358	-0.370	0.355	0.620
		Diesel	Cointegración y ECM	y, pd, svd		-0.269	-0.360	0.840	0.880
Lin y Xie (2013)	China (1980-2010)	Gasolina	Cointegración	y, pg, nta, km-c	No analiza		-0.343		1.882
Baranzini y Weber (2013)	Suecia (1970-2008)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, sv, pgf, t, dt	Aumento sustancial en precio podría reducir las emisiones de CO ₂	-0.092	-0.339	0.025	0.673
		Gasolinas	Cointegración y ECM	y, pgs, sv, pgf, t, dt		-0.082	-0.267	0.103	0.750
Ferrer y Escalante (2014)	ZMVM (1980-2012)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, dt	Reducción de emisiones con políticas sobre eliminación subsidios, eficiencia y venta de autos.	-0.126	-0.256	0.496	0.673
Taghvaei y Hajiani (2014)	Irán (1976-2010)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, ar(1)	No analiza	-0.154	-0.162	0.227	0.464
Ramli y Graham (2014)	Reino Unido (1980-2009)	Diesel	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	-0.110 a -0.156	-0.209 a -0.298	0.706 a 0.881	1.504 a 1.580
Barla, <i>et al.</i> , (2014)	Canadá (1986-2008)	Diesel	Cointegración y ECM	y, pg, psp, t	No analiza	-0.15	-0.42	1.55	0.96

Fullerton, <i>et al.</i> (2015)	México (1997-2007)	Gasolina	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	-0.271	0.354	0.385	1.272
		Gasolina (<i>premium</i>)	Cointegración y ECM	y, pg	No analiza	0.141	0.394	0.393	1.079
Sánchez, <i>et al.</i> , (2015)	México (1984-2010)	Gasto en gasolina	Cointegración y ECM	y, pg, t	No analiza	-0.14	-0.27	0.23	0.28
Hasanov (2015)	Turquía (2003-2014)	Diesel	Cointegración y ECM	y, pg	La demanda de gasolina no responde a cambios en ingresos y precios en el largo plazo. Un cambio de gasolina a diesel es por políticas fiscales diferenciales.	-0.021	-0.278	0.182	1.471
Agrawal (2015)	India (1970-2012)	Gasolina	Cointegración y ARDL	y, pg, dt	No analiza	-0.220	-0.860	0.530	1.400
		Diesel		y, pd		-0.110	-0.710	0.180	1.200
Rodrigues y Bacchi (2016)	Brasil (2003-2012)	Vehículos ligeros diesel	Cointegración y ECM	y, pd, pa, cre	No analiza	-0.126	-0.131	0.380	0.663
Adom, <i>et al.</i> (2016)	Ghana (1979-2011)	Gasolinas	Cointegración y ARDL	y, pgs, t, dt	No analiza	-0.110	-0.020	0.797	1.483
		Gasolina		y, pg, t		-0.060	-0.120	0.475	0.968
		Diesel		y, pd, t		-0.160	-0.020	0.735	1.917
Sa'ad y Isah (2016)	Nigeria (1980-2013)	Gasolinas	Cointegración y ARDL	y, pgs	No analiza	-0.1694	-0.1763	0.1467	0.6513
		Gasolina		y, pg		-0.0119	0.0973	0.6267	0.5886
		Diesel		y, pd		-0.2727	-0.3199	0.6789	1.3456
Wadud (2016)	Reino Unido (1970-2014)	Vehículos pesados diesel	Cointegración	y, pd, sm, dt	No analiza		-0.120 y -0.148		0.800 y 0.938

		Vehículo rígido diesel	Cointegración	y, pd, sm, dt			-0.156		0.563
		Vehículo articulado diesel	Cointegración	y, pd, sm, dt			-0.081		1.170
		Vehículos ligeros diesel	Cointegración	y, pd, sm, dt			0.018 a 0.211		0.833 a 1.786
Mensah, <i>et al.</i> (2016)	Ghana (1973-2013)	Gasolina	Cointegración y PAM	y, pg, pd, pglp, urb	No analiza	-0.098	-0.547	0.616	1.316
		Diesel		y, pg, pd, pglp, urb		0.019	0.324	1.077	3.562
<i>Modelos estáticos y dinámicos y otras estructuras de rezagos</i>									
Greene y Chen (1983)	Estados Unidos (1975-1980)	Gasolina	ARIMA	y, pg	No analiza	-0.208		0.784	
Berndt y Botero (1985)	México (1960-1979)	Gasolina	MAP	y, pg	No analiza	-0.170	-0.330	0.700	1.350
		Diesel	MAP	y, pd		-0.246	-1.106	0.254	1.138
De Alba y Samaniego (1985)	México (1960-1984)	Gasolina	MAP	y, pg	No analiza	-0.11	-0.24	0.58	1.24
		Diesel	MAP	y, pd		-0.11	-0.79	0.09	0.64
Garbacz (1989)	Taiwán (1954-1985)	Gasolinas	MAP	y, pgs	No analiza	-0.338	-1.650	0.490	2.460
		Gasolinas camiones		y, pgs		-0.236	-0.983	0.435	1.813
		Gasolina		y, pg		-0.327	-2.680	0.333	2.730
		Diesel		y, pd		-0.020	-0.317	0.109	1.730
Hsing (1990)	Estados Unidos (1960-1985)	Gasolina	MAP	y, pg	No analiza	-0.008 a -0.196	-0.012 a -0.632	0.348 a 0.183	0.304 a 0.722
Biról y Guerer (1993)	Economías en desarrollo	Gasolina	MAP	y, pg	No analiza	-0.04 a - 0.29	-0.06 a -0.80	0.12 a 0.50	0.140 a 1.22

	(1970-1990)	Diesel		y, pd		-0.10 a - 0.38	-0.22 a -4	0.17 a 1.63	1.58 a 4.25
Eltony (1994)	Kuwait (1970-1989)	Gasolinas	MPA	y, pg	No analiza	-0.041	-0.205	0.319	1.617
Rao y Parikh (1996)	India (1971-1994)	Gasolina	OLS	y, pg	No analiza		-0.27		0.64
		Diesel		y, pd			-0.05		0.57
Al-Sahlawi (1997)	Arabia Saudita (1971-1995)	Gasolinas	MPA	y, pgs	No analiza	-0.270	-3.000	0.180	2.000
		Gasolina		y, pg		-0.160	-0.800	0.300	1.500
		Diesel		y, pd		-0.090	-0.257	0.290	0.829
Banaszak, <i>et al.</i> (1999)	Taiwán (1973-1992)	Gasolinas	MAP	y, pgs	No analiza	-0.124	-0.519	0.233	0.977
	Corea (1973-1992)	Gasolinas		y, pgs		-0.385	0.866	0.439	0.989
Dahl y Kurtubi (2001)	Indonesia (1970-1998)	Gasolina	MAP	y, pg	No analiza	-0.194	-0.815	0.310	1.303
		Diesel	MAP	y, pd		-0.180	-0.648	0.571	2.060
Belhaj (2002)	Marruecos (1970-1996)	Gasolina	MAP	y, pg, t	No analiza	-0.13	-0.30	0.22	0.50
		Gasolina vehículos ligeros				-0.14	-0.33	0.20	0.47
		Diesel		y, pd, sv, t		-0.15	-0.58	0.01	0.04
		Diesel vehículos ligeros				-0.18	-0.62	-0.05	-0.17
		Diesel vehículos pesados				-0.18	-0.62	-0.01	-0.03

Vásquez (2005)	Perú (1994-2003)	Gasolina	GARCH	y, pg, t	No analiza	0.330	-0.648	0.06	0.251
		Diesel	GARCH	y, pd, t		1.280	-0.430	0.240	0.696
Chandrasiri (2006)	Sri Lanka (1964-2002)	Gasolina	MAP y SURE	y, pg, cargos, mot	No analiza	-0.076	-0.478	0.134	0.843
		Diesel	MAP y SURE	y, pd, cargos, mot		-0.081	-0.669	0.543	4.487
De Vita, <i>et al.</i> (2006)	Namibia (1980-2002)	Gasolina	ARDL	y, pg, temp	No analiza		-0.794 y -0.858		1.081 y 0.957
		Diesel		y, pd, temp			-0.109 y -0.138		2.075 y 2.077
Koshal, <i>et al.</i> (2007)	Japón (1957-1999)	Gasolina	MAP	y, pg, ip	No analiza	-0.115	-0.411	0.296	1.056
Bhattacharyya y Blake (2009)	Oriente Medio y Norte de África (1982-2005)	Gasolina	MAP	y, pg	No analiza	-0.081 a -0.188	-0.133 a -1.064	0.136 a 0.652	0.286 a 2.589
		Diesel		y, pd		-0.055 a -0.404	-0.033 a -2.694	0.174 a 0.560	0.455 a 3.623
Reyes (2009)	México (1960-2008)	Gasolinas	MAP	y, pgs, dt	Aplicación de políticas públicas simultáneas podrían reducir emisiones CO ₂	-0.078	-0.178	0.467	1.065
Breunig y Gisz (2009)	Australia (1966-2006)	Gasolina	ARDL y modelo de formación hábitos	y, pg, t	No analiza	-0.10 a - 0.14	-0.2 a - 0.3	0.16 a 0.28	0.27 a 0.61
Pedregal, <i>et al.</i> (2009)	España (1984-2006)	Gasolina	Modelos de componentes	y, pg	No analiza	-0.009	-0.051	0.024	0.441
		Diesel	no observados	y, pd	No analiza	0.025	0.377	0.281	1.061
Sohaili (2010)	Irán (1959-2008)	Gasolina	ARDL, MCE	y, pg, t	Efecto positivo en la contaminación ambiental	-0.12	-0.25	0.71	1.47
Sultan (2010)	Rep. Mauricio	Gasolina	ARDL, MCE	y, pg	No analiza	-0.213	-0.441	0.374	0.773

	(1979-2009)								
Li, <i>et al.</i> (2010)	Australia (1977-2006)	Gasolina	MAP	y, pg	Un impuesto al carbono, puede reducir la demanda de gasolina y las emisiones de CO ₂	-0.216	-0.294	0.267	0.363
Breunig (2011)	Estados Unidos (1982-2007)	Gasolina	MAP, MA	y, pg	No analiza	-0.013	-0.083	0.012	0.075
			ARDL, MA	y, pg	No analiza	-0.041	-0.011	0.190	0.11
	Australia (1979-2006)	Gasolina	MAP, MA	y, pg	No analiza	-0.12	-0.30	0.21	0.53
			ARDL, MA	y, pg	No analiza	-0.15	-0.36	0.32	1.45
Al-Mansoori, <i>et al.</i> (2012)	Emiratos Árabes Unidos (1971-2012)	Gasolina	MAP, MA	y, pg, idp, pob, sv	Desarrollo de políticas públicas aumentara la conciencia ambiental	-0.242	-0.219	2.202	1.989
Kim, <i>et al.</i> (2010)	Corea (1999-2009)	Gasolina	Modelo de Componentes no observados	Pg, dt	Una elasticidad precio adecuada puede ser un instrumento para reducir el consumo de gasolina y las emisiones de GEI asociadas		-0.325		
Boshoff (2012)	Sudáfrica (1998-2010)	Gasolina	ARDL	y, pg	No analiza		-0.44		0.67
		Diesel	ARDL	y, pd	No analiza		-0.21		1.56
Ben, <i>et al.</i> (2012)	Libano (2000-2010)	Gasolina	MAP	y, pg, imp	No analiza	-0.623		0.309	
			MAP, CCE	y, pg, imp	No analiza	-0.915		0.424	
Ousmane (2012)	Senegal (1970-2008)	Gasolina	MAP	y, pg, pob, trp	No analiza	-0.121	-0.300	0.458	1.135

Lin y Prince (2013)	Estados Unidos (1990-2012)	Gasolina	Rezagos endógenos exógenos	y, pg, vpg	No analiza	-0.027 y -0.028	-0.265 y -0.239		
Madowitz y Novan (2013)	California (2001-2010)	Gasolina	Simulaciones contrafactuales	y, pg, te	No analiza	-0.056		-0.182	
		Diesel		y, pd, te		-0.034		0.896	
Taghvaei y Hajiani (2014)	Irán (1976-2010)	Gasolina	MAP	y, pg	Transporte público eficiente y normas ambientales ayudan a reducir las emisiones de CO ₂	-0.178	-0.361	0.358	0.723
Barla, <i>et al.</i> , (2014)	Canadá (1986-2008)	Diesel	MAP	y, pg, psp, t	No analiza	-0.43	-0.78	0.50	0.90
Erdogdu (2014)	Turquía (2006-2010)	Gasolina	MAP	y, pg, pd y pglp	Un impuesto sobre el consumo de gasolina, ocasiona el consumo de otros combustibles sustitutos (diesel y GLP) que emiten mayor GEI. Por tanto, se debe aplicar otras políticas para reducir las emisiones de GEI.	-0.213	-0.481	0.132	0.298
		Diesel	MAP	y, pd, pg y pglp		0.067	0.155	0.710	1.640
Hasanov (2015)	Turquía (2003-2014)	Gasolina	MAP	y, pg	Impuestos sobre el consumo de combustible podría ser una políticamente indeseable. Lo que sugiere que se debe buscar otras políticas para reducir las emisiones de GEI en Turquía.	-0.121	-0.537	0.062	0.274
			DL	y, pg		0.051	-0.282	0.270	0.270
			ARDL	y, pg		0.032	-0.801	0.302	1.750
			ARDL	y, pg		-0.427		0.266	
		Diesel	MAP	y, pd		-0.035	-0.298	0.211	1.794
			DL	y, pd		-0.087	-0.442	0.483	1.797

			ARDL	y, pd		-0.065	-0.664	0.221	2.239
		Gasolinas	ARDL	y, pgs			-0.261		0.914
<i>Modelos estructurales de series de tiempo (STSM)</i>									
Hunt y Ninomiya (2003)	Reino Unido (1972-1995)	Gasolina	UEDT	y, pg	No analiza		-0.123		0.801
	Japón (1972-1995)	Gasolina	UEDT	y, pg	No analiza		-0.083		1.080
Dimitropoulos, <i>et al.</i> (2005)	Reino Unido (1967-1999)	Gasolina	UEDTE	y, pg, temp	No analiza		-0.113		0.807
Ahmadian, <i>et al.</i> (2007)	Irán (1968-2002)	Gasolina	UEDT	y, pg, dt	No analiza	-0.17 a - 0.18	-0.642 a -0.730	0.32 a 0.35	1.250
Sa'ad (2009b)	Indonesia (1973-2007)	Gasolinas	UEDT	y, pgs, t	No analiza	-0.077	-0.191	0.393	0.973
Broadstock y Hunt (2010)	Reino Unido (1960-2007)	Gasolinas	UEDT	y, pg, efi	No analiza		-0.120		0.53 y 0.57
Ackah y Adu (2014)	Ghana (1971-2010)	Gasolinas	UEDT	y, pg, edu, ptf	No Analiza	-0.0088	-0.065	0.713	5.129
Broadstock y Papathanasopoulou (2014)	Grecia (1978-2008)	Gasolina	UEDT	y, pg, ar(1)	Factores exógenos (<i>estilos de vida</i>) deben incluirse en el diseño de políticas públicas para reducir las emisiones de CO ₂	-0.009	-0.318	0.013	0.449
Karimu (2014)	Suecia (1970-2009)	Gasolina	UEDT	y, pg, pd	No analiza		-0.466		0.541
	Reino Unido (1970-2009)	Gasolina	UEDT	y, pg, pd	No analiza		-0.108		0.577

Fuente: Elaboración propia con base en la información estadística de los estudios revisados.

Notas: *Variables utilizadas:* y: ingreso; yp: ingreso per cápita; yc: Ingreso carretero; pg: precio gasolina; pd: precio diesel; y, pgs: precio promedio gasolina y diesel; pgf: precio gasolina fronterizo; pglp: precio gas de petróleo licuado; pe: precio etanol; pgas: precio gas; pa: precio autos; pm: precio metros; vpg: varianza de los precios de la gasolina; ip: índice de precios de otras mercancías; idp: índice de desarrollo población; pob: población; trp: transporte público; efi: eficiencia energética; sv: stock vehicular; svp: stock

vehicular per cápita; svd: stock vehicular diesel; svg: stock vehicular gasolina; svpa: stock vehicular por adulto; mot: motocicletas; cre: créditos para comprar vehículos; cargos: pago por uso de servicios; t: tendencia; t2: tendencia cuadrática; dt: dummy de tiempo; temp: temperatura; ar(1): proceso autorregresivo de orden (1); psp: participación del sector primario; imp: importaciones; temp: temperatura; edu: educación; ptf: productividad total de los factores, te: tasa de empleo. nta: nivel técnico automotriz; km-c: kilometraje/carreteras; smpib: PIB manufacturas/PIB; urb: urbanización. *Técnicas de estimación*: OLS: Mínimos cuadrados ordinarios; UEDT: Tendencia subyacente de la demanda de energía; MAP: Modelos de Ajuste Parcial; DL: Modelo de rezagos distribuidos; ARDL: Modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos; MA: Medias móviles; UECM: Modelo de corrección de errores sin restricciones; CCE: Con cambio estructural; LA-AIDS: Aproximación Lineal del Modelo Casi Ideal de Demanda; SURE: Regresiones aparentemente no relacionadas. *Otros conceptos*: LP: Es igual a la elasticidad ingreso y precio de Largo Plazo. CP: Es igual a la elasticidad ingreso y precio de Corto Plazo. Gasolinas: Suma de gasolina y diesel. ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

El Cuadro 1. 2 ofrece los resultados de un conjunto de estudios que estiman la demanda de combustible a través del uso de datos de panel. El uso de datos panel permite obtener estimadores de las relaciones de series de tiempo a nivel local, país o región y de las relaciones de corte transversal de cada período. Los estudios basados en datos panel tienden a producir elasticidades que varían con respecto a las elasticidades reportadas en estudios particulares. Parte de la explicación es que las elasticidades varían a través del tiempo y del lugar.

Cuadro 1. 2
Elasticidades precio e ingreso de la demanda de gasolinas
(Datos panel)

Autor	Región / Periodo	Combustibles	Técnicas de estimación	Variables usadas	Consecuencias en el medio ambiente	Elasticidad precio		Elasticidad ingreso	
						CP	LP	CP	LP
Houthakker, <i>et al.</i> (1974)	49 estados de Estados Unidos (1963-1972)	Gasolina	OLS	pg, y	No analiza	-0.121 a -0.075	-2.170 a -0.433	0.003 a 0.341	0.292 y 1.017
Dahl (1982)	41 países (1970-1978)	Gasolina	OLS	pg, y, sv	No analiza	-0.2	-0.98	0.11	0.50
Baltagi y Griffin (1983)	18 países OCDE (1960-1978)	Gasolina	OLS, FE, TS-GLS	pg, y, sv	No analiza	-0.17 a - 0.08	-1.10 a -0.52	0.07 a 0.19	0.61 a 0.93
Berndt y Botero (1985)	14 regiones México (1973-1978)	Gasolina	OLS	pg, y, sv	No analiza	-0.07	-0.65	0.05	0.41
						-0.23	-0.96	0.23	0.94
Williams (1987)	12 países OCDE (1960-1975)	Gasolina	LSDV	pg, y	No analiza	-0.121 y -0.112	-0.73 y -0.71	0.115 y 0.12	0.736 y 0.727
Sterner (1990)	21 países OCDE (1960-1985)	Gasolina	OLS	pg, y	No analiza	-0.18	-1.35	0.10	0.73
Frenzén y Sterner (1995)	21 países OCDE (1963-1985)	Gasolina	OLS, FE-OLS, GLS	pg, y	No analiza	-0.22	-1.27	0.13	0.75
Eltony (1996)	6 países CCEAG (1975-1993)	Gasolina	OLS	pg, y	No analiza	-0.11	-0.17	0.31	0.48
	Grupo 1 (1975-1993)					-0.20	-0.30	0.22	0.28
	Grupo 2 (1975-1993)					-0.04	-0.05	0.38	0.43
Baltagi y Griffin (1997)	18 países OCDE (1960-1990)	Gasolina	OLS, FE, FD, GLS GLS-AR(1)	pg, y, sv	No analiza	-0.23 a - 0.07	-1.42 a -0.86	0.33 a 0.55	-0.46 a 0.27
Eskeland y Feyzioglu (1994)	32 estados México (1982-1988)	Gasolina	LSDV	pg, y, sv	Efecto positivo en las reducciones de emisiones.	-0.785	-0.799	0.978	1.019
Eskeland y Feyzioglu (1997)	32 estados México (1982-1988)	Gasolina	LSDV	pg, y, sv, mcar	Si la demanda es sensible a precios, se tendrán reducciones	-1.010	-1.130	0.820	1.770

					de emisiones contaminantes. De lo contrario, se requiere tecnologías menos contaminantes.				
Johansson y Schipper (1997)	12 países OCDE (1973-1992)	Gasolina	OLS	pg, y, taxs, den	Políticas para reducción de emisiones: Reducir viajes en vehículos, aumento de la eficiencia energética, uso de energías renovables		-0.70		1.20
Rogat y Sterner (1998)	13 países América Latina (1964-1994)	Gasolina	OLS, FE	pg, y	No analiza	-0.13 y -0.10	-0.54 y -0.50	0.21 y 0.62	0.71 a 0.82
Baltagi y Griffin (2003)	21 regiones Francia (1973-1998)	Gasolina	OLS, FE, GLS	pg, y, sv	No analiza	-0.064 a -0.023	-0.360 a -0.724	-0.025 a 0.530	-0.799 a 0.661
Liu (2004)	23 Países OCDE (1978-1999)	Gasolina	GMM	pg, y	No analiza	-0.19	-0.60	0.20	0.61
		Diesel		pd, y		-0.09	-0.27	0.43	1.21
Espino (2005)	32 estados México (1993-2003)	Gasolina	GMM	pg, y, sv	No analiza	-0.39	-0.62	0.34	0.53
Liao y Lee (2009)	Provincias de China (1999-2006)	Gasolina	FE	pg, y, sv	No analiza		-0.131		0.594
		Diesel		pd, y			-0.639		0.987
Davis y Kilian (2010)	50 estados de Estados Unidos (1989-2008)	Gasolina	OLS, IV	pg	No analiza		-0.190 y -1.140		
Crotte, <i>et al.</i> (2010)	30 estados México (1993-2004)	Gasolina	GMM	pg, y, sv	No analiza	-0.19	-0.25	0.61	0.81
Flood, <i>et al.</i> (2010)	23 Países OCDE (1978-2003)	Gasolina	FE-OLS, FE-2OLS	pg, y, dt	El aumento de precios de los combustibles es un componente clave de cualquier política pública para	-0.117 y -0.077	-1.080 y -0.884	0.073 y 0.071	0.675 y 0.818

					hacer frente al cambio climático				
Pock (2010)	14 países Europa (1990-2004)	Gasolina	FE, LSDV, GLS, GLS-HC, FE-2OLS, FD-GMM	pg, y, sv	No analiza	-0.11	-0.50	0.26	1.21
Kim, <i>et al.</i> (2010)	Regional Corea (1999-2009)	Gasolina	OLS	pg	Se muestra la cantidad de consumo de gasolina y las emisiones de GEI que se reducen con un impuesto al carbono		-0.633		
OCDE (2011)	9 países Europa (1970-2007)	Gasolina	WITHIN	pgs, y, sv	Un aumento de los impuestos tendrá un efecto menor poco impacto sobre la demanda de gasolinas y en las emisiones de GEI.	-0.17		0.51	
Burguillo, <i>et al.</i> (2011)	15 países Europa (1990-2004)	Diesel	ISURE	pg, y, taxes, mat, den	Recopila estudios que presentan consecuencias ambientales del proceso de dieselización e identifica los principales determinantes	-0.28*	-0.33*	0.70	0.84
Liddle (2012)	14 países OCDE (1978-2005)	Gasolina	FMOLS, DOLS	pg, y, sv	No analiza	-0.155	-0.639 y -0.429	0.283	0.344 y 0.987
González, <i>et al.</i> (2012)	16 regiones España (1998-2006)	Gasolina	OLS; FE, GMM	pg, pd y, svd, svg, fcarr	No analiza	-0.417 a		0.009 a	
		Diesel		pd, pg, y, svd, svg, fcarr		-0.083 a -0.027		0.044 a 0.483	
Li y Leung (2012)	17 provincias China (2003-2009)	Gasolina	GMM	pg, y	No analiza		-0.17		1.10
Scott (2012)	Nivel estatal de Estados Unidos	Gasolina	OLS	pg, y, t, taxes	Uso de instrumentos económicos reduce el	-0.081 a -0.055	-0.377 y -0.256	0.150 a 0.173	0.704 a 0.797

	(1989-2008)				consumo de gasolina y emisiones				
Al Yousef (2013)	7 países OPEC (1980-2010)	Gasolina	FMOLS, DOLS	pg, y	No analiza		-0.12 y 0.07		0.05 y 0.57
Santos (2013)	27 estados Brasil (2001-201)	Gasolina	GMM	pg, y, pe, pcng	No analiza	-0.782	-1.186	0.282	0.523
Lin y Zeng (2013)	30 provincias China (1997-2008)	Gasolina	OLS	pg, pd, pp, y	Aplicación de un impuesto y escenarios de crecimiento de consumo de gasolina y GEI	-0.019 a -0.009	-0.136 a -0.068	0.153 a 0.167	1.159 a 1.265
Burke y Nishitatenno (2013)	135 países (1995-2008)	Gasolina	OLS, BETWEEN, IV-OLS, IV-FE	pg, y, den, dt	No analiza		-0.53 a -0.23		0.60 a 1.10
Liu (2014)	50 estados de Estados Unidos (1994-2008)	Gasolina	IV-FE	pg, y, demp, den, cam, dt	No analiza	-0.062 a -0.083		0.162 a 0.215	
Mendoza (2014)	9 países América Latina (2005-2012)	Gasolinas	FOMLS	pgs, y	No analiza		-0.1 a -0.4		1.3 a 1.4
Asensio, <i>et al.</i> (2014)	48 provincias España (2008-2011)	Gasolina	FE, GLS, IV, IV-GLS	pg, y, sv, mot, dt	No analiza	-0.20 a -0.24		0.57 a 0.74**	
Melo y Ramli (2014)	17 municipalidades del AML (1993-2010)	Gasolina	LSDV	pg, y, sv, ptrp, rcp	Simula las emisiones de CO ₂ del transporte por carretera según diferentes escenarios. Los resultados indican que el objetivo de emisiones sólo se logra en el escenario de bajo crecimiento económico	-0.48 a -0.72	-1.19 a -1.82	0.51 a 0.54	1.26 a 1.37
Arzaghi y Squalli (2015)	32 países subsidiarios gasolinas (1998-2010)	Gasolina	RE	pg, y, t, temp, urb	No analiza	-0.05	-0.25	0.16	0.81

Scott (2015)	29 países (1990-2011)	Gasolina	OLS, ECM	pg, y, vol, volp	No analiza	-0.095 a -0.014	-0.556 a -0.312	0.250 a 0.276	0.818 a 1.091
Danesin y Linares (2015)	16 regiones España (2000-2007)	Gasolina	FE, LSDV	pg, y, sv, ds	Estima los efectos de una reforma fiscal ambiental para determinar ahorro de energía y cómo puede contribuir a reducir las emisiones de CO ₂ .	-0.246 y -0.264	-0.558 y -0.815	0.058 y 0.069	0.12 y 0.228
		Diesel		pd, y, sv, ds	-0.231 y -0.243	-0.88 y -1.667	0.30 y 0.217	1.086 y 1.564	
		Gasolinas		pgs, y, sv, ds	-0.276 y -0.297	-1.072 y -2.491	0.25 y 0.162	0.924 y 1.46	
Esta investigación (2016)	48 provincias España (1999-2012)	Diesel turismos	EF-GLS, ECM	pd, y, svd, carr		-0.050	-0.268	1.000	1.374
		Gasolina turismos		pg, y, svg, svd carr	-0.236	-0.413	0.335	0.287	
		Turismos		pgs, y, carr	-0.135	-0.335	1.010	1.090	
		Diesel Camiones		pd, y, carr	-0.157	-0.154	0.817	0.469	

Fuente: Elaboración propia con base en la información estadística de los estudios revisados.

Notas: Variables utilizadas: pg: precio de la gasolina; pd: precio del diesel; pgs: precio de la gasolinas; pdc: precio del diesel camiones; pd: precio petróleo; pe: precio del etanol; peng: precio del gas natural comprimido; ptrp: precio transporte público; y: ingreso; tp: tierra per cápita; temp: temperatura; urb: urbanización; sv: stock vehicular; mot: motocicletas; dt: dummy de tiempo; taxes: impuestos; den: densidad poblacional; mat: matriculaciones; ds: vehículos diesel / vehículos total; mcar: millas de carreteras por vehículo; svd: stock vehicular diesel; svg: stock vehicular gasolina; fcarr: stock vehicular / red carretera; rcp: red de carreteras público; carr: carreteras de gran capacidad; vol: volatilidad y volp: volatilidad*precio; demp: desempleo; ftp: financiación estatal en el transporte público. *Regiones / Países / Ciudades:* OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. CCEAG: Consejo de Cooperación para los Estados Árabes del Golfo (Arabia Saudita, Bahréin, Emiratos Árabes Unidos, Kuwait, Omán, Qatar). Grupo 1: Bahréin, Emiratos Árabes Unidos y Omán. Grupo 2: Arabia Saudita, Kuwait, Qatar. * Se considero la elasticidad sobre los impuestos especiales como una aproximación de la elasticidad del precio del diesel. ** Se utiliza al empleo como proxy de la actividad económica. AML: Área Metropolitana de Lisboa. *Técnicas de estimación (estimadores):* OLS: Mínimos cuadrados ordinarios; TS-GLS: Mínimos Cuadrados Generalizados en dos etapas; EF: Efectos Fijos también llamado *WITHIN* (estimador intragrupos); RE: Efectos Aleatorios; FE-OLS: Efectos fijos- Mínimos cuadrados ordinarios; FE-2OLS: Efectos fijos- Mínimos cuadrados ordinarios en dos etapas; EF-GLS: Efectos fijos Mínimos Cuadrados Generalizados; LSDV: Mínimos cuadrados ordinarios con variables ficticias; GLS: Mínimos Cuadrados Generalizados; GLS-AR(1): Mínimos Cuadrados Generalizados- Proceso Autorregresivo (1); GLS-HC: Mínimos Cuadrados Generalizados que permite heteroscedasticidad con correlación transversal; GMM: Método General de Momentos; FD: Primeras diferencias; FD-GMM: Primeras diferencias-GMM; ISURE: Regresiones aparentemente no relacionadas iterados. FMOLS: Mínimos Cuadrados Ordinarios Totalmente Modificados; DOLS: Mínimos Cuadrados Ordinarios Dinámicos; *BETWEEN* (estimador entre grupos), IV-OLS: Variables instrumentales-Mínimos Cuadrados Ordinarios; IV-FE: Variables instrumentales-Efectos fijos; IV-GLS: Variables instrumentales-Mínimos Cuadrados Generalizados. *Otros conceptos:* LP: Es igual a la elasticidad de Largo Plazo. CP: Es igual a la elasticidad ingreso y precio de Corto Plazo.

El meta-análisis se basa en una revisión de artículos de una amplia gama de revistas, informes y libros publicados entre 1974 y 2016 y que abarca el período 1948 a 2015. Muchos de estos estudios incluyeron varios modelos que difieren según la región, por la forma funcional, por el método de estimación, o por lo las variables que se incluyeron en las estimaciones. Se recopiló 121 estudios, que contienen un total de 1052 elasticidades, de las cuales 290 estimaciones de la elasticidad precio de largo plazo, 286 estimaciones de la elasticidad ingreso de largo plazo, 239 estimaciones de la elasticidad de los precios a corto plazo, y 237 estimaciones de la elasticidad de los ingresos a corto plazo (Cuadro 1.3).

Cuadro 1. 3
Elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolinas
(Total y muestras seleccionadas)

Elasticidades	Precio		Ingreso	
	Corto plazo	Largo plazo	Corto plazo	Largo plazo
Muestra total	-0.146 (239)	-0.403 (290)	0.358 (237)	0.929 (286)
Series de tiempo	-0.139 (148)	-0.376 (185)	0.444 (146)	1.045 (184)
Datos Panel	-0.188 (91)	-0.569 (105)	0.286 (91)	0.847 (102)

Fuente: Elaboración propia con base en la información estadística de la revisión de los estudios.

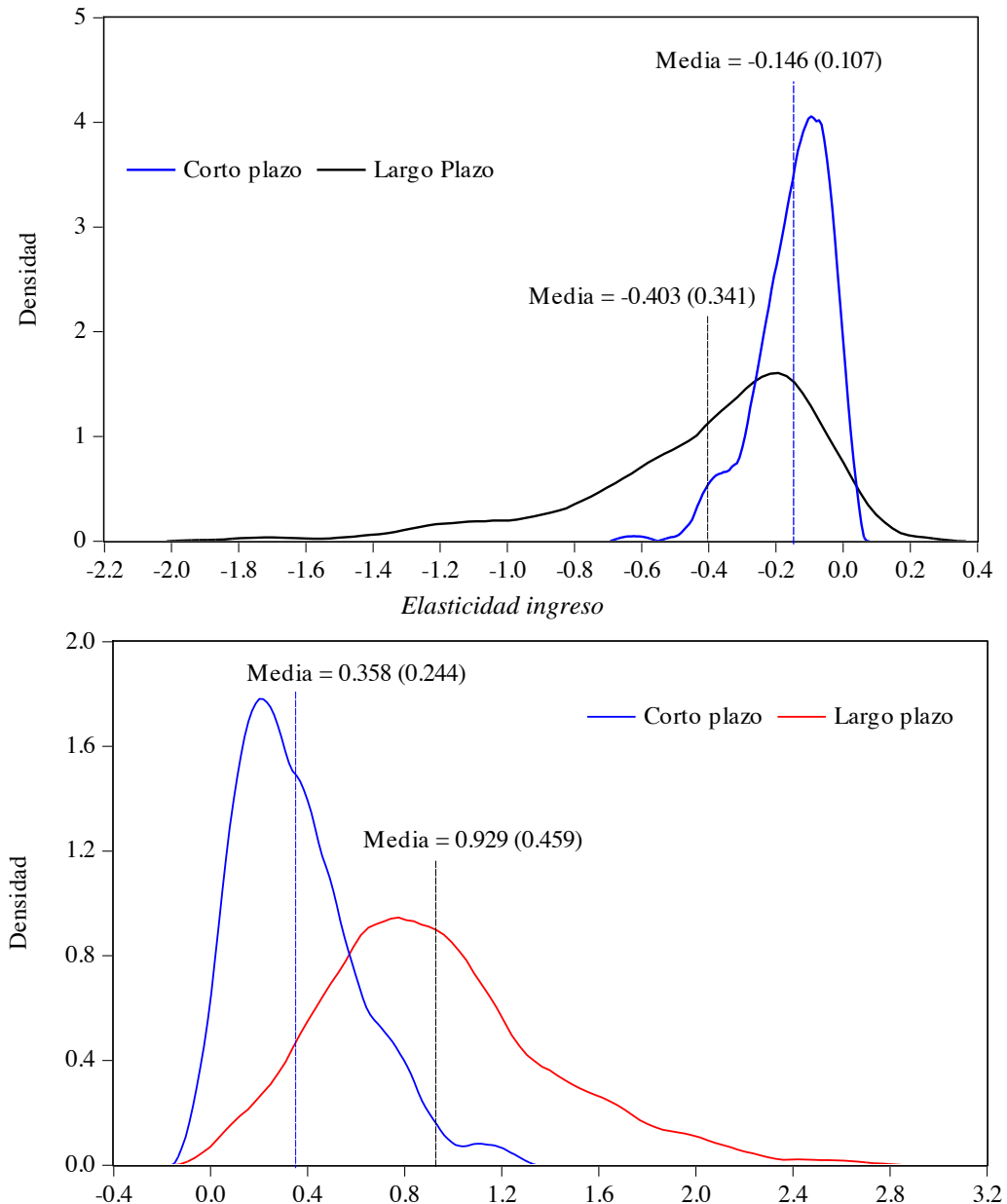
Notas: Elasticidad media se refiere al promedio simple. Entre paréntesis se reporta el número de observaciones.

De esta exploración, se consiguieron 529 estimaciones de las elasticidades precio de corto y largo plazos, con rangos de -0.623 a 0.002 (media = -0.146) y -0.182 a 0.155 (media = -0.403), respectivamente. Para el ingreso, se obtuvieron 523 elasticidades de corto y largo plazo, con rangos de 0.003 a 1.178 (media = 0.358) y 0.122 a 2.589 (media = 0.929), respectivamente. En la muestra de estudios analizados, la estimación con datos de series temporales ofrece, en promedio, una elasticidad precio inferior a los datos de panel y, por el contrario, una elasticidad ingreso superior. Una manera de presentar los rangos de las elasticidades de corto y largo plazos del ingreso y precio es con la distribución de densidad (Gráfico 1. 1).

A grandes rasgos, se observa que la elasticidad precio a corto plazo es inferior a -0.2, mientras que a largo plazo la sensibilidad de la demanda de carburantes es siempre superior y alcanza valores próximos a -0.4. Mientras, que la elasticidad del ingreso es cercana a la unidad en el largo plazo y menor a 0.5 en el corto plazo. Las estimaciones están distribuidas ampliamente alrededor de sus medias, lo que implica la existencia de heterogeneidad. La desviación estándar

de la elasticidad precio de corto plazo y largo plazo son 0.107 y 0.341, respectivamente, y son significativamente menores que las elasticidades ingreso (0.244 y 0.459, *corto y largo plazo, respectivamente*), lo que sugiere podría existir una mayor heterogeneidad en la elasticidad ingreso de la demanda de gasolina que en la elasticidad precio.

Gráfico 1. 1
Distribución de frecuencias de la elasticidad ingreso de corto y largo plazo
Elasticidad precio



Fuente: Elaboración propia con base en la información estadística de la revisión de los estudios.

Notas: Entre paréntesis se reporta la desviación estándar.

Dada la heterogeneidad que se observa en los distintos estudios, se ha llevado a cabo una regresión para identificar cuáles son los principales factores que afectan el valor de las

elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolinas. Se estimaron modelos econométricos utilizando ponderaciones para las elasticidades a corto plazo y a largo plazos de los precios y los ingresos, donde los pesos se asignan teniendo en cuenta la precisión (*error estándar*) de los resultados de cada estudio. La regresión del meta-análisis utiliza la información de los coeficientes (o *size effects*) para realizar inferencias sobre el conjunto de los estudios y para explorar la heterogeneidad de los resultados entre los diferentes análisis.

El análisis de meta-regresión analiza los factores que pueden influir de forma sistemática en la magnitud de los resultados, e incluye un total de 14 variables que se dividen en 4 grupos de acuerdo a diferentes causas potenciales de heterogeneidad: Especificación de la demanda (*modelos estático o dinámico, flota vehicular de automóviles, turismos y camiones, carburante diesel, variables económicas*⁴, *densidad de población, precio de otros bienes sustitutos, tendencia y variables dicotómicas regionales o estacionales*), cobertura geográfica (*nivel de desarrollo humano de los países*⁵), características de los datos (*periodo muestral, series de tiempo, datos panel, anuales, trimestrales, mensuales*) y técnicas de estimación (*cointegración y modelos de corrección de error 'ECM', mínimos cuadrados ordinarios 'OLS', máxima verosimilitud 'ML', método general de momentos 'GMM', mínimos cuadrados generalizados 'GLS' y variables instrumentales 'IV'*) (Cuadro 1. 4). El propósito fundamental fue el de identificar los factores que sistemáticamente afectan la magnitud de las elasticidades de los precios e ingresos en la literatura de la demanda de gasolinas a través de la meta-regresión.⁶ Todas las variables explicativas son (0, 1), las variables ficticias indican si el estudio contiene las características de los datos, modelo o técnica de estimación.

⁴ Con el fin de investigar el impacto de la naturaleza económica en la sensibilidad del ingreso y precio, incluimos una variable dummy para incluir variables como la inflación, crédito, desempleo, tasa de interés y empleo en las estimaciones.

⁵ Representados por el índice de desarrollo humano (IDH). Es una medida resumida del desarrollo humano; mide el avance conseguido por un país en tres dimensiones básicas del desarrollo humano: disfrutar de una vida larga y saludable, acceso a educación y nivel de vida digno.

⁶ La meta-regresión pondera y determina los grados de libertad de manera específica (Hedges y Olkin, 1985).

Cuadro 1. 4

Descripción de las variables incluidas en el modelo de meta-regresión

Grupos	Variabes	Descripción	
Dependiente	Precio corto plazo	Elasticidad precio a corto plazo	
	Ingreso corto plazo	Elasticidad ingreso a corto plazo	
	Precio largo plazo	Elasticidad precio a largo plazo	
	Ingreso largo plazo	Elasticidad ingreso a largo plazo	
Especificación de la demanda	Modelo estático	Variable <i>dummy</i> = 1, si la especificación del modelo corresponde a un modelo estático	
	Modelos dinámico	Variable <i>dummy</i> = 1, si la especificación del modelo corresponde a un modelo dinámico	
	Flota vehicular	Variable <i>dummy</i> = 1, si la estimación incluye como variable explicativa el parque vehicular	
	Diesel	Variable <i>dummy</i> = 1, si la estimación incluye como variable dependiente el diesel	
	Precio sustituto	Variable <i>dummy</i> = 1, si la estimación incluye como variable explicativa el precio de otro combustible	
	Densidad poblacional	Variable <i>dummy</i> = 1, si la estimación incluye como variable explicativa a la densidad de la población	
	Económicas	Variable <i>dummy</i> = 1, si la estimación incluye como variable explicativa algunas variable económica	
	Tendencia	Variable <i>dummy</i> = 1, si el modelo incluye como variable explicativa una tendencia	
Dummies temporales	Dummies temporales	Variable <i>dummy</i> = 1, si el modelo incluye como variable explicativa dummies temporales	
	Cobertura regional	IDH muy alto	Variable <i>dummy</i> = 1, si el estudio incluido se realizó para un país (ciudad y estado) o región que clasifique como IDH muy alto
		IDH alto	Variable <i>dummy</i> = 1, si el estudio incluido se realizó para un país (ciudad y estado) o región que clasifique como IDH alto
		IDH medio	Variable <i>dummy</i> = 1, si el estudio incluido se realizó para un país (ciudad y estado) o región que clasifique como IDH medio
		IDH bajo	Variable <i>dummy</i> = 1, si el estudio incluido se realizó para un país (ciudad y estado) o región que clasifique como IDH bajo
Características de los datos	Antes de 1973	Variable <i>dummy</i> = 1, si el período de la muestra de cada estudio considerado es antes de 1973	
	Antes de 1979	Variable <i>dummy</i> = 1, si el período de la muestra de cada estudio considerado es antes de 1979	
	Antes de 1993	Variable <i>dummy</i> = 1, si el período de la muestra de cada estudio considerado es antes de 1993	
	Después de 2000	Variable <i>dummy</i> = 1, si el período de la muestra de cada estudio considerado es durante el 2000	
	Series de tiempo	Variable <i>dummy</i> = 1, si los estudios utilizan datos de series de tiempo	
	Datos panel	Variable <i>dummy</i> = 1, si los estudios utilizan datos panel	
	Anuales	Variable <i>dummy</i> = 1, si los estudios utilizan datos anuales	
Técnicas de estimación	Cointegración y ECM	Variable <i>dummy</i> = 1, si el modelo estimado del estudio utiliza cointegración y modelos de corrección de error	
	OLS	Variable <i>dummy</i> = 1, si el modelo estimado del estudio utiliza mínimos cuadrados ordinarios	
	IV	Variable <i>dummy</i> = 1, si el modelo estimado del estudio utiliza variables instrumentales	
	GLS	Variable <i>dummy</i> = 1, si el modelo estimado del estudio utiliza mínimos cuadrados generalizados	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los modelos se presentan en el Cuadro 1. 5. Para la interpretación de los coeficientes cabe tener en cuenta que un coeficiente positivo indica una demanda más elástica, y un coeficiente negativo indica una demanda menos elástica para el caso del ingreso. Mientras que para la elasticidad del precio un coeficiente positivo implica una demanda menos elástica, mientras que un coeficiente negativo implica una demanda más elástica. La evidencia sugiere que la heterogeneidad en las estimaciones de la muestra se explica por características propias de las diferentes estimaciones que determinan el impacto de las elasticidades ingreso y precio en la demanda de carburantes. Por ejemplo, en la categoría *especificaciones de la demanda* la principal diferencia entre los modelos utilizados en la literatura es la forma en cómo se presenta el ajuste de la demanda de carburantes a los choques de los precios e ingresos en el tiempo. Los modelos estáticos no capturan el ajuste total, obteniendo elasticidades que a veces se consideran como indeterminadas y se encuentran en algún lugar entre el largo plazo y las elasticidades de corto plazo, por lo que se ha argumenta que es necesario el uso de especificaciones dinámicas con el fin de capturar las respuestas de largo plazo y para separar adecuadamente el corto del largo plazo.

La demanda de gasolina se ve afectada por la inclusión de otras variables explicativas de control en la ecuación. En general, cuando se incluyen variables de control, tanto la elasticidad precio como la elasticidad ingreso tienden a disminuir. Una característica importante de la estimación de las elasticidades es si el modelo incorpora el parque vehicular. El análisis sugiere que las estimaciones que omiten la información del vehículo reportan elasticidades sustancialmente mayores que los que controlan el número de vehículos. Los coeficientes estimados en las ecuaciones de la elasticidad precio de corto y largo plazos resultaron positivos y significativos, confirmando esta hipótesis. Esto es, cuando hay un aumento del precio de la gasolina, los consumidores inician el comportamiento de ahorro de combustible, como el uso compartido del coche o de la combinación de los viajes, el cual conduce a una mayor reducción en el consumo de combustible en las estimaciones donde se reporta stock vehicular. En otras palabras, los consumidores reaccionan a una subida del precio de carburante por una doble vía disminuyendo el consumo por vehículo y disminuyendo el número de vehículos. Por ello, mantener fijo el número de vehículos, la demanda es menos elástica al precio. Respecto al ingreso, la elasticidad

también disminuye cuando se controla el número de vehículos, dado que éstos absorben parte del efecto del aumento del ingreso. No obstante, el resultado no se confirma con las elasticidades a largo plazo. Los resultados muestran también que la inclusión de vehículos que consumen diesel proporciona una diferencia significativa en los resultados. En el corto plazo el valor resulta positivo para el precio, lo que implica que la demanda es más inelástica. Pero los resultados en las estimaciones a largo plazo resultan negativos, ello implica que el consumo de diesel es más sensible al precio en el largo plazo.

Las magnitudes de las elasticidades precio de la demanda de gasolinas se modifican al incluirse los precios de otros combustibles sustitutos o modos de transporte sustitutos (*transporte público*) en la especificación de dicha demanda. La teoría de la demanda indica que existe una elasticidad cruzada positiva entre el consumo de gasolinas y los precios de los combustibles sustitutos. En la medida en que el precio de los combustibles de sustitución se correlaciona con el precio de los carburantes, la omisión del precio de los sustitutos podría sesgar las estimaciones de la elasticidad precio. Los resultados de los precios sustitutos influyen significativamente y producen valores más elásticos en el corto y largo plazos de la elasticidad precio.

A medida que continúa la densidad poblacional, será cada vez más importante saber cuánto combustible en el sector transporte carretero se requiere para satisfacer la creciente demanda. Los resultados muestran coeficientes positivos, lo que se traduciría a menores elasticidades para el caso de los precios y más sensibles a los ingresos. Las variables económicas incluidas influyen en las perspectivas de los consumidores sobre la situación económica actual y las expectativas de futuro. Durante períodos de crisis, los consumidores pueden reflejar cambios en el comportamiento sobre el consumo de gasolina. Los consumidores disminuyen la conducción para corregir la presión sobre precios e ingresos. Sin embargo, cuando se percibe una recesión de larga duración, los consumidores reaccionan reduciendo el consumo a través de mejoras en la eficiencia energética, cambios hacia otros bienes energéticos más baratos o comprando vehículos de bajo consumo. Por lo tanto los coeficientes responden más sensiblemente en el largo plazo a cambios en el precio e ingresos. Cuando las especificaciones incluyen dummies por período o una tendencia lineal dificulta estimar el efecto de variables que se modifican de manera constante por año. La inclusión de una tendencia tiende a reducir el valor tanto de las elasticidades precio como ingreso. Por ello, a no ser que existan razones fundadas, no resulta aconsejable incluir una tendencia temporal en las estimaciones.

Adicionalmente, resulta relevante conocer cómo varían las elasticidades en función del nivel de desarrollo de los países o regiones. Los países se han dividido en cuatro categorías, siendo la categoría de referencia la correspondiente al nivel de desarrollo alto. Tal y como cabría esperar, los resultados muestran que los consumidores son claramente más sensibles al precio en los países con menor nivel de desarrollo. El impacto en la elasticidad ingreso es menos claro aunque, en general, la elasticidad decrece con el nivel de desarrollo económico. La categoría *características de los datos* incluye la medición del periodo muestral, el intervalo de tiempo de los datos utilizados en el estudio, ya sea anual o si los datos eran series de tiempo. Los resultados muestran que, después de controlar por un conjunto de variables, se confirma que los datos de series de tiempo y datos anuales producen estimaciones menos elásticas de la demanda de gasolinas que los datos de panel para las elasticidades precio. Para la elasticidad ingreso los coeficientes presentan mayor magnitud para el corto y largo plazo.

También, el ejercicio econométrico incorpora variables que indica si la mayor parte del período de la muestra de cada estudio considerado ciertos periodos antes de 1973 y 1993 y sólo datos desde 2000. Los períodos de tiempo se incluyen con base en los años significativos de cambio en la trayectoria de la energía. Año de publicación también se incluyó para determinar si se han producido cambios sistemáticos en estimaciones de elasticidad con el tiempo. Se espera que la naturaleza del conjunto de datos analizados por diversos estudios afecten las estimaciones de las elasticidades, tanto por razones de necesidad de consumo, como por mejoras en la eficiencia energética así como por la introducción de combustibles sustitutos, aumentado las opciones para los consumidores. El resultado más claro es que la demanda era más sensible tanto al precio como al ingreso antes de 1973.

Finalmente, se considero la técnica de estimación de cada uno de los estudios. Los resultados podrían ser de interés general para las investigaciones empíricas, ya que pueden indicar la presencia de sesgo cuando se utiliza cierta metodología. Los mínimos cuadrados ordinarios es la técnica más común empleada. Otras técnicas incluyen variables instrumentales, mínimos cuadrados generalizados y modelos de corrección de errores. También, en nuestra muestra existen algunas técnicas que no se utilizan con mucha frecuencia en los estudios analizados (por ejemplo, el método general de momentos), por lo cual no fueron incluidas en las estimaciones finales. Los estudios se clasificaron en cuatro técnicas de estimación, siendo la categoría de referencia la correspondiente a los mínimos cuadrados generalizados. Los resultados revelan

que los modelos no explican completamente la variación en las estimaciones y todavía queda mucha incertidumbre sobre las diversas técnicas econométricas. Se observa que existe una heterogeneidad significativa entre las distintas estimaciones, lo que sugiere la importancia de considerar un grado de incertidumbre en los resultados finales. El resultado más evidente es que las elasticidades precio e ingreso son significativamente menos elásticas cuando se utiliza mínimos cuadrados ordinarios.

Cuadro 1. 5
Meta-regresión: Fuentes de heterogeneidad las elasticidades ingreso y precio

Variables	Precio		Ingreso	
	Corto Plazo	Largo Plazo	Corto Plazo	Largo Plazo
Constante	-0.166 (0.008)*	-0.423 (0.009)*	-0.011 (0.015)	-0.014 (0.013)
<i>Especificación de la demanda</i>				
Modelo estático	0.0144 (0.006)**	-0.042 (0.007)	0.093 (0.015)*	-0.014 (0.014)
Flota vehicular	0.058 (0.005)*	0.050 (0.010)*	-0.067 (0.008)*	0.029 (0.095)*
Diesel	0.046 (0.006)*	-0.104 (0.011)*	-0.001 (0.004)	0.274 (0.025)*
Precio sustituto	-0.287 (0.008)*	-0.157 (0.117)*	-0.097 (0.012)*	0.109 (0.017)*
Densidad poblacional	0.032 (0.009)*	0.115 (0.010)*	0.238 (0.032)*	0.073 (0.019)*
Económicas	0.027 (0.008)*	-0.004 (0.011)	0.133 (0.022)*	-0.350 (0.025)*
Tendencia	0.024 (0.005)*	0.009 (0.007)	-0.055 (0.011)*	-0.381 (0.012)*
Dummies temporales	0.052 (0.005)*	0.007 (0.008)	0.095 (0.011)*	-0.030 (0.008)*
Cobertura regional				
IDH muy alto	0.009 (0.006)*	0.001 (0.008)	0.099 (0.013)*	0.012 (0.010)
IDH medio	-0.043 (0.063)**	-0.130 (0.007)*	0.283 (0.014)*	0.115 (0.014)*
IDH bajo	-0.140 (0.022)*	-0.026 (0.01)**	0.183 (0.095)**	-0.578 (0.065)*
Características de los datos				
Antes de 1973	-0.006 (0.003)**	-0.130 (0.072)*	0.090 (0.006)*	0.141 (0.012)*
Antes de 1993	-0.038 (0.005)*	-0.141 (0.010)*	-0.068 (0.006)*	-0.397 (0.016)*
Después de 2000	-0.254 (0.007)*	0.189 (0.027)*	0.107 (0.010)*	-0.298 (0.031)*
Series de tiempo	0.113 (0.004)*	0.530 (0.006)*	0.027 (0.009)*	0.138 (0.011)*
Anuales	-0.010 (0.005)*	0.056 (0.005)*	0.044 (0.006)*	0.263 (0.011)*
Técnicas de estimación				
Cointegración y ECM	0.010 (0.007)	0.020 (0.007)**	0.152 (0.015)*	-0.069 (0.015)*
OLS	0.044 (0.003)*	0.076 (0.010)*	-0.065 (0.004)*	-0.055 (0.014)*
IV	0.027 (0.010)**	0.348 (0.016)*	0.318 (0.032)*	0.031 (0.024)

Estadísticos

χ^2	2,444*	2,521*	3,391*	6,913*
Observaciones	239	290	233	286

Notas: El coeficiente de las elasticidades es usado como variables dependiente. Los números entre paréntesis de los coeficientes representan el error estándar. *, ** y *** indica rechazo al 1, 5 y 10 por ciento de nivel de significancia. El estadístico χ^2 (chi cuadrada) es la prueba de significación de la razón de probabilidad.

Por otra parte, el Cuadro 1. 6 ofrece un resumen de estos trabajos agrupados según el tipo de datos usados en los estudios originales y la metodología empleada para presentar los resultados. Así, se dividen los estudios según hayan utilizado datos de series temporales, sección cruzada, datos de panel, microdatos, surveys y meta análisis. El cuadro incluye información acerca de las variables explicativas, características y estructura del modelo y análisis de las elasticidades ingreso y precio. Uno de los primeros estudios y de los más citados es el de Dahl y Sterner (1991a). Estos autores analizan 97 elasticidades considerando diez especificaciones distintas y encuentran que las estimaciones tienden a ser más uniforme cuando caen dentro de un grupo específico. Las elasticidades de corto y largo plazos del precio e ingreso son -0.26, -0.86 y 0.48 a 1.21, respectivamente. Por su parte, Hanly, *et al.* (2002) revisó 69 estudios, que contienen un total de 192 elasticidades, repartidas en los 62 años de 1929 a 1991, obteniendo 51 y 46 elasticidades precio de corto y largo, con rangos que van de -0.01 a -0.57 (media = -0.25) y 0 a -1.81 (media = -0.64), respectivamente. Mientras, que para valores de la elasticidad ingreso de corto y largo plazo se obtuvieron 45 y 50 estimaciones, con rangos que fluctúan en 0 a 0.89 (media = 0.39) y 0.27 a 1.71 (media = 1.08), respectivamente. Asimismo, Graham y Glaister (2002b) recopilaron 113 estudios publicados entre 1966 y 2000, con 1083 estimaciones de elasticidades de demanda de combustible. Estos incluyen 387 y 213 elasticidades precio a corto y largo plazo, 377 y 198 elasticidades ingreso de corto y largo plazos. La media de las elasticidades precio a corto y largo plazos fueron de -0.25 y -0.77, con rangos de 0.59 a -2.13 y 0.85 a -22.0, respectivamente. La media de los ingresos de corto plazo fue de 0.47 (rango= 0 a 1.7) y de largo plazo fue de 0.93 (rango = 0 a 2.68). Estos tipos de análisis sintetizan la información de cientos de estudios sobre la demanda de combustibles.

También, existen diversos estudios que analizan por medio de meta-análisis, estudios a nivel agregado, las elasticidades de demanda de gasolina. La literatura registra 9 meta-análisis que analizan las causas de la heterogeneidad observada en la demanda de gasolinas que se reflejan

en el Cuadro 1. 6. A grandes rasgos, se observa que las elasticidades precio de corto y de largo plazo promedio encontradas para estos meta-análisis fueron -0.26 y -0.58 (Espey, 1998); -0.34 y -0.84 (Brons, *et al.*, 2008); -0.09 y -0.31 (Havranek, *et al.*, 2012); -0.17 y -0.31 (Galindo, *et al.*, 2015).

Un resultado interesante es que el consumo de gasolina es más inelástica al precio que lo que se cree generalmente, principalmente por el alto sesgo de publicación, las estimaciones no significativas o con valores positivos difícilmente se reportan, mientras que estimaciones negativas inverosímiles se reportan regularmente (Havranek, *et al.*, 2012). Resultados similares, se reportan para los coeficientes de elasticidad ingresos estimados, Havraanek y Kokes (2015) mencionan que las estimaciones están sesgadas al alza a causa de sesgo de publicación al suprimir las estimaciones negativas e insignificantes. Las elasticidades ingreso de corto y largo plazos, reportan valores de 0.099 y 0.234, respectivamente, un resultado interesante es sobre las diferencias sustanciales en las estimaciones, cuando no se incluye el stock vehicular, obteniendo un valor de largo plazo de 0.644.

Recientemente, Galindo, *et al.* (2015) identifican valores medio y los orígenes de la variación de las elasticidades de la demanda de gasolina. Sus resultados muestran que existe un sesgo de publicación y qué al corregirlo, la elasticidad ingreso se ubica en alrededor de 0.46 y en el caso de la elasticidad precio, la magnitud se encuentra entre -0.28 y -0.34. En términos medio ambientales, los autores concluyen que una estrategia que contribuya al control de la demanda de combustibles y la reducción de los contaminantes asociados requiere, además, un sistema de política de precios o impuestos, medidas regulatorias como estándares de emisiones por kilómetro recorrido o limitaciones al tráfico vehicular, y una infraestructura de transporte público adecuada.

Cuadro 1. 6
Estudios sobre estimaciones de elasticidades de la demanda de gasolinas
(Surveys y meta-análisis)

Tipo de información / Autor	# Estudios / Periodo	Precio		Ingreso	
		CP	LP	CP	LP
<i>Surveys</i>					
Taylor (1977)	7 (1970-1976)	-0.10 a -0.50	-0.25 a -1.0		
Bohi (1981)	11 (1974-1978)	-0.20	-0.70		
Bohi (1984)	11	-0.22	-0.58	0.39	1.09
Drollas (1984)	9 (1947-1978)	-0.27 (n = 6)	-0.71 (n = 8)	0.30 (n = 5)	0.92 (n = 8)
Bohi y Zimmerman (1984)	10 (1936-1981)	-0.26 (n = 15)	-0.70 (n = 6)	0.42 (n = 15)	0.80 (n = 7)
Dahl (1986)	68 (1969-1984)	-0.29	-1.02	0.47	1.38
Dahl y Sterner (1991a)	97 (1936-1988)	-0.26 (n = 126)	-0.86 (n = 75)	0.48 (n = 114)	1.21 (n = 82)
Dahl y Sterner (1991b)	102 (1936-1988)	-0.24 (n = 86)	-0.80 (n = 66)	0.45 (n = 93)	1.31 (n = 75)
Dahl (1995)	14 (1989-1993)	-0.20	-0.60		1
Agras y Chapman (1999)	7 (1982-1999)	-0.25	-0.92	0.32	0.61
Graham y Glaister (2002)	113 (1966-2000)	-0.20 a -0.30	-0.60 a -0.80	0.35 a -0.55	1.10 a 1.30
Basso y Oum (2007)		-0.20 a -0.30	-0.60 a -0.80	0.30 a -0.50	0.90 a 1.30
Dahl, 2012	247 (gasolina)	-0.15 (n = 1080)	-0.55 (n = 1152)	0.24 (n = 1013)	0.79 (n = 1100)
Dahl (2012)	63 (diesel)	-0.10 (n = 144)	-0.33 (n = 148)	0.33 (n = 144)	1.29 (n = 180)
Dahl (2014)	13 surveys	-0.20 a -0.30	-0.60 a -0.90	0.30 a -0.50	0.50 a 1.50
Scott (2015)	5 surveys	-0.25 a 0.30	-0.60 a -0,80	0.4	~1

<i>Meta-análisis</i>					
Espey (1996)	41 (1936-1986)		-0.53 (<i>n</i> = 70)		0.64 (<i>n</i> = 70)
Espey (1998)	101 (1929-1993)	-0.26 (<i>n</i> = 277)	-0.58 (<i>n</i> = 363)		
Graham y Glaister (2004)	113 (1966-2000)	-0.25 (<i>n</i> = 387)	-0.77 (<i>n</i> = 213)	0.47 (<i>n</i> = 377)	0.93 (<i>n</i> = 198)
Goodwin, <i>et al.</i> (2004)	69 (1929-1991)	-0.25 (<i>n</i> = 46)	-0.64 (<i>n</i> = 51)	0.39 (<i>n</i> = 45)	1.08 (<i>n</i> = 50)
Brons, <i>et al.</i> (2008)	43 (1950-2000)	-0.36 (<i>n</i> = 94)	-0.81 (<i>n</i> = 64)		
Brons, <i>et al.</i> (2008)	43 (1950-2000)	-0.34 (<i>n</i> = 222)	-0.84 (<i>n</i> = 90)		
Havranek, <i>et al.</i> (2012)	41 (1970-2011)	-0.09 (<i>n</i> = 110)	-0.31 (<i>n</i> = 92)		
Havranek y Kokes (2015)	150 (1966-2009)			0.099 (<i>n</i> = 831)	0.234 (<i>n</i> = 346)
Galindo, <i>et al.</i> (2015)	63 (1960-2013)	-0.104 (<i>n</i> = 130)	-0.314 (<i>n</i> = 213)	0.267 (<i>n</i> = 108)	0.461 (<i>n</i> = 119)
	América Latina	-0.17 (<i>n</i> = 34)	-0.31 (<i>n</i> = 15)	0.26 (<i>n</i> = 35)	0.69 (<i>n</i> = 25)
Labandeira, <i>et al.</i> (2016)	Gasolina	-0.249 (<i>n</i> = 465)	-0.72 (<i>n</i> = 465)		
	Diesel	-0.213 (<i>n</i> = 136)	-0.62 (<i>n</i> = 136)		
Esta investigación	121 (1948 a 2015)	-0.146 (<i>n</i> = 239)	-0.403 (<i>n</i> = 290)	0.358 (<i>n</i> = 237)	0.929 (<i>n</i> = 286)

Fuente: Elaboración propia con base en la información estadística de los estudios revisados.

Notas: # Estudios es el número de estudios analizados en cada artículo. 'n' es el número de estimaciones (*elasticidades*). Año del estudio: Indica el periodo de estudio de los artículos analizados. LP: Es igual a la elasticidad ingreso y precio de Largo Plazo. CP: Es igual a la elasticidad ingreso y precio de Corto Plazo.

Por último, el análisis de la elasticidad de la demanda de gasolina no puede ignorar el efecto que ha tenido la continua mejora de la eficiencia en el consumo de los vehículos. Existen razones para creer que las relaciones causales han cambiado a través del tiempo como resultado del incremento del progreso técnico, elemento que ha recibido insuficiente atención (Graham y Glaister, 2002). Algunos autores señalan que el precio de la gasolina no puede ser una política de conservación eficaz en el corto y medio plazo, mientras que las normas de eficiencia de combustible parecen tener un impacto significativo en la reducción del consumo de combustible (Rice y Frater, 1989; Wilson, *et al.*, 1992). Las normas de eficiencia reducen el consumo de combustible y las emisiones de carbono mediante la mejora tecnológica, y un beneficio adicional es para disminuir la dependencia de los combustibles. Sin embargo, los efectos de rebote y altos costos sociales han generado críticas a este tipo de políticas (West, 2004; Small y Van Dender, 2007). El efecto rebote se explica al introducir una mejora tecnológica o de eficiencia no se transmite totalmente, se produce un “rebote” y el consumo energético no disminuye proporcionalmente a esta mejora, al contrario de lo que cabría esperar, sino que incluso podría aumentar.

El efecto del progreso técnico para mejorar el rendimiento de los combustibles de los vehículos resulta difícil de modelar. Cualquier medida sobre la eficiencia de los combustibles es necesariamente endógena. Los cambios en el mercado automovilístico están estrechamente relacionados con el nivel actual de la eficiencia de los combustibles y de la demanda de gasolina, pero esta relación se ignora frecuentemente en gran parte de la literatura empírica. Existen estudios que han analizado la magnitud del impacto de la eficiencia de los combustibles en la demanda de las gasolinas (Cuadro 1. 7). En general, se observa que la demanda de gasolinas es poco sensible a la eficiencia. La media de la elasticidad eficiencia se ubica en -0.34. Sin embargo, se observa una elevada dispersión en los resultados. Algunos estudios incluso estiman un efecto positivo.

Cuadro 1. 7
Literatura internacional sobre la elasticidad eficiencia de la demanda de gasolinas

Autor	Variable dependiente	Método de estimación	Países y periodo	Impactos medioambientales	Elasticidad ^a		
					Ingreso	Precio	Eficiencia
Rice y Frater (1989)	Gasolina	OLS y AR	Reino Unido (1977-1986)	No analiza	0.532	-0.170	0.069 ^b
					0.756	-0.210	0.003 ^b
Berkowitz, <i>et al.</i> (1990)	Gasolina	GLS	Canadá (1982-1987)	No analiza		-0.240	-1.090 ^{c, d}
Eltony (1990)	Gasolina	OLS	Canadá (1969-1988)	No analiza	0.249	-0.193	-0.609 ^e
					0.214	-0.188	-0.606 ^e
					0.147	-0.210	-0.747 ^e
Wilson, <i>et al.</i> (1992)	Gasolinas	OLS	Australia (1973-1982)	No analiza	0.940	0.450	-0.020 ^f
Elkhafif y Kubursi (1993)	Gasolina	3SLS	Canadá (Ontario: 1970-1990)	No analiza	0.333	-0.195	0.514 ^b
Bentzen (1994)	Gasolina	Cointegración ^h y ECM	Dinamarca (1948-1991)	No analiza	1.044	-0.410	-0.014 ^f
Johnston y Dinardo (1997)	Gasolina	Cointegración ^h y ECM ARDL	Estados Unidos (1959-1990)	No analiza	0.990	-0.130	-0.518 ^e
					1.000	-0.180	-0.560 ^e
Dargay (1997)	Gasolinas	ML	OCDE y Asia (1992-2015)	La dependencia de los combustibles fósiles del sector transporte, el estado actual de la tecnología de los vehículos y con ausencia de las medidas de política públicas, dará lugar a un aumento del consumo de combustible y de las emisiones de CO ₂	1.060	-0.500	-0.200 ^{b,c}
					1.060	-0.200	-0.500 ^{b,c}
Tanishita (2005)	Gasolina	OLS	Japón (1980-2000)	No analiza			-0.073 ^b
							0.018 ^b

Medlock III (2009)	Gasolinas	OLS	Estados Unidos (1980-2005)	No analiza	0.160	-0.020	-0.450 ^e
Wadud, <i>et al.</i> (2009)	Gasolina	SURE	Estados Unidos (1984-2002)	No analiza	0.470	-0.296	-0.932 ^e
					0.563	-0.211	-0.788 ^e
Galindo (2010)	Gasolinas	Cointegración ^h y ECM	México (1960-2008)	Una política sobre la eficiencia energética no disminuye las emisiones de GEI	1.130	-0.150	-0.161 ^g
Broadstock y Hunt (2010)	Gasolinas	STSM	Reino Unido (1960-2007)	No analiza	0.530	-0.120	-0.320 ^e
					0.570	-0.120	-0.270 ^e
Ferrer (2012)	Gasolina	Cointegración ^h y ECM	Ciudad de México (1980-2008)	No analiza	0.686	-0.393	-0.316 ^g
Rayska (2011)	Gasolina	2SLS	Estados Unidos (1984-2010)	No analiza	1.164	-0,163	-0.1423
Catalán (2014)	Gasolina	Cointegración ^h y ECM	México (1965-2009)	No analiza	1.13	-0.10	-0.15
Esta investigación (2016)	Gasolina	Meta-análisis	Países y regiones (1948-2011)	Revisión de las principales consecuencias ambientales y sus vínculos con la eficiencia de los combustibles.			-0.340

Fuente: Elaboración propia con base en la información estadística de los estudios revisados.

Notas: a) Elasticidades de Largo plazo; b) Litros por cada 100 kilómetros; c) Valores proyectados bajo distintos escenarios; d) Litros por semana; e) Millas por galón f) Mejoras en la eficiencia de los combustibles; g) Kilómetros por litro; h) Estimaciones bajo el procedimiento de Johansen (1988); Gasolinas: Consumo total de gasolina y diesel; OLS: Mínimos Cuadrados Ordinarios; GLS: Mínimos Cuadrados Generalizados; 3SLS: Mínimos Cuadrados en Tres Etapas; AR: Modelos Autoregresivos; ECM: Modelo de Corrección de Error; ARDL: Modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos; ML: Máxima Verosimilitud; STSM: Modelos Estructurales de Series de Tiempo.

I.3. Eficacia de las políticas públicas dirigidas a reducir la contaminación ambiental

Este documento se basa en la recopilación de cientos de investigaciones, cuyo reto ha consistido en documentar la literatura teórica y empírica existente sobre los determinantes, formas funcionales, técnicas de estimación, formas funcionales y especificaciones de la demanda de combustible para el transporte carretero. La contribución principal ha sido el de extraer lecciones para una mejor comprensión sobre la sensibilidad de la demanda de gasolinas en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En la literatura de la demanda de gasolinas, hace falta un estudio que sintetice la amplia literatura sobre los determinantes y las consecuencias ambientales del consumo de carburantes, a fin de comprender plenamente la instrumentación de políticas públicas para la reducción de emisiones contaminantes en el sector transporte. La evidencia internacional sintetizada en este estudio permite constatar que la disminución del consumo de combustibles utilizados por los automóviles requiere de medidas de diversa índole. Existen estudios que describen con mayor detalle cómo las diversas políticas públicas tienen un potencial hacia la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte por carretera (Newman y Kenworthy, 2011). En el caso específico del transporte, existe una extensa literatura sobre los principios que sustentan el uso de instrumentos de política basados en el mercado con fines medioambientales y para la disminución de gases de efecto invernadero (*para un mayor análisis véase: Parry, et al., 2007; Santos, et al., 2010; Proost y Van Dender, 2012; Small, 2012*).⁷ La literatura disponible destaca un conjunto de opciones de políticas, mecanismos y herramientas: Incentivos económicos o de mercado,⁸ regulatorios, e instrumentos de política más tradicionales como la intervención directa y la reglamentación denominadas “medidas de comando y control”.⁹ Por ejemplo, mediante la modificación de los precios relativos de los combustibles (*impuestos a los combustibles*), incentivos económicos (*autos con mayor rendimiento energético*), políticas de regulación (*eficiencia energética*), y la regulación directa a los vehículos (*características de los*

⁷ Las políticas también están asociadas con los principales impactos negativos del transporte: Cambio climático, contaminación atmosférica, congestión del tráfico, accidentes de tráfico, daños en la infraestructura carretera y problemas de salud (Newbery, 1990; Newbery, 1988; Parry y Strand, 2012).

⁸ Los instrumentos de mercado minimizan los costos de alcanzar un determinado nivel de protección del medio ambiente y también proporcionan incentivos para la adopción y difusión de tecnologías de control, originalmente se formularon con impuestos sobre la contaminación y sistemas de permisos negociables.

⁹ Los instrumentos de comando y control, requieren el uso de una tecnología y de la cantidad máxima de contaminación que una fuente puede emitir. La innovación y la difusión tecnológica es fundamental para la mitigación del cambio climático, los tendencias actuales requieren un esfuerzo mayor para instrumentar medidas adicionales a aquellas que naturalmente genera el mercado.

vehículos).¹⁰ Algunas de las opciones más recurrentes que se encuentran descritas en la literatura son las siguientes.

Los Impuestos sobre el carbono: El impuesto al carbono se refiere al gravamen directamente vinculado con el nivel de emisiones de CO₂, el cual se expresa en general en toneladas de CO₂. Se puede introducir un impuesto a la tonelada de CO₂ o de GEI dependiendo de los gases considerados y por fuente de emisión (Bashmakov, *et al.*, 2001). Estos impuestos principalmente se aplican a los combustibles fósiles en proporción al contenido de carbono (Aldy y Stavins, 2012). Esto es, estos impuestos gravan todos los recursos basados en el carbono como el petróleo, el carbón y el gas natural. La imposición de los combustibles (*gasolina y diesel*) podría contribuir a la reducción del consumo de combustible y sus emisiones asociadas (Small, 2012). Por ejemplo, el uso de impuestos a vehículos puede ser estructurado de manera que se limite la propiedad del parque vehicular, incentive la compra de vehículos más pequeños o con mayores rendimientos energéticos, promueva el recambio por antigüedad y se mejore el mantenimiento del vehículo (Hayashi, *et al.*, 2001; West y Williams, 2004). La eficacia de los impuestos como instrumentos de corrección depende de la relación entre externalidad negativa y el diseño del instrumento, cuando esta relación es débil, entonces los contaminadores (*usuarios de la carretera*) pueden responder de una manera ineficiente (Crawford y Smith, 1995). West (2004) afirma que los estudios previos demuestran que los impuestos sobre la gasolina o sobre los kilómetros recorridos reducen eficientemente la contaminación. Sipes y Medenlsohn (2001) también se manifiestan a favor de elevar los impuestos sobre la gasolina para mitigar la contaminación atmosférica producida por los vehículos, aunque concluyen que la baja elasticidad precio de la demanda de gasolina conlleva una pequeña mejora medioambiental. Comeau y Chapman (2002) son defensores del uso de impuestos al carbono pero con la combinación con estándares de emisión.

Históricamente, la mayor parte de los impuestos verdes aplicados corresponden a impuestos sobre el uso de gasolinas (OECD, 2010). La diferenciación impositiva sobre las gasolinas que promueva el consumo de los menos contaminantes ha sido una medida exitosa. La diferenciación entre gasolina con y sin plomo es un buen ejemplo de que esta medida (Butto, 1993; Labandeira y López, 2002). Los impuestos al combustible si se aplicaran al contenido

¹⁰ Los instrumentos de política bajo condiciones de competencia imperfecta, información incompleta y condiciones de incertidumbre, tienen consecuencias potencialmente distintas sobre el nivel de eficiencia y bienestar de la sociedad (Gruber, 2009; Rosen y Gayer, 2009).

fósil del combustible, serían un instrumento correcto para el calentamiento global (Stern, 2002). No obstante, en general, los impuestos se fijan sobre el volumen consumido. El uso de impuestos a los combustibles tiene el potencial de reducir las emisiones de GEI, disminuir la congestión, mejorar el medio ambiente y podría ser una parte fundamental de cualquier plan de acción climática. Un impuesto a los combustibles incentiva la compra de vehículos más pequeños o más eficientes en el uso de combustibles (West y Williams, 2004; Bento, *et al.*, 2005). Además genera una parte importante de los ingresos fiscales de una manera relativamente eficiente debido a la baja elasticidad de la demanda de gasolina y al kilometraje por vehículo con respecto a los precios de la gasolina (Graham y Glaister, 2002; Brons, *et al.*, 2008; Dahl, 2012). Los impuestos al combustible pueden ser un instrumento poderoso para limitar el uso de combustibles pero no puede utilizarse sin considerar la disponibilidad y precios del transporte público. La aplicación de impuestos a los combustibles orientados a la reducción de las emisiones tiene su origen en países de Europa comenzando en la década de los años ochenta. Por ejemplo, Alemania implementó incentivos fiscales con el propósito de acelerar la adopción de vehículos que cuentan con convertidor catalítico (Blum y Rottengatter, 1990; Vleugel, *et al.*, 1990), además de proporcionar tasas más bajas o exenciones de impuestos a vehículos a electricidad y/o gas (OCDE, 1993). En Chile, el impuesto sobre los combustibles fue introducido en 1985, e intentaba capturar el daño ambiental que provoca su consumo, aunque inicialmente fue diseñado para financiar la baja recaudación en otros tributos (Beyer, 2008). Uno de los principales problemas con los impuestos a las gasolinas, no es términos económicos sino por cuestiones políticas. En países con bajos precios del combustible y con demandas de combustibles alta, existen poderosos incentivos políticos contra el aumento de este tipo de impuestos (Goel y Nelson, 1999).

Otro aspecto a tener en cuenta son los efectos redistributivos de los impuestos sobre la gasolina. Bento, *et al.* (2009) examinan los efectos distributivos por tipo de hogares de un aumento de impuestos a la gasolina en los Estados Unidos.¹¹ Las consecuencias distributivas de las políticas fiscales ambientales cuando los hogares son heterogéneos también han sido analizadas en ciudades Europeas (Chiroleu y Fodha, 2014). Los análisis encuentran evidencia de que los impuestos a la gasolina son progresivos para el Reino Unido (Santos y Catchsides, 2005); Dinamarca (Jacobsen, *et al.*, 2003); Costa Rica (Blackman, *et al.*, 2010); y México (Anton y

¹¹ La idea detrás de la definición de los efectos de distribución de un impuesto es que gravar un bien que se utiliza principalmente por los ricos es progresiva, los impuestos son regresivos cuando afecta en términos relativos en mayor proporción a los hogares más pobres (Stern, 2012).

Hernández, 2014). Para el caso de Chile, los impuestos a la gasolina son moderadamente progresivos, una reducción de los impuestos favorece a los hogares de los deciles de ingresos más altos (Agostini y Jiménez, 2015). Se considera que un impuesto sobre el combustible son progresivos en la India (Datta, 2010). Mientras, que West (2004) sostiene que el impuesto sobre la gasolina es progresivo sólo en los grupos con mayor ingreso en el Reino Unido. Si bien puede haber regresividad en algunos países de altos ingresos, como regla general, los impuestos a los combustible es una política progresiva, sobre todo en los países de bajos ingresos (Stern, 2012). Fullerton y West (2003) muestran que en California, un impuesto sobre el tamaño del vehículo sería progresivo, la riqueza de los hogares se correlaciona positivamente con el tamaño del vehículo. West (2004) encuentra que la aplicación un impuesto basado en la antigüedad del vehículo tendría un mayor impacto en las familias de ingresos más bajos (Fullerton y West, 2003). También, se ha propuesto cambiar la actual estructura impositiva sobre vehículos ligeros a impuestos sobre los kilómetros recorridos por vehículo ligero, bajo el argumento que tal cambio afectaría positivamente a los grupos de bajos ingresos y alentaría la adopción de vehículos más eficientes (McMullen, *et al.*, 2010).

Los impuestos sobre la compra y la propiedad vehicular: El uso de los impuestos sobre la compra y la propiedad de un vehículo ha sido ampliamente analizado (De Jong, 1990; Muthukrishnan, 2010). El impacto principal de un impuesto a la compra de vehículos es una reducción en el número en circulación, sustitución de vehículos ineficientes, y por lo tanto una reducción de las emisiones contaminantes, congestión y los accidentes de tráfico (Chia, *et al.*, 2001; Stern 2007; Timilsina y Dulal 2008). Sin embargo, también podría aumentar la tasa de uso de vehículos (De Jong, 1990). Por ejemplo, los impuestos en los nuevos vehículos no se compensan con impuestos a vehículos de segunda mano, la política puede fallar para lograr una reducción en la propiedad de automóviles, cambiando el comportamiento de compra hacia modelos más antiguos y más contaminantes (Pritchard y DeBoer 1995; Timilsina y Dulal, 2008). La revisión de la literatura sugiere controlar la elección del vehículo a través de impuestos lo que podría conducir a una reducción en el consumo de combustible del parque de vehículos nuevos y por lo tanto también habría una reducción de las emisiones de CO₂.

Los impuestos sobre la compra y la propiedad vehicular pueden ser diferenciados sobre el consumo de combustible por kilometro recorrido, tipo de combustible, tamaño del motor, peso del vehículo y el precio de venta. Identificar el año del modelo y el kilometraje por litro consumido son los factores que contribuyen a las emisiones de hidrocarburos (HC), óxidos de

nitrógeno (NO_x) y dióxido de carbono (CO₂) (Jonhstone y Karousakis, 1999). En el caso de los impuestos a la propiedad vehicular, características relevantes incluyen la antigüedad del vehículo (Evans, 2008) y el tamaño (Acutt y Dodgson, 1997), así como el estilo de conducción (Fullerton y West, 2003; Fullerton y Gan 2005). Por ejemplo, un impuesto basado en el tamaño del motor es inútil cuando un impuesto sobre el combustible ya está en marcha, ya que los motores más grandes están asociados con un mayor consumo de combustible (Fullerton y West, 2003). Si el impuesto se aplica a la compra de ambos vehículos usados y nuevos, la rotación de las existencias de vehículos se reduce, ya que el precio de los vehículos nuevos aumenta y esto ralentiza la reducción de las emisiones contaminantes (Jonhstone y Karousakis, 1999). Un impuesto proporcional a la antigüedad del vehículo (o subvenciones en los vehículos nuevos) podría contrarrestar estos incentivos perversos y jugar un papel significativo en la reducción de emisiones, al desalentar la compra de vehículos más antiguos (Fullerton y West, 2003). Sin embargo, un impuesto sobre la edad no es muy eficaz en la reducción de emisiones, en comparación con un impuesto sobre el combustible o en las emisiones por kilómetro recorrido (Fullerton y Gan, 2005).

Los impuestos al kilometraje. Un impuesto sobre los kilómetros recorridos es el desincentivo más efectivo de utilizar los vehículos. El impuesto al kilometraje puede diferenciarse por varias características del vehículo u otros factores. Mientras una extensa literatura examina el nivel óptimo de impuestos sobre el combustible (Parry, *et al.*, 2007; Lin y Prince, 2009), muy poca atención se ha tenido sobre el uso de mecanismos fiscales en las características vehiculares para conseguir un nivel objetivo determinado de reducción de emisiones. Los impuestos al kilometraje fueron impulsados en países nórdicos para vehículos de combustión a diesel y para oponerse a la similitud existente entre sus homólogos de gasolina. La propuesta fue un impuesto al kilometraje para los vehículos con motores a diesel, diferenciando por tipo y peso del vehículo (Sterner, 2002). En la práctica, la estructura de los impuestos al kilometraje de la gasolina y el diesel deben de diferenciarse por dos razones. Los precios de los carburantes son extremadamente volátiles y la demanda de gasolina y el diesel es muy inelástica en el corto plazo (Madowitz y Novan, 2013).

La mejora de la eficiencia de combustible: Actualmente, existen mecanismos, instrumentos o herramientas que pueden conducir a un menor consumo de combustibles y de emisiones de gases contaminantes (Parry, *et al.*, 2006; Goulder y Parry, 2008). Una de las estrategias para lograr estos objetivos es aumentar la eficiencia energética en el sector transporte y con ello

disminuir el consumo de combustibles y las emisiones de gases contaminantes asociadas (Advenier, *et al.*, 2002; Know, 2006; Anderson, *et al.*, 2011).¹²

Una de las primeras políticas que se propuso para mejorar la eficiencia energética fue el aumento de los vehículos a diesel dado que estos vehículos presentan mayor rendimientos que los vehículos a gasolina y mayores reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (Schipper, *et al.*, 2002; Sterner, 2002; Zervas, 2006; Jeong, *et al.*, 2009;). Este fue el caso, por ejemplo, de la normativa europea sobre carburante de 1973 que favoreció el diesel desde una doble vertiente. En primer lugar gravó el diesel con un menor tipo impositivo. En segundo lugar, la fiscalidad sobre los carburantes se estableció sobre el volumen y no sobre el contenido energético. Ello beneficia el diesel dado que el consumo por kilómetro es menor por su mayor contenido energético. Asimismo, se pusieron en marcha incentivos para la compra de vehículos nuevos y mejoras en los rendimientos de los motores (Dahl, 2012). La literatura reporta que los consumidores aumentan la demanda de vehículos a diesel sólo si el precio del diesel es relativamente más barato que el de la gasolina (Lee y Cho, 2009). No obstante, el cambio en las preferencias de los consumidores no se explicaría sin la mejora en la tecnología de combustión de los motores diesel que se tradujo en un significativo aumento de la eficiencia de los vehículos diesel (Burguillo, *et al.*, 2011).

Todo ello contribuyó al proceso de dieselización de la flota de vehículos en muchos países europeos, entre ellos España. No obstante a su mayor rendimiento, es importante mencionar que los vehículos a diesel tienen también una mayor emisión de gases contaminantes (Sullivan, *et al.*, 2004; Wallington, *et al.*, 2013). Efectivamente, aun cuando se mejora la eficiencia promedio de los combustibles, puede ocasionar un aumento de la intensidad en el uso de coches a diesel (Frondel, *et al.*, 2007), agravando los problemas ambientales (Bonilla, 2009). En consecuencia, esta política puede acabar aumentando el consumo de energía y las emisiones de CO₂. La elección del vehículo es el principal determinante del nivel de contaminación atmosférica, Harding (2014) sugiere que las tasas más bajas de impuestos sobre el diesel con respecto a la gasolina, no se justifica desde un punto de vista ambiental.

¹² La eficiencia del consumo de los vehículos de gasolina y diesel se ve afectada por las características del vehículo, tamaño, peso, potencia, propiedades aerodinámicas, la tecnología del motor, el comportamiento del conductor, velocidades recorridas, condiciones de la carretera, mantenimiento de vehículos y la elección de los neumáticos (Greene, 2008).

En algunos países, no obstante, existen políticas que obligan a los fabricantes de automóviles a mejorar la eficiencia en el consumo de carburante de los vehículos para reducir las emisiones de CO₂. Así, en los Estados Unidos en el año 1978 se aprobó la US Corporate Average Fuel Economy (CAFE). Esta ley fijaba unos estándares máximos de consumo de carburante para la media de los automóviles vendidos en el mercado americano. Estos estándares se restringieron de forma significativa en los años 2007 y 2009 para los vehículos turismo de forma que los límites a cumplir para el año 2016 eran 40% superiores a los de 10 años antes.

En Europa, después de un período de límites voluntarios, en 2009, se adoptó una nueva regulación que fija límites máximos a las emisiones de CO₂ (EC nº 443/200). Esta regulación es de obligado cumplimiento para los fabricantes de automóviles que entran en el mercado europeo. Para los vehículos de pasajeros, la regulación estableció un límite máximo de 130g CO₂/km para 2015. Dicho límite se define como la media ponderada de todos los vehículos que un fabricante vende en el mercado.¹³ De acuerdo con la evidencia proporcionada por la European Environment Agency (2015), los fabricantes han cumplido con creces con los límites establecidos. Sin embargo, recientemente, han surgido críticas a los tests oficiales utilizados para medir las emisiones de CO₂. Por ejemplo, Tietge, *et al.* (2015) aportan evidencia de que las emisiones en condiciones de conducción “real” son muy superiores a las establecidas según los tests practicados en los laboratorios y, por lo tanto, los aumentos de eficiencia serían menores.

I.4. El impacto ambiental de la demanda de gasolinas

Las preocupaciones sobre el calentamiento global y la seguridad energética han aumentado la importancia de reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos (Cline, 1991; Small y Kazimi, 1995; Wallington, *et al.*, 2013). Para el caso español las emisiones de CO₂ se han incrementado a un ritmo de 2.58 por ciento anual entre 1990 a 2010, ubicándose en niveles de en 91.4 millones de toneladas de CO₂ equivalente (BIAP, 2012). Las trayectorias indican una gran correlación entre la tendencia del consumo de energía y las emisiones de los GEI, indicando que el sector transporte por carretera adquiere gran relevancia en el contexto de una política de mitigación. Para 2014 el sector automotor en España aporta aproximadamente un 23% por ciento del total de emisiones de CO₂ equivalentes (MARM, 2016). Para el caso de Estados Unidos, de acuerdo

¹³ La regulación fija un límite máximo según las características del vehículo. A grandes rasgos, el límite está en función del peso del vehículo.

con la Agencia de Protección del Medio (EPA), aproximadamente el 26% del total de las emisiones de CO₂ que se generan provienen de vehículos de pasajeros y mercancías (*automóviles, camiones ligeros y camiones de carga*). Estimaciones para Canadá y el Reino Unido muestran que el 24% de y el 25 las emisiones de CO₂ son provocados por el sector transporte por carretera (ME, 2012; DfT, 2012). En 2013 en México, el sector automotriz contribuye aproximadamente con el 26% de la cantidad total de emisiones de CO₂e (INECC-SEMARNAT, 2015). A nivel mundial el transporte representa aproximadamente el 25% de las emisiones de CO₂.

Es de gran importancia destacar que el sector autotransporte representa el sector más importante de cara al desarrollo de políticas encaminadas a la reducción de emisiones de GEI. Los gases de efectos invernadero de larga permanencia contribuyen a problemas ambientales de ámbito global, tales como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitroso (N₂O) y clorofluocarbonos (CFC). Desde la perspectiva local, los contaminantes comunes asociados con los combustibles de transporte deterioran la calidad del aire que se respira en las ciudades, estas emisiones incluyen la acidificación del medio (por la emisión de óxidos de nitrógeno 'NO_x', dióxido de azufre 'SO_x' y amoníaco 'NH₃'); material particulado (PM) y la formación de ozono en la troposfera por la emisión de gases precursores del ozono (NO_x, metano 'CH₄', compuestos orgánicos volátiles 'COVs' y monóxido de carbono 'CO') (BIAP, 2012).

El principal determinante del nivel de emisiones de CO₂ es la cantidad de carbono en el combustible que se quema, la cantidad de CO₂ emitida por una cantidad determinada de gasolina o diesel es fijo y depende de la cantidad de carbono en el combustible. Medido por litro consumido, el diesel tiene un contenido de carbono alrededor del 18% más alto que el de la gasolina. Hoy día, el mercado no cuenta con ofertas sobre tecnologías para la reducción de las emisiones de carbono respecto a la cantidad de combustible utilizado (Parry, 2007). En el Cuadro 1. 8 se muestran los factores de emisión en gramos por kilómetro. La cantidad de emisiones de CO₂ que se emite al quemar diesel, tienen un mayor factor de emisión¹⁴ que el de la gasolina. Por cada litro de gasolina que se consume, el motor emite aproximadamente unos 2.32 kg de CO₂, lo que le permite recorrer en promedio 13 km, mientras que un litro de diesel consumido emite aproximadamente unos 2.61 kg de CO₂ para un recorrido de unos 16 km

¹⁴ El factor de emisión corresponde a la unidad de conversión para estimar emisiones a partir de datos de actividad. Se expresa en unidades de cantidad de emisiones por unidad de masa de la actividad o fuente generadora de GEI. El cálculo de las emisiones de CO₂ (factores de emisión) están basados en el contenido de carbono del combustible.

(IDEA, 2016). Por cada kilometro recorrido, los motores de gasolina y diesel emitieron en promedio 144 g/km y 135 g/km de CO₂, respectivamente (ANFAC, 2016). Un motor diesel actual necesita un 30% menos combustible y emite hasta un 25% menos CO₂ que un motor de gasolina equivalente. Sin embargo, cabe comentar que las diferencias en las emisiones entre vehículos diesel y de gasolina se han reducido sensiblemente en los últimos años. De esta manera, la quema gasolina en los vehículos emite más CO₂ que el diesel, no por su composición química, sino por la cantidad de litros que se consume (Sullivan, *et al.*, 2004). Actualmente, los vehículos diesel son la alternativa más eficiente en términos de rendimientos, aspecto que tiene especial relevancia en el transporte de mercancías. Sin embargo, continúa siendo percibido como una tecnología menos limpia.

Cuadro 1. 8**Contaminantes e impactos del consumo de carburantes: Vehículos a diesel y gasolina**

Gases contaminantes	Vehículos		Efectos en el medioambiente y salud
	Diesel	Gasolina	
CO ₂	2.612	2.321	El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero y una de las causas fundamentales del cambio climático inducido por el ser humano. Se desconoce exactamente los efectos en la salud, pero son numerosos los efectos sanitarios indirectos del cambio climático.
CH ₄	1.37	20.48	Contribuye de 10 a 20%, al calentamiento atmosférico, absorbe 20 a 30 veces más calor que el CO ₂ aunque sólo dura en la atmósfera 10 años, mientras que el CO ₂ permanece 100 años.
N ₂ O	21.86	45.47	Reacciona con el agua de la atmósfera para formar ácido nítrico, precipitando en forma de lluvia ácida y daña los árboles y lagos, causando problemas de crecimiento y clorosis en la vegetación. Genera problemas respiratorios.
CFC			Gases que contribuyen al efecto invernadero y reducen la capa de ozono estratosférica que protege la Tierra.
CO	2.467	71.417	La exposición a niveles muy altos de CO durante períodos prolongados ocasiona daños a la vida vegetal. Reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, genera muerte repentina por asfixia, disminución de la capacidad de aprendizaje, la somnolencia, trastornos del sueño, mayor riesgo de ataques cardíacos incluso desencadenantes de muerte súbita.
NO _x	9.600	7.361	Contribuye a la formación de la lluvia ácida, que puede causar graves daños a la vegetación, los ecosistemas terrestres y acuáticos. Tanto el NO como el NO ₂ intervienen en el agotamiento de la capa de ozono estratosférico. Los NO _x producen irritación respiratoria, dolor de cabeza, enfisema pulmonar, edema pulmonar, irritación de los ojos, pérdida del apetito y corrosión dentaria.
PM	0.815	0.025	Las PM influyen en la temperatura atmosférica por su capacidad de absorber o emitir radiación, alteran la

			cubierta nubosa, y sirven de medio para reacciones químicas. En cuestiones de salud, ocasionan morbilidad respiratoria y deficiencia de las funciones pulmonares.
SOX			El dióxido de azufre causa irritación de ojos, mucosas y piel. También. Provoca efectos sobre la vegetación que depende de la temperatura, humedad del suelo, la concentración y sinergia con otros contaminantes. El más preocupante es el efecto de los compuestos ácidos originados en su deposición húmeda y seca sobre las cubiertas vegetales y suelos.
VOCs	0.519	8.474	Los VOCs: HC contribuyen a la formación de contaminantes secundarios, como el ozono a nivel del suelo, al agotamiento del ozono estratosférico e indirectamente, a la formación de acidez atmosférica. El etileno, es una hormona vegetal que puede inhibir seriamente el crecimiento de las plantas. En términos de salud, provocan cáncer.

Fuente: Elaboración propia con base en Pérez (2010); Lipman y Delucchi (2011); Harding (2014); ANFAC (2016).

Notas: CO₂ en gramos emitidos por litro de combustible usado. El metano y el óxido nitroso se convierten en equivalentes de CO₂. Si la combustión de los motores fuese completa, las emisiones resultantes de la misma serían exclusivamente: nitrógeno (N₂), dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O) y oxígeno. Ahora bien, la combustión siempre es incompleta y, dependiendo de las condiciones de la combustión, del tamaño, tipo y antigüedad del motor, así como las características del combustible, en las emisiones emitidas a la atmósfera a través del tubo de escape se pueden localizar una cantidad de componentes nocivos. Debido a la combustión incompleta de los hidrocarburos en el combustible, se liberan pequeñas proporciones de carbono en forma de monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) o compuestos orgánicos volátiles (COVs), los cuales finalmente se oxidan en forma de CO₂ en la atmósfera. Además, los procesos de combustión producen emisiones de óxido nitroso (N₂O) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

La combustión de diesel y gasolina emite otros contaminantes que contribuyen a la contaminación del aire local, problemas de salud y mortalidad temprana. Los contaminantes más comunes asociados con los combustibles de transporte incluyen óxidos de nitrógeno, material partículas, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles y monóxido de carbono. El uso de combustible determina el nivel de emisiones de un automóvil para el caso de las emisiones de dióxido de carbono, y no dependen del diseño y tipo de motor del automóvil. En el caso de las emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO), estas no son proporcionales al uso de combustibles y dependen directamente del tamaño, tipo de motor del vehículo y el kilometraje por litro consumido. Por tanto, la reducción de gases contaminantes como el NO_x y las PM que no están directamente relacionados con la cantidad de combustible consumido puede realizarse en gran medida a través de las normas de emisión para los vehículos (OCDE, 2011). Entre las emisiones contaminantes emitidas por los motores destacan, por cantidad y toxicidad, el monóxido de carbono (CO) en los motores de

gasolina y las partículas sólidas en los motores Diesel. El proceso de dieselización ha agravado el impacto de los vehículos sobre el medio ambiente, las tasas de emisión del CO₂ (dióxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno) y PM (material particulado) son más altos en los vehículos diesel vis a vis los vehículos de gasolina. Un automóvil con motor diesel emite entre 9.6 gramos por litro de óxido de nitrógeno (NO_x) y entre 0.815 gramos por kilómetro de material particulado, mientras que un automóvil a gasolina emite alrededor de 7.3 gramos por kilómetro de óxido de nitrógeno y prácticamente no emite material particulado. Estos números llevan a que, en promedio el 50 % de las emisiones de automóviles a diesel sean equivalentes a un 70% de las emisiones de automóviles a gasolina, por lo que las externalidades por contaminación de ambos tipos de vehículos son muy diferentes. Las emisiones relativamente bajas en los vehículos de diesel son: CH₄, CO y VOCs. Existe evidencia que indica que una proporción creciente de vehículos diesel ha llevado al aumento de las concentraciones de PM₁₀, NO₂, CO y SO₂ (Narain y Krupnick, 2007). Las partículas finas (PM 2.5) son el contaminante que más preocupa por cuestiones de salud en algunos países de Europa y proceden en gran medida de los vehículos con motores diesel (Beleen, *et al.*, 2013).

I.5. Implicaciones de políticas públicas ambientales

El consumo energético del sector transporte procede fundamentalmente de los combustibles fósiles y está asociado con los principales externalidades negativas del transporte: Cambio climático, contaminación atmosférica y problemas de salud (Calthrop y Proost, 1998; Delucchi, 2000; Stanley, *et al.*, 2011). Estas externalidades pueden ser abordadas por políticas públicas encaminadas a reducir la demanda de gasolina o reducir la contaminación de los automóviles (Crawford y Smith, 1995; Hall, 1995; Parry, *et al.*, 2007; Santos, *et al.*, 2010; Proost y Van Dender, 2012; Small, 2012). Las medidas y mecanismo incluyen: Reasignación de los precios de los combustibles; incentivos financieros y fiscales; impuesto a los combustibles, kilometraje y peajes; impuestos vehiculares diferenciados; la optimización de los viajes; el aumento de transporte activo y el cambio de la distribución modal; la planificación conjunta de las infraestructuras de transporte y de los usos del suelo; la innovación tecnológica automotriz;¹⁵ el desarrollo de nuevos combustibles bajos en carbono;¹⁶ la adopción de combustibles renovables

¹⁵ Algunos estudios indican que la aplicación y el desarrollo tecnológico automotriz por sí sólo no será suficiente para alcanzar los niveles de emisión de GEI sostenibles en la evolución del transporte (Akerman y Hojer, 2006).

¹⁶ Se puede actuar sobre la calidad de los combustibles, mejorando su potencia, o introduciendo biocombustibles u otras fuentes energéticas, como los vehículos eléctricos o mixtos y pilas de hidrógeno.

o no fósiles y de modos de energía menos intensiva; la disminución de la intensidad energética; mejora de la eficiencia energética de los distintos modos de transporte, motores y combustibles (Advenier, *et al.*, 2002; Litman, 2005; Sterner, 2002, 2007; Moriarty y Honnery, 2008; Schipper, 2009). A pesar de que existen intervenciones para cambiar el comportamiento de la demanda de gasolinas en el sector transporte, y en especial para reducir el uso del automóvil, no está claro que algunas intervenciones sean eficaces para reducir el uso del coche, ni tampoco sobre el posible impacto en las emisiones de CO₂ (Graham, *et al.*, 2011).

En este contexto, en qué medida las diferentes políticas públicas pueden contribuir al control de la demanda de gasolinas y lograr los objetivos de reducción de emisiones de GEI. La revisión de los estudios revelan que los mayores beneficios en términos de reducciones de gases contaminantes se pueden lograr mediante una estrategia combinada, donde además del uso de incentivos económicos (*precios y cantidades*), se implementen medidas regulatorias, normas y estándares, de comando y control tales como los estándares de emisiones, limitaciones al tráfico vehicular, infraestructura de transporte público adecuada, sistemas eficientes de transporte público, mejoras en el rendimiento de los combustibles, combustibles más limpios, controles de contaminantes y progresos tecnológicos en la industria automotriz.

Por ejemplo, Eskeland (1994) concluye que la ejecución simultánea de un impuesto sobre la gasolina y de regulaciones de emisiones sobre los vehículos tendrá mejores resultados que la aplicación aislada de cualquiera de estas políticas. Por su parte, Innes (1996) sugiere la imposición de los carburantes a gasolina y la aplicación de normas de regulación sobre las características del vehículo que afectan las emisiones, como los rendimientos de los combustibles o la antigüedad del vehículo. Fullerton y West (2000) muestran que la combinación de un impuesto a la gasolina y un subsidio a los autos nuevos puede alcanzar mejores resultados que solo un impuesto sobre la gasolina.

De igual forma, algunos estudios concluyen que las mayores reducciones de CO₂ se logran a través de un paquete de políticas públicas (Fu y Kelly, 2012). También, algunos autores recomiendan medidas que actúan directamente sobre las decisiones de uso, por ejemplo con la combinación de impuesto sobre el vehículo y los combustibles (Sterner, 2002). En la práctica, el uso de un impuesto al combustible combinado con normas de eficiencia energética puede alcanzar mayores ventajas que la aplicación de cada componente por separado (Santos, 2010; Small, 2012; Proost y Van Dender, 2012). Los impuestos a la gasolina y estándares de eficiencia

de combustible son instrumentos de política pública potentes y eficientes para controlar el consumo de gasolina, cuando se aplican por separado. Aplicar normas de eficiencia cuando se tiene un impuesto, no necesariamente dará mejores resultados, sino que compensará la eficacia de los impuestos (Liu, 2015). Por ejemplo, Morrow, *et al.* (2010) encontraron que los incentivos para los *vehículos verdes* (créditos para la compra de vehículos a diesel o híbrido) eran mucho menos eficaces que los impuestos al combustible para controlar las emisiones de CO₂ futuras del consumo de combustible del sector transporte.

En relación con la regulación dirigida a mejorar la eficiencia de los automóviles, se debe mencionar la capacidad que parece tener los fabricantes para alterar los resultados de las mediciones oficiales de emisiones. Tal y como ya se ha mencionado, el Consejo Internacional Sobre Transporte Limpio (ICCT: *The International Council on Clean Transportation*) ha puesto de relieve en distintos informes que es posible alterar los resultados de las pruebas de emisiones de CO₂ –o su equivalente, consumo por kilómetro recorrido- preparando los vehículos para dichos tests (ICCT, 2015). Asimismo, el reciente caso de Volkswagen que ha reconocido que sus vehículos diesel incorporaban un mecanismo que permitía reducir las emisiones de gases contaminantes cuando se les sometía a los tests estándares.

Asimismo, un impuesto a los combustibles incentiva la compra de vehículos más pequeños o más eficientes en el uso de combustible y contribuye a reducir el consumo de combustible a través del uso del automóvil (West y Williams, 2004; Sterner, 2007). Los impuestos que promueven la compra de vehículos más económicos en combustible tenderá a aumentar el número de kilómetros recorridos, en lugar de la cantidad de combustibles (Sallee, 2010). Mientras que un instrumento de comando y control como una regulación en eficiencia energética o emisiones de CO₂, implica altos costos de monitoreo, pocos incentivos a disminuir el uso del vehículo ya que reduce el costo por kilómetro recorrido, compra en mayor proporción de vehículos más grandes y poco eficientes y posterga la renovación de un vehículo por el incremento en el precio de los vehículos nuevos (Thorpe, 1997; Stavins, 2005). Por lo tanto, qué características del vehículo o comportamiento del consumidor deberían ser el objetivo de los instrumentos de política pública.

Un impuesto “ideal” sería sobre las emisiones generadas de cada vehículo (Feng, *et al.*, 2005). La tasa impositiva variaría dependiendo de los niveles de emisión. Dado que existe una relación directa entre el contenido de carbono en los carburantes y las emisiones de CO₂ de un vehículo

dado, podría ser más efectiva ambientalmente. Por tanto, se debiera lograr que los consumidores diferencien por tipo de combustible, ya que las emisiones serían proporcionales al uso de combustible utilizado y determinaría el nivel de emisiones de un automóvil.

En este contexto, existen algunas decisiones relevantes. La primera, es el número de kilómetros recorridos, el tipo de combustible que utiliza el automóvil, es otra decisión, y por último, la elección de características del automóvil que afectan las emisiones directamente o indirectamente a través del kilometraje recorrido, la antigüedad, eficiencia y tamaño del motor de los vehículos. De hecho, se espera que el uso del automóvil en la UE-27 se incremente hasta 2030 en un 26%, lo que corresponde con un crecimiento promedio de 1.2% por año (Capros, *et al.*, 2008). También. Desafortunadamente, hoy día no existe tecnología que pueda medir las emisiones de cada vehículo. Existen medidas de largo plazo que contribuyen a reducir las emisiones de gases efectos invernadero y contribuyen al cuidado del medio ambiente. Por ejemplo, diseños de sistemas de transporte sustentables en ciudades que reduzcan el uso intensivo de vehículos individuales generadores de GEI. Por supuesto, también promover cambios en la conducta y las actitudes de los consumidores.

Finalmente, la revisión de la literatura internacional reconoce que se necesita de instrumentos de política eficientes para enfrentar disminuir los efectos del cambio climático ocasionados por el uso de combustibles en el transporte. Los instrumentos de política más eficientes en este caso son instrumentos basados en el mercado, como los impuestos al carbono. Una parte importante de las emisiones provienen del sector transporte y las políticas necesarias llevarían a subir el precio de los combustibles. Generalmente se requieren instrumentos de política pública rentables (*el objetivo se alcanza a más bajo costo posible*), viable (*fácil de administrar y supervisar*), de alta aceptabilidad, para cambiar patrones de consumo y para asegurar y alcanzar el objetivo lo antes posible. Una combinación de políticas públicas contribuye a cumplir de mejor forma el objetivo de reducción de emisiones contaminantes. El desafío es reconciliar las tensiones entre los deseos individuales y los intereses públicos. Los instrumentos de política ambiental se adoptan con el fin de influir en los estilos de vida y en el comportamiento para acelerar el proceso de reducción de emisiones de GEI.

I.5. Conclusiones

La importancia del sector transporte en el consumo de combustibles y su relación con las emisiones de GEI será fundamental para los impactos ambientales destacando las implicaciones de políticas públicas. La dependencia del petróleo como fuente de energía para el transporte produce condiciones cada vez más desfavorables sobre la sociedad y el medio ambiente. El sector transporte es en la actualidad, uno de los mayores impulsores de emisiones de CO₂ y representa el sector más importante de cara al desarrollo de políticas encaminadas a la reducción de emisiones contaminantes. Comprender la sensibilidad de la demanda de combustibles a las variaciones en los precios, cambios en los ingresos y otros determinantes tiene importantes implicaciones para las políticas relacionadas con el cambio climático y la seguridad energética.

La reducción de emisiones contaminantes y el mantenimiento del bienestar de las sociedades requieren un delicado equilibrio entre políticas que, muchas veces, tienen efectos contrarios. En el caso del CO₂, esta cuestión es esencial porque estas emisiones dependen del consumo de combustibles fósiles. Las políticas encaminadas a la reducción de emisiones pueden contraponerse con los objetivos de desarrollo y crecimiento de la sociedad. Esto indica que es necesario instrumentar una estrategia que incluya medidas sustanciales para separar el crecimiento económico de las emisiones contaminantes.

La literatura muestra que la demanda de gasolinas es cada vez más inelástica con respecto al precio, esto es, que los consumidores se han vuelto mucho menos sensible a los cambios de precio de la gasolina. Este documento proporciona una extensa revisión de estimaciones sobre los determinantes de la demanda de gasolina más actuales que incluyen una amplia gama de metodologías, incluyendo enfoques y técnicas econométricos. De igual forma provee distintas políticas públicas ambientales y de transporte que favorezcan un consumo óptimo de gasolinas y con ello menos emisiones de CO₂. La aplicación de estas políticas requiere una mejor comprensión de cómo la demanda de combustibles evoluciona con el nivel de desarrollo, los ingresos y los precios.

El nivel de emisiones de gases contaminantes producida por un automóvil está determinado por el comportamiento del conductor a través de la elección del vehículo, el tipo de combustibles, eficiencia de los combustibles y los kilómetros recorridos por vehículo.

El comportamiento del conductor puede influir en la demanda de combustibles de sus vehículos, mediante el estilo de conducción, planificación del viaje. Intuitivamente, dos vehículos

idénticos pueden tener diferentes tasas de consumo de combustible y producirán diferentes cantidades de emisiones por kilómetro recorrido si uno es impulsado en la ciudad y el otro en carretera, si uno se utiliza para los desplazamientos de corta distancia y el otro en viajes de larga distancia. Los contaminantes del aire, incluyendo monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC) y partículas (PM), se ha demostrado que tienen efectos adversos a nivel local. Las emisiones de CO₂, contribuyen de manera significativa al cambio climático, aunque hay un debate sobre sus efectos y las respuestas políticas. El combustible se quema en los vehículos de motor produce todas estas emisiones, por lo que puede considerarse como resultado costo social y medioambiental.

Este capítulo resume la extensa investigación los determinantes de la demanda de combustibles y sus principales implicaciones sobre políticas públicas instrumentadas para el cuidado del medio ambiente. Existe una gran variación en las estimaciones de la elasticidad entre los estudios. Una de las fuentes de esta variación es metodología utilizada. En la literatura, existe diversidad de enfoques para la estimación de la demanda de gasolinas, desde el análisis de agregación hasta el análisis con datos individuales, con estimaciones de corto y de largo plazo. La reducción del consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero depende de manera crucial de la respuesta de los consumidores a las variaciones de las determinantes de la demanda de gasolina, pero en especial de la elasticidad precio. La estimación de la elasticidad de precios en la literatura varía en función de los datos y el método utilizado. El consenso general de estos estudios es que la demanda de gasolina es bastante inelástica a los precios. Por lo tanto, sin una tasa impositiva suficientemente alta, la modificación y reducción significativa de los patrones de consumo de los combustibles a través de impuestos sería difícil.

En este sentido, mientras se espera que los incentivos económicos pueden seguir siendo la columna vertebral de los esfuerzos de control y reducción del consumo de combustibles, se espera que la combinación con medidas de regulación, incluyendo las mejoras en la tecnología, una mejor eficiencia energética y baja emisión de carbono de los combustibles, un mejor rendimiento de los vehículos (tamaño, peso y/o potencia), aprovechamiento del uso del automóvil y un estilo de conducción eficiente, y medidas que influyan en un menor número de kilómetros recorridos, jueguen un papel aún más importante en el futuro de lo que lo hacen hoy.

Referencias

- Advenier, P., P. Boisson, C. Delarue, A. Douaud, C. Girard y M. Legendre (2002) “Energy efficiency and CO₂ emissions of road transportation: comparative analysis of technologies and fuels”, *Energy and Environment*, 13(4-5), 631-646.
- Agostini, C. A. y J. Jiménez (2015) “The distributional incidence of the gasoline tax in Chile”, *Energy Policy*, 85, 243-252.
- Al Dossary, N., S. Aramco y C. A. Dahl (2009) “Is Global Gasoline Demand Still as Responsive to Price?”. Working Paper En Conference Paper, 21-24.
- Aldy, J. E. y R. N. Stavins (2012) “The promise and problems of pricing carbon theory and experience”, *The Journal of Environment and Development*, 21(2), 152-180.
- Al-Faris, A. R. F. (1997) “Demand for oil products in the GCC countries”, *Energy Policy*, 25(1), 55-61.
- Alves, D. y R. Bueno (2003), “Short-Run, Long-Run and Cross Elasticities of Gasoline Demand in Brazil”, *Energy Economics*, 25(2), 191-199.
- Anas, A. y T. Hiramatsu (2012) “The effect of the price of gasoline on the urban economy: From route choice to general equilibrium”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(6), 855-873.
- Anton, A. y F. Hernández (2014) “Optimal gasoline tax in developing, oil-producing countries: The case of Mexico”, *Energy Policy*, 67, 564-571
- Baltagi, B. H. y J. M. Griffin (1983), “Gasoline demand in the OECD: An Application of Pooling and Testing Procedures”, *European Economic Review*, 22 (2), 117-137.
- Baltagi, B. H. y J. M. Griffin (1997) “Pooled estimators vs. their heterogeneous counterparts in the context of dynamic demand for gasoline”, *Journal of Econometrics*, 77(2), 303-327.
- Baltagi, B. H., G. Bresson, J. M. Griffin y A. Pirotte (2003) “Homogeneous, heterogeneous or shrinkage estimators? Some empirical evidence from French regional gasoline consumption”, *Empirical Economics*, 28(4), 795-811.
- Baranzini, A., y S. Carattini (2014) “*Taxation of emissions of greenhouse gases*”. Springer Netherlands.
- Barde, J. P. y N. A. Braathen (2005) “Environmentally related taxes”. En: S. Cnossen (ed.), *Theory and practice of excise taxation: Smoking, drinking, gambling, polluting, and driving*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Bashmakov, I., et al. (2001) “Policies, Measures, and Instruments”. En: B. Metz, et al. (ed.), *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A.
- Basso, J. L. y T. H. Oum (2007) “Automobile fuel demand: A critical assessment of empirical methodologies”, *Transport Reviews*, 27(4), 449-484.
- Bento, A. M., H. L. Goulder, R. M. Jacobsen y H. R. Von Haefen (2009) “Distributional and efficiency impacts of increased US gasoline taxes”, *The American Economic Review*, 99(3), 667-699.
- Bento, M. A., L. H. Goulder, E. Henry, M. R. Jacobsen y R. H. von Haefen (2005) “Distributional and efficiency impacts of gasoline taxes: An econometrically based multi-market study”, *American Economic Review*, 95(2), 282-287
- Bentzen, J. (1994), “An Empirical Analysis of Gasoline Demand in Denmark Using Cointegration Techniques”, *Energy Economics*, 16 (2), pp. 139-143.
- Blackman, A., R. Osakwe y F. Alpizar (2010) “Fuel tax incidence in developing countries: The case of Costa Rica”, *Energy Policy*, 38(5), 2208-2215.
- Blair, R. D., D. L. Kaserman y R. C. Teipel (1984) “The impact of improved mileage on gasoline consumption”, *Economic Inquiry*, 22(2), 209-217.

- Blum, C. H. U., G. Foos y M. J. I. Gaudry (1988) "Aggregate time series gasoline demand models: Review of the literature and new evidence for West Germany", *Transportation Research Part A: General*, 22(2), 75-88.
- Borenstein, M., L. V. Hedges, J. P. T. Higgins y H. R. Rothstein (2009) "Introduction to Meta-Analysis", John Wiley and Sons, Ltd., Publication.
- Bonilla, D. (2009) "Fuel demand on UK roads and dieselisation of fuel economy", *Energy Policy*, 37(10), 3769-3778.
- Boshoff, H. W. (2012) "Petrol, diesel fuel and jet fuel demand in South Africa: 1998-2009", *Journal for Studies in Economics and Econometrics*, 36(1), 43-78.
- Cames, M. y E. Helmers (2013) "Critical evaluation of the European diesel car boom-global comparison, environmental effects and various national strategies", *Environmental Sciences Europe*, 25(1), 1-22.
- Capros, P., L. Mantzos, V. Papandreou y N. Tasios (2008) "European energy and transport-trends to 2030-update 2007". European Commission, Brussels
- Chapman, L. (2007) "Transport and climate change: A review", *Journal of Transport Geography*, 15(5), 354-367.
- Cheung, K. y E. Thomson (2004) "The Demand for Gasoline in China: A Cointegration Analysis", *Journal of Applied Statistics*, 31(5), 533-544.
- Chiroleu, A. M. y M. Fodha (2014) "From regressive pollution taxes to progressive environmental tax reforms", *European Economic Review*, 69, 126-142.
- Comeau, J. y D. Chapman (2002) "Gasoline taxes, CAFE and the Kyoto Protocol", *Ecological Economics*, 40(3), 317-320.
- Crawford, I. y S. Smith (1995) "Fiscal instruments for air pollution abatement in road transport", *Journal of Transport Economics and Policy*, 29(1), 33-51.
- Crotte, A., R. B. Noland y D. J. Graham (2009), "Estimation of Road Traffic Demand Elasticities for Mexico City, Mexico", *Journal of the Transportation Research Board*, 2134(1), 99-105.
- Crotte, A., R. B. Noland y D. J. Graham (2010) "An analysis of gasoline demand elasticities at the national and local levels in Mexico", *Energy Policy*, 38(8), 4445-4456.
- Dahl, C. (1995) "Demand for transportation fuels: A survey of demand elasticities and their components", *The Journal of Energy Literature*, 1(2), 3-27
- Dahl, C. y Kartubi (2001) "Estimating oil product demand in indonesia using a cointegrating error correction model", *OPEC Review*, 25(1), 1-25.
- Dahl, C. y T. Sterner (1991a) "A survey of econometric gasoline demand elasticities", *International Journal of Energy Systems*, 11(2), 53-76.
- Dahl, C. y T. Sterner (1991b) "Analysing gasoline demand elasticities: A survey", *Energy Economics*, 13(3), 203-210.
- Davis, L. W. y L. Kilian (2011) "Estimating the effect of a gasoline tax on carbon emissions", *Journal of Applied Econometrics*, 26(7), 1187-1214.
- De Borger, B. e I. Mayeres (2007) "Optimal taxation of car ownership, car use and public transport: insights derived from a discrete choice numerical optimization model", *European Economic Review*, 51(5), 1177-1204.
- De Jong, G. (1990) "An indirect utility model of car ownership and private car use", *European Economic Review*, 34(5), 971-985.
- De Jong, G., J. Fox, A. Daly, M. Pieters y R. Smit (2004) "Comparison of car ownership models", *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 24(4), 379-408.
- Decker, C. S., y M. E. Wohar (2007) "Determinants of state diesel fuel excise tax rates: The political economy of fuel taxation in the United States", *The Annals of Regional Science*, 41(1), 171-188.

- Ekins, P. (1999) "European environmental taxes and charges: Recent experience, issues and trends", *Ecological Economics*, 31(1), 39-62.
- Eskeland, G. S. (1994) "A presumptive Pigovian tax on gasoline: complementing regulation to mimic an emission fee", *World Bank Economic Review*, 8(3), 373-394.
- Espey, M. (1998) "Gasoline demand revisited: An international meta-analysis of elasticities", *Energy Economics*, 20(3), 273-295.
- European Environment Agency (EEA, 1996) "*Environmental taxes implementation and environmental effectiveness*". Environmental Issues Series No. 1. Luxembourg.
- Feng, Y., D. Fullerton y L. Gan (2013) "Vehicle choices, miles driven, and pollution policies", *Journal of Regulatory Economics*, 44(1), 4-29.
- Franzen, M. y T. Sterner (1995) "Long-run Demand Elasticities for Gasoline". En: T. Barker, N. Johnstone y Paul Ekins (eds.), *Global Warming and Energy Elasticities*, Routledge, London.
- Fu, M., y J. A. Kelly (2012) "Carbon related taxation policies for road transport: Efficacy of ownership and usage taxes, and the role of public transport and motorist cost perception on policy outcomes", *Transport Policy*, 22, 57-69.
- Gago, A. y X. Labandeira (1999) "*Impuestos ambientales y reforma fiscal verde*". Editorial Mundi-Prensa, Madrid.
- Glaeser, E. L. y M. E. Kahn (2010) "The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development", *Journal of urban economics*, 67(3), 404-418.
- González, G. R., Lorenzo, M. R., y G. A. Marrero (2012) "A dynamic model for road gasoline and diesel consumption: an application for Spanish regions", *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(4), 201-209.
- Goodwin, P. B. (1992) "A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects on price changes", *Journal of transport economics and policy*, 25(2), 155-169.
- Goodwin, P., J. Dargay y M. Hanly (2004) "Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A review", *Transport Reviews*, 24(3), 275-292.
- Grabowski, D. C. y M. A. Morrisey "Do higher gasoline taxes save lives?", *Economics Letters*, 90(1), 51-55.
- Graham, D. y S. Glaister (2002) "The demand for automobile fuel a survey of elasticities", *Journal of Transport Economics and Policy*, 36(1), 1-26.
- Graham, R., E., S. Skippon, B. Gardner, C. Abrahamd (2011) "Can we reduce car use and, if so, how? A review of available evidence", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(5), 401-418.
- Greene, W. (2003) "*Econometrics analysis*", New Jersey: Prentice Hall.
- Hall, J. (1995) "The role of transport control measures in jointly reducing congestion and air pollution", *Journal of Transport Economics and Policy*, 29(1), 93-103.
- Hammar, H., A. Löfgren y T. Sterner (2004) "Political economy obstacles to fuel taxation", *The Energy Journal*, 25(3)1-17.
- Harding, M. (2014) "The diesel differential: Differences in the tax treatment of gasoline and diesel for road use", OECD Taxation Working Papers, No. 21, OECD Publishing.
- Hartung, J., G. Knapp y B. K. Sinha (2008) "*Statistical Meta-Analysis with Applications*", Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Haughton, J. y S. Sarkar (1996) "Gasoline tax as a corrective tax: estimates for the United States 1970-1991", *Energy Journal*, 17(2), 103-126.
- Hayashi, Y., H. Kato y R. V. Teodoro (2001) "A model system for the assessment of the effects of car and fuel green taxes on CO2 emissions", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6(2), 123-139.

- Hirte, G. y S. Tscharaktschiew (2015) “Optimal fuel taxes and heterogeneity of cities”, *Review of Regional Research*, 35(2), 1-37.
- Hsing, Y. (1994) “Estimating the impact of the higher fuel tax on U.S. gasoline consumption and policy implications”, *Applied Economics Letters*, 1(1), 4-7.
- Hughes, J., C. R. Knittel y D. Sperling (2008) “Evidence of a shift in the short-run price elasticity of gasoline demand”, *The Energy Journal*, 29 (2008), 113-134.
- IEA (2014) “CO₂ Emissions from Fuel Combustion”. IEA Statistics.
- IEA (International Energy Agency, 2013) “Oil information”. IEA Statistics.
- INECC-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015) “Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. INECC/Semarnat, México.
- Innes, R. (1996) “Regulating automobile pollution under certainty, competition, and imperfect information”. *Journal of Environmental Economics and Management*, 31(2), 219-239.
- Jacobson, H. K., K. Birr-Pedersen y M. Wier (2003) “Distributional implications of environmental taxation in Denmark”, *Fiscal Studies*, 24(4), 477-499
- Jiang, A. y S. Shao (2014) “Distributional effects of a carbon tax on Chinese households: A case of Shanghai”, *Energy Policy*, 73, 269-277.
- Kim, Y. D., H. O. Han e Y. S. Moon (2011) “The empirical effects of a gasoline tax on CO₂ emissions reductions from transportation sector in Korea”, *Energy Policy*, 39(2), 981-989.
- Knittel, R. C. (2012) “Reducing Petroleum Consumption from Transportation”, *Journal of Economic Perspectives*, 26(1), 93-118.
- Li, S., J. Linn, E. Muehlegger (2014) “Gasoline taxes and consumer behavior”, *American Economic Journal: Economic Policy*, 6(4), 302-342.
- Li, Z., J. M. Rose y D. A. Hensher (2010) “Forecasting automobile petrol demand in Australia: an evaluation of empirical models”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(1), 16-38.
- Liddle, B. (2009) “Long-run relationship among transport demand, income, and gasoline price for the US”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(2), 73-82.
- Lin, C. C. Y. y J. Zeng (2013) “The elasticity of demand for gasoline in China”, *Energy Policy*, 59, 189-197.
- Lin, C. C. Y. y L. Prince (2013) “Gasoline price volatility and the elasticity of demand for gasoline”, *Energy Economics*, 38, 111-117.
- Lin, C. Y. C. y J. Zeng (2014) “The Optimal Gasoline Tax for China”, *Theoretical Economics Letters*, 4(4), 700-708.
- Lin, C. Y. C. y L. Prince (2009) “The optimal gas tax for California”, *Energy Policy*, 37(12), 5173-5183.
- Mayeres, I. y S. Proost (2013) “The taxation of diesel cars in Belgium: Revisited”, *Energy Policy*, 54, 33-41.
- McMullen, B. S., L. Zhang y K. Nakahara (2010) “Distributional impacts of changing from a gasoline tax to a vehicle-mile tax for light vehicles: A case study of Oregon”, *Transport Policy*, 17(6), 359-366.
- Melo, C. P. y A. R. Ramli (2014) “Estimating fuel demand elasticities to evaluate CO₂ emissions: Panel data evidence for the Lisbon Metropolitan Area”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 67, 30-46.
- Morrow, W.R., K. S. Gallagher, G. Collantes y H. Lee (2010) “Analysis of policies to reduce oil consumption and greenhouse-gas emissions from the U.S. transportation sector”, *Energy Policy*, 38(3), 1305-1320.
- Muthukrishnan, S. (2010) “Vehicle ownership and usage charges”, *Transport Policy*, 17(6) (2010), 398-408.

- Newman, P. y J. Kenworthy (2011) "Evaluating the transport sector's contribution to greenhouse gas emissions and energy consumption". En: R. Salter, S. Dhar y P. Newman (eds), *Technologies for Climate Change Mitigation - Transport Sector*. Denmark: UNEP Riso Centre on Energy, Climate and Sustainable.
- Newman, P. y J. Kenworthy. (2011) "Evaluating the transport sector's contribution to greenhouse gas emissions and energy consumption". En: R. Salter, S. Dhar y P. Newman (eds.), *Technologies for Climate Change Mitigation - Transport Sector*. Denmark: UNEP Riso Centre on Energy, Climate and Sustainable.
- OECD (2010), "Taxation, environment and innovation". OECD Publication Services, Paris-France.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 1997), "Environmental taxes and Green Tax Reform". OECD Publication Services, Paris-France.
- Pandey, R. (2004) "Economic policy instruments for controlling vehicular air pollution", *Environment and Development Economics*, 9, 47-59.
- Parry, I. W. H. (2011) "How much should highway fuels be taxed?" In: G. E. Metcalf (ed), *U.S. Energy Tax Policy*. Cambridge University Press.
- Parry, I. W. H. y J. Strand (2012) "International fuel tax assessment: An application to Chile", *Environment and Development Economics* 17(2), 127-144.
- Parry, I. W. H. y K. A. Small (2005) "Does Britain or the United States have the right gasoline tax?", *American Economic Review*, 95(4), 1276-1289.
- Parry, I. W. H. y R. G. Timilsina (2010) "How should passenger travel in Mexico City be priced?", *Journal of Urban Economics*, 68(2), 167-182.
- Parry, I. W. H., M. Walls y W. Harrington (2007) "Automobile externalities and policies", *Journal of Economic Literature*, 45(2), 373-399.
- Pock, M. (2010) "Gasoline demand in Europe: New insights." *Energy Economics*, 32(1), 54-62.
- Polemis, M. L. (2006), "Empirical assessment of the determinants of road energy demand in Greece", *Energy Economics*, 28 (3), 385-403.
- Proost, S. y K. Van Dender (2012) "Energy and environment challenges in the transport sector", *Economics of Transportation*, 1(1-2), 77-87.
- Rajeev, G. y M. Nelson (1999) "The political economy of motor fuel taxation", *The Energy Journal*, 20(1), 43-59.
- Richter, W. (2006) "Efficiency effects of tax deductions for work-related expenses", *International Tax and Public Finance*, 13(6), 685-699.
- Rivers, N. y B. Schaufele (2015) "Salience of carbon taxes in the gasoline market", *Journal of Environmental Economics and Management*, 74, 23-36.
- Sallee, M. J. (2011) "The taxation of fuel economy", *Tax Policy and the Economy*, 25(1), 1-38.
- Samimi, R. (1995) "Road transport energy demand in Australia: A cointegration approach", *Energy Economics*, 17(4), 329-339.
- Santos, G. y T. Catchsides (2005) "Distributional Consequences of Gasoline Taxation in the United Kingdom", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1924, 103-111.
- Santos, G., H. Behrendt y A. Teytelboym (2010) "Part II: Policy instruments for sustainable road transport", *Research in Transportation Economics*, 28(1), 46-91.
- Santos, G., H. Behrendt, L. Maconi, T. Shirvani y A. Teytelboym (2010) "Part I: Externalities and economic policies in road transport", *Research in Transportation Economics*, 28(1), 2-45.
- Santos, G., H. Behrendt, L. Maconi, T. Shirvani y A. Teytelboym (2010) "Part I: Externalities and economic policies in road transport", *Research in Transportation Economics*, 28(1), 2-45.

- Shipper, L., M. Figueroa, M. Espey y L. Price (1993) "Mind the gap: The vicious circle of measuring automobile fuel use", *Energy Policy*, 21(12), 1173-1190.
- Sipes, K. N. y R. Mendelsohn (2001) "The effectiveness of gasoline taxation to manage air pollution", *Ecological Economics*, 36, 299-309.
- Small, K. A. (2012) "Energy policies for passenger motor vehicles", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(6), 874-889.
- Spiller, E., H. Stephens, C. Timmins y A. Smith (2014) "The effect of gasoline taxes and public transit investments on driving patterns", *Environmental and Resource Economics*, 59(4), 633-657.
- Stanley, K. J., D. A. Hensher y C Loader (2011) "Road transport and climate change: Stepping off the greenhouse gas", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(10), 1020-1030.
- Stavins, R (2005) "Vintage differentiated environmental regulation", *Stanford Environmental Law Journal*, 25(29), 29-63.
- Stelling, P. (2014) "Policy instruments for reducing CO₂-emissions from the Swedish freight transport sector", *Research in Transportation Business & Management*, 12(1), 47-54.
- Stern, T. (2002) "Policy instruments for environmental and natural resources management". RFF Press (Resources for the Future).
- Stern, T. (2007) "Fuel taxes: An important instrument for climate policy", *Energy Policy*, 35(6), 3194-3202.
- Stern, T. (2012) "Fuel taxes and the poor: The distributional effects of gasoline taxation and their implications for climate policy". RFF Press (Resources for the Future).
- Stern, T. y C. Dahl (1992) "Modelling transport fuel demand". En: Thomas Stern (ed.), *International Energy Modelling*. Chapman and Hall, London.
- Solaymani, S., R. Kardooni, S. B. Yusoff y F. Kari (2015) "The impacts of climate change policies on the transportation sector", *Energy*, 81, 719-728.
- Thorpe, S. G. (1997), "Fuel economy standards, new vehicles sales and average fuel efficiency", *Journal of Regulatory Economics*, 11(3), 311-326.
- Timilsina, G. R. y B. H. Dulal (2008) "Fiscal policy instruments for reducing congestion and atmospheric emissions in the transport sector: A Review". Policy Research Working Paper; No. 4652. World Bank, Washington, DC.
- Tscharaktschiew, S. (2014) "Shedding light on the appropriateness of the (high) gasoline tax level in Germany", *Economics of Transportation*, 3(3), 189-210.
- Virley, S. (1993) "The effect of fuel price increases on road transport CO₂ emissions", *Transport Policy*, 1(1), 43-48.
- Virley, S. (1993) "The effect of fuel price increases on road transport CO₂ emissions", *Transport Policy*, 1(1), 43-48.
- West, S. (2004) "Distributional effects of alternative vehicle pollution control policies", *Journal of Public Economics*, 88, 735-757.
- West, S. E. y R. C. Williams III (2004) "Empirical Estimates for Environmental Policy Making in a Second-Best Setting", *Journal Applied Economics*, 1(2), 279-328.
- West, S. E. y R. C. Williams III (2007) "Optimal taxation and cross-price effects on labor supply: Estimates of the optimal gas tax", *Journal of Public Economics*, 91(3-4), 593-617.
- Wood, J. (2016) "Is it time to raise the gas tax? Optimal gasoline taxes for Ontario and Toronto", *Canadian Public Policy*, 41(3), 179-190.

Referencias sobre estudios de series de tiempo

- Ackah, I. y F. Adu (2014) "Modelling Gasoline Demand in Ghana: A Structural Time Series Approach", *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4(1), 76-82.

- Ahmadian, M., Chitnis, M., & Hunt, L. C. (2007). Gasoline demand, pricing policy and social welfare in the Islamic Republic of Iran. *Opec Review*, 31(2), 105-124.
- Akinboade, O. A., E. Ziramba y W. L. Kumo (2008) "The demand for gasoline in South Africa: An empirical analysis using co-integration techniques", *Energy Economics*, 30, 3222-3229.
- Al-Mansoori, M., A. Basarir S. Sherif (2012) "Demand for Gasoline in United Arab Emirates". International Conference on Applied Life Sciences (ICALS2012).
- Al-Sahlawi, M. A. (1997) "The demand for oil products in Saudi Arabia", *OPEC Review*. 21(1), 33-38.
- Alves, D. y R. Bueno (2003), "Short-Run, Long-Run and Cross Elasticities of Gasoline Demand in Brazil", *Energy Economics*, 25(2), 191-199.
- Agrawal, P. (2015) "India's petroleum demand: estimations and projections", *Applied Economics*, 47(12), 1199-1212.
- Amengual, D. y G. Cubas (2002) "Imposición óptima a las naftas y el gasoil: Un análisis empírico para Uruguay (1988-2001)". Documento de trabajo.
- Badr, E. A., G. E. Nasr y G. L. Dibeh (2008) "Econometric modeling of gasoline consumption: A cointegration analysis", *Energy sources*, 3(3), 305-313.
- Banaszak, S., U. Chakravorty y P. Leung (1999) "Demand for ground transportation fuel and pricing policy in Asian Tigers: A comparative study of Korea and Taiwan", *The Energy Journal*, 20(2), 145-165.
- Baranzini, A. y S. Weber (2013) "Elasticities of gasoline demand in Switzerland", *Energy Policy*, 63, 674-680.
- Barla, P., M. Gilbert-Gonthier, J. R. Tagne (2014) "The demand for road diesel in Canada", *Energy Economics*, 43, 316-322.
- Bhattacharyya, S. C. A. Blake (2009) "Domestic demand for petroleum products in MENA countries", *Energy Policy*, 37(4), 1552-1560.
- Belhaj, M. (2002) "Vehicle and fuel demand in Morocco", *Energy Policy*, 30(13), 1163-1171.
- Ben, S. B., W. Marrouch y S. Abosedra (2012) "Short-run price and income elasticity of gasoline demand: Evidence from Lebanon", *Energy Policy*, 46, 109-115.
- Bentzen, J. (1994) "An empirical analysis of gasoline demand in Denmark using cointegration techniques", *Energy Economics*, 16(2), 139-143.
- Berndt, E. R., y G. Botero (1985), "Energy demand in the transportation sector of Mexico", *Journal of Development Economics*, 17(3), 219-238.
- Birol, F. y N. Guerer (1993). Modelling the transport sector fuel demand for developing economies, *Energy policy*, 21(12), 1163-1172.
- Boshoff, W. H. (2012) "Gasoline, diesel fuel and jet fuel demand in South Africa", *Journal for Studies in Economics and Econometrics*, 36(1), 43-78.
- Breunig, R. V. (2011) Should single-equation dynamic gasoline demand models include moving average terms?, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(6), 474-477.
- Breunig, R. V. y C. Gisz (2009) "An exploration of Australian petrol demand: Unobservable habits, irreversibility and some updated estimates", *The Economic Record*, 85(268), 73-91.
- Broadstock, D. C. y L. C. Hunt (2010) "Quantifying the impact of exogenous non-economic factors on UK transport oil demand", *Energy Policy*, 38(3), 1559-1565.
- Broadstock, D. C. y E. Papatthanasopoulou (2015) "Gasoline demand in Greece: the importance of shifts in the underlying energy demand trend", *International Journal of Sustainable Transportation*, 9(4), 310-319.
- Burnquist, H.L. y M. R. P. Bacchi (2002) "A demanda por gasolina no Brasil: Uma análise utilizando técnicas de co-integração". CEPEA, Discussion Paper. www.cepea.esalq.usp.br/pdf/DemandaGasolina.pdf.

- Caballero, K. (2012) “*Finanzas públicas y cambio climático en México*”. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), México.
- Chandrasiri, S. (2006) “Demand for Road-Fuel in a Small Developing Economy: The Case of Sri Lanka”, *Energy Policy*, 34(14), 1833-1840.
- Cheung, K. y E. Thomson (2004) “The demand for gasoline in China: A Cointegration Analysis”, *Journal of Applied Statistics*, 31(5), 533-544.
- Crotte, A., R. B. Noland y D. J. Graham (2010) “An analysis of gasoline demand elasticities at the national and local levels in Mexico”, *Energy Policy*, 38(8): 4445-4456.
- Dahl, C. A. y Kurtubi (2001), “Estimating oil product demand in Indonesia using a cointegrating error correction model”, *OPEC Review*, 25(1), 1-25.
- De Alba, E. y R. Samaniego (1985) “Estimación de la demanda de gasolinas y diesel y el impacto de sus precios sobre los ingresos del sector público”. Serie documentos de trabajo, No. 8. Centro de Estudios Económicos.
- De Vita, G., K. Endresen y L. C. Hunt (2006) “An empirical analysis of energy demand in Namibia”, *Energy Policy*, 34(18), 3447-3463.
- Dimitropoulos, J., L. C. Hunt y G. Judge (2005) “Estimating underlying energy demand trends using UK annual data”, *Applied Economics Letters*, 12(4), 239-244.
- Eltony, M. N. y N. H. Al-Mutairi (1995) “Demand for gasoline in Kuwait: an empirical analysis using co integration techniques”, *Energy Economics*, 17(3), 249-253.
- Ferrer, J. y R. Escalante (2014) “Demanda de gasolina en la zona metropolitana del Valle de México: análisis empírico de la reducción del subsidio”, *Revista de Economía del Rosario*, 17(1), 89-117.
- Fullerton, T. M., J. Ibarra y M. (2015) “Microeconomic gasoline consumption anomalies in Mexico: 1997-2007”, *Asian Economic and Financial Review*, 5(4), 709-722
- Galindo, L. M. (2005) “Short- and Long Run Demand for Energy in Mexico: A cointegration approach”, *Energy Policy*, 33(9), 1179-1185.
- Galindo, L. M. (2008) “Estudio sobre la instrumentación de medidas de eficiencia energética y uso de biocombustibles en el sector transporte y su impacto en la calidad del aire en México”. Facultad de Economía-UNAM/INE-SEMARNAT.
- Galindo, L. y E. Salinas (1996) “La demanda de gasolina y los instrumentos económicos en México”, *Gaceta Ecológica*, 41, 61-68.
- Galindo, L. y E. Salinas (1997) “La demanda de gasolinas en México: La condición de exogeneidad y el comportamiento de los agentes económicos”. En: INE-SEMARNAT (eds) *Instrumentos económicos y medio ambiente*. México.
- Garbacz, C. (1989) “Gasoline, diesel and motorfuel demand in Taiwan”, *The Energy Journal*, 10(2), 153-163.
- Greene D y Chen C-K (1983) “A time series analysis of state gasoline demand, 1975-1980”, *Professional geographer*, 35(1), 40-51.
- Hunt, L. C e Y. Ninomiya (2003) “Unravelling Trends and Seasonality: A structural times series analysis of transport oil demand in the UK and Japan”, *The Energy Journal*, 24(3), 63-96.
- Hunt, L. C., C. Salgado y A. Thrope (1999) “The policy of power and power of policy in Honduras”, *Journal of Energy and Development*, 25(1), 1-36.
- Iooty, M., H. Pinto y F. Ebeling (2009) “Automotive fuel consumption in Brazil: Applying static and dynamic systems of demand equations”, *Energy Policy*, 37(12), 5326-5333.
- Iwayemi, A., A. Adenikinju y A. Babatunde (2010) “Estimating petroleum products demand elasticities in Nigeria: A multivariate cointegration approach”, *Energy Economics*, 32(1) 73-85.
- Karimu, A. (2014) “Impact of economic and non-economic factors on gasoline demand: a varying parameter model for Sweden and the UK”, *OPEC Energy Review*, 38(4), pages 445–468, December 2014

- Lim, K. M., M. Kim, C. S. Kim y S. H. Yoo (2012) “Short-Run and Long-Run Elasticities of Diesel Demand in Korea”, *Energies*, 5(12), 5055-5064
- Lin, B. y C. Xie (2013) “Estimation on oil demand and oil saving potential of China's road transport sector”, *Energy Policy*, 61, 472-482.
- Lin, L. C. y L. Prince (2013) “Gasoline price volatility and the elasticity of demand for gasoline”, *Energy Economics*, 38, 111-117.
- Lin, L. C. y J. Zeng (2013) “The elasticity of demand for gasoline in China”, *Energy Policy*, 59, 189-197.
- Madowitz, M. y K. Novan (2013) “Gasoline taxes and revenue volatility: An application to California”, *Energy Policy*, 59, 663-673.
- Nadaud, F. (2004) “The demand for car gasoline in France: A long run econometric perspective”, 6th IAEE European Energy Conference, Zurich, Switzerland.
- Neto, D. (2012) “Testing and estimating time-varying elasticities of Swiss gasoline demand”, *Energy Economics*, 34(6), 1755-1762.
- Ousmane, S. S. (2012) “Estimating the demand for gasoline in developing countries: Senegal”, *Energy Economics*, 34(1), 189-194.
- Omisakin, A. O., A. M. Oyinlola y O. A. Adeniyi (2012) “Modeling gasoline demand with structural breaks: New evidence from Nigeria”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(1), 1-9.
- Pedregal, D. J., O. Dejuan, N. Gomez y M. A. Tobarra (2009) “Modelling demand for crude oil products in Spain”, *Energy Policy*, 37(11), 4417-4427.
- Polemis, M. L. (2006) “Empirical Assessment of the Determinants of Road Energy Demand in Greece”, *Energy Economics*, 28(3), 385-403.
- Ramanathan, R. (1999) “Short- and Long-Run Elasticities of Gasoline Demand in India: An Empirical Analysis Using Cointegration Techniques”, *Energy Economics*, 21(4), 321-330.
- Ramanathan, R. y G. Subramaniam (2003) “Elasticities of gasoline demand in the Sultanate of Oman”, *Pacific and Asian Journal of Energy*, 13(2), 105-113.
- Rao, B. B. y G. Rao (2009) “Cointegration and the demand for gasoline”, *Energy Policy*, 37(10), 3978-3983.
- Rao, R. D. y J. K. Parikh (1996) “Forecast and analysis of demand for petroleum products in India”, *Energy Policy*, 24(6), 583-592.
- Ramli, R. A. y D. J. Graham (2014) “The demand for road transport diesel fuel in the UK: Empirical evidence from static and dynamic cointegration techniques”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 26, 60-66
- Reyes, M. O. (2009) “La demanda de gasolinas en México: Efectos y alternativas ante el cambio climático”. *Documento de Investigación*, Departamento de Economía Aplicada de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB).
- Reyes, O., R. Escalante y A. Matas (2010) “La demanda de gasolinas en México: Efectos y alternativas ante el cambio climático”, *Economía Teoría y Práctica*, 32(1), 83-111.
- Rodrigues, L. y M. R. P. Bacchi (2016) “Light fuel demand and public policies in Brazil, 2003-2013”, *Applied Economics*. DOI: 10.1080/00036846.2016.1176115.
- Roppa, F. R. (2005) “Evolução do consumo de gasolina no Brasil e suas elasticidades: 1973 a 2003”. 4p. (Monografía) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro
- Sa’ad, S. (2009a) “An empirical analysis of petroleum demand for Indonesia: An application of the cointegration approach”, *Energy Policy*, 37(11), 4391-4396.
- Sa’ad, S. (2009b) “Transportation demand for petroleum products in Indonesia: A time series analysis”, *OPEC Energy Review*, 33 (2), 140-154.
- Sa’ad, S. y I. S. Isah (2016) “Empirical analysis of transportation demand for oil products in Nigeria: Using error correction approach”, *Energy Strategy Reviews*, 10, 53-61.

- Samimi, R. (1995), "Road Transport Energy Demand in Australia", *Energy Economics*, 17(4), pp. 329-339.
- Sanchez, A., S. Islas y C. Sheinbaum (2015) "Demanda de gasolina y la heterogeneidad en los ingresos de los hogares en México investigación económica", 74(291), 117-143.
- Sentenac, C. E. (2012) "Is the price effect on fuel consumption symmetric?. Some evidence from an empirical study", *Energy Policy*, 41(C), 59-65.
- Scott, K. R. (2012) "Rational habits in gasoline demand", *Energy Economics*, 34(5), 1713-1723.
- Sohaili, K. (2010) "The Effect of Determining Gasoline Price According to Market Mechanism on Environment Pollution (Case Study of Iran)", *Procedia Environmental Sciences*, 2, 270-273
- Sultan, R. (2010) "Short-run and long-run elasticities of gasoline demand in Mauritius: An ARDL bounds test approach", *Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences*, 1(2), 90-95.
- Taghvaei, V. M. y P. Hajiani (2014) "Price and income elasticities of gasoline demand in Iran: using static, ECM, and dynamic models in short, intermediate, and long run", *Modern Economy*, 5(1), 939-950.
- Vásquez, A. (2005) "La demanda agregada de combustibles líquidos en el Perú". Documento de trabajo No. 12, Oficina de Estudios Económicos, Organismo Supervisor de la Inversión en Energía.
- Wadud, Z., D. J. Graham y R. B. Noland (2009) "A cointegration analysis of gasoline demand in the United States", *Applied Economics*, 41(26), 3327-3336.
- Wadud, Z. (2016) "Diesel demand in the road freight sector in the UK: Estimates for different vehicle types", *Applied Energy*, 165, 849-857.

Referencias sobre estudios de datos panel

- Arzaghi, M. y J. Squalli (2015) "How price inelastic is demand for gasoline in fuel-subsidizing economies?", *Energy Economics*, 50, 117-124
- Asensio, J., A. Gómez, y A. Matas (2014) "How effective are policies to reduce gasoline consumption? Evaluating a set of measures in Spain", *Energy Economics*, 42, 34-42
- Baltagi, B. H. y J. M. Griffin (1983) "Gasoline demand in the OECD: An application of pooling and testing procedures", *European Economic Review*, 22(2), 117-137.
- Baltagi, B. H. y J. M. Griffin (1997) "Pooled estimators vs. their heterogeneous counterparts in the context of dynamic demand for gasoline", *Journal of Econometrics*, 77(2), 303-327.
- Baltagi, B. H., G. Bresson, J. M. Griffin y A. Pirotte (2003) "Homogeneous, heterogeneous or shrinkage estimators? Some empirical evidence from French regional gasoline consumption", *Empirical Economics*, 28(4), 795-811.
- Berndt, E. y G. Botero (1985) "Energy demand in the transportation sector of Mexico", *Journal of Development Economics*, 17(3), 219-238.
- Burguillo, C. M., M. J. García y D. Romero (2011) "Does dieselization favour a cleaner transport? Evidence from EU-15", *Transport Reviews*, 31(5), 571-589,
- Burke, J. P. y S. Nishitaten (2013) "Gasoline prices, gasoline consumption, and new-vehicle fuel economy: Evidence for a large sample of countries", *Energy Economics*, 36, 363-370.
- Crôtte, A., R. B. Noland y D. J. Graham (2009) "An analysis of gasoline demand elasticities at the national and local levels in Mexico", *Energy Policy*, 38(8), 4445-4456.
- Dahl, C. (1982) "Do Gasoline Demand Elasticities Vary?", *Land Economics*, 58(3), 373-382.
- Danesin, A. y P. Linares (2015) "An estimation of fuel demand elasticities for Spain: An aggregated panel approach accounting for diesel share", *Journal of Transport Economics and Policy*, 49(1), 1-16.

- Eltony, N. M. (1996) "Demand for gasoline in the GCC: An application of pooling and testing procedures", *Energy Economics*, 18(3), 203-209.
- Eskeland, G. y T. Feyzioglu (1994) "Is demand for polluting goods manageable? An econometric study of car ownership and use in Mexico". Policy Research Working Paper No. 1309. The World Bank.
- Eskeland, G. y T. Feyzioglu (1997) "Is demand for polluting goods manageable? An econometric study of car ownership and use in Mexico", *Journal of Development Economics*, 53(2), 423-445.
- Espino, B. J. M. (2005) "Estimación de la elasticidad de la demanda de gasolina en México, 1993-2003". Documento de Investigación. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Flood, L., N. Islam y T. Sterner (2010) "Are demand elasticities affected by politically determined tax levels? Simultaneous estimates of gasoline demand and price", *Applied Economics Letters*, 17(4), 325-328
- Frenzn, M. y T. Sterner (1995) "Long-run demand elasticities for gasolina". En: T. Barker, P. Ekins y N. Johnstone (eds.), *Global Warming and Energy Demand*. Routledge.
- González, G. R., Lorenzo, M. R., y G. A. Marrero (2012) "A dynamic model for road gasoline and diesel consumption: an application for Spanish regions", *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(4), 201-209.
- Johansson, O. y L. Schipper (1997) "Measuring the long run fuel demand of cars: separate Estimations of vehicle stock, mean fuel intensity, and mean annual driving distance", *Journal of Transport Economics and Policy*, 31(3), 277-292.
- Li, R. y G. C. K. Leung (2012) "Gasoline consumption in China: A dynamic panel data analysis", *Economics Bulletin*, 32(3), 2375-2382.
- Liao, C. C. y Y. H. Lee (2009) "Chinese gasoline and diesel demand". Paper presentado en The International Association for Energy Economics (IAEE).
- Liddle, B. (2012) "The systemic, long-run relation among gasoline demand, gasoline price, income, and vehicle ownership in OECD countries: Evidence from panel cointegration and causality modeling", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(4) 327-331.
- Lin, C. Y. y J. Zeng (2013) "The elasticity of demand for gasoline in China", *Energy Policy*, 59, 189-197.
- Liu, G. (2004) "Estimating energy demand elasticities for OECD countries a dynamic panel data approach". Discussion Papers No. 373, Statistics Norway, Research Department.
- Melo, P. y A. R. Ramli (2014) "Estimating fuel demand elasticities to evaluate CO2 emissions: Panel data evidence for the Lisbon Metropolitan Area", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 67, 30-46
- Mendoza (2014) "Panorama preliminar de los subsidios y los impuestos a las gasolinas y diésel en los países de América Latina". Estudios del Cambio Climático en América Latina. (LC/W.641), Santiago, Chile.
- OCDE (2011) "*OECD Economic Surveys: Belgium 2011*", OECD Publishing.
- Pock, M. (2010) "Gasoline Demand in Europe: New Insights." *Energy Economics*, 32(1), 54-62.
- Rogat, J. y T. Sterner (1998) "The determinants of gasoline demand in some Latin American countries", *International Journal of Global Energy Issues*, 11(1-4), 162-170.
- Santos, G. F. (2013) "Fuel Demand in Brazil in a Dynamic Panel Data Approach", *Energy Economics*, 36, 229-240.
- Scott, K. R. (2015) "Demand and price uncertainty: Rational habits in international gasoline demand", *Energy*, 79(1), 40-49.
- Sterner, T. (1990) "*The pricing of and demand for gasoline*". Swedish Transport Research Board.

Williams, H. R. y R. I. Mount (1987) "OECD gasoline demand elasticities: An analysis of consumer behavior with implications for U.S. energy policy", *Journal of Behavioral Economics*, 16(1), 69-79.

Referencias sobre estudios recopilatorios y meta-análisis

- Agras, J. y D. Chapman (1999) "The Kyoto Protocol, Café Standards, and gasoline taxes", *Contemporary Economic Policy*, 17(3), 296-308.
- Basso, J. L. y T. H. Oum (2007) "Automobile fuel demand: A critical assessment of empirical methodologies", *Transport Reviews*, 27(4), 449-484.
- Bohi, D. R. (1981) "Analyzing demand behavior: A study of energy elasticities". Published for Resources for the Future by Baltimore, MD. Johns Hopkins Press.
- Bohi, R. D. y M. B. Zimmerman (1984) "An update on econometric studies of energy demand behavior", *Annual Review of Energy*, 9, 105-154.
- Brons, M., P. Nijkamp, E. Pels y P. Rietveld (2008) "A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand. A SUR approach", *Energy Economics*, 30(5), 2105-2122.
- Dahl, C. (1986) "Gasoline demand survey", *The Energy Journal*, 7(1), 65-74.
- Dahl, C. (1995) "Demand for transportation fuels: A survey of demand elasticities and their components", *Journal of Energy Literature*, 1(2), 3-27.
- Dahl, C. (2012) "Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities", *Energy Policy*, 41(1), 2-13.
- Dahl, C. (2014) "What do we know about gasoline demand elasticities?". Working Paper 2014-11. Colorado School of Mines.
- Dahl, C. y T. Sterner (1991a) "A survey of econometric gasoline demand elasticities", *International Journal of Energy Systems*, 11(2), 53-76.
- Dahl, C. y T. Sterner (1991b) "Analysing gasoline demand elasticities: A survey", *Energy Economics*, 13(3), 203-210.
- Drollas, L. P. (1984) "The demand for gasoline: Further evidence", *Energy Economics*, 6(1), 71-82.
- Espey, M. (1996) "Explaining the variation in elasticity estimates of gasoline demand in the United States: A meta-analysis", *Energy Journal*, 17(3), 49-12.
- Espey, M. (1998) "Gasoline demand revisited: An international meta-analysis of elasticities", *Energy Economics*, 20(3), 273-295.
- Galindo, L. M., J. Samaniego, J. Ferrer, J. E. Alatorre y O. Reyes (2015) "Meta-análisis de las elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolina: Implicaciones de política pública para américa latina", *Revista CEPAL*, 117(2), 7-25.
- Goodwin, P. B. (1992) "A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects of price changes". *Journal of Transport Economics and Policy*, 26(2), 155-169.
- Goodwin, P., J. Dargay y M. Hanly (2004) "Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A review", *Transport Reviews*, 24(3), 275-292.
- Graham, D. y S. Glaister (2002) "The demand for automobile fuel a survey of elasticities", *Journal of Transport Economics and Policy*, 36(1), 1-26.
- Graham, D. y S. Glaister (2004) "Road traffic demand elasticity estimates: A review", *Transport Reviews*, 24(3), 261-274.
- Havranek, T. y O. Kokes (2015) "Income elasticity of gasoline demand: A meta-analysis", *Energy Economics*, 47(1), 77-86.
- Havranek, T., Z. Irsova y K. Janda (2012) "Demand for gasoline is more price-inelastic than commonly thought", *Energy Economics*, 34(1), 201-207.

- Kouris, G. (1983) "Energy demand elasticities in industrialized countries: A survey", *The Energy Journal*, 4(3), 73-94.
- Lin, C. Y. C. y L. Prince (2013) "Gasoline price volatility and the elasticity of demand for gasoline", *Energy Economics*, 38, 111-117.
- OCDE (2001) "*Environmentally related taxes in OECD countries: Issues and strategies*". Paris, Francia.
- Ramli, A. R., y D. J. Graham (2014) "The demand for road transport diesel fuel in the UK: Empirical evidence from static and dynamic cointegration techniques", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 26, 60-66.
- Reyes, O., R. Escalante y A. Matas (2010) "La demanda de gasolinas en México: Efectos y alternativas ante el cambio climático", *Economía Teoría y Práctica*, 32(1), 83-111.
- Scott (2015)
- Taylor, L. D. (1977) "The demand for energy: A survey of price and income elasticities". En: W. D. Nordhaus (ed), *International Studies of the Demand for Energy*. Amsterdam, North-Holland.
- Wadud, Z., D. J. Graham y R. B. Noland (2009) "A cointegration analysis of gasoline demand in the United States", *Applied Economics*, 41(26), 3327-3336.

Referencias de estudios sobre eficiencia de los combustibles

- Bentzen, J. (1994) "An empirical analysis of gasoline demand in Denmark using cointegration techniques", *Energy Economics*, 16(2), 139-143.
- Berkowitz, K. M., N. T. Gallini, E. J. Miller y R. A. Wolfe (1990) "Disaggregate Analysis of the Demand for Gasoline", *Canadian Journal of Economics*, 23(2), 253-275.
- Broadstock, C. D. y L. C. Hunt (2010) "Quantifying the impact of exogenous non-economic factors on UK transport oil demand", *The Energy Policy*, 38(3), 1559-1565.
- Catalán, H. (2014) "Escenarios de la demanda de energía y crecimiento económico". Serie: análisis económico robusto para un desarrollo bajo en emisiones. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).
- Dargay, J. (1997) "Vehicle ownership to 2015: Implications for energy use and emissions", *Energy Policy*, 25(14-15), 1121-1127.
- Eltony, N. M. (1991) "A model for passenger car gasoline demand in Canada". Survey Energy Economics Centre. SEEDS 58.
- Elkhafif, M. A. y A. A. Kubursi (1993) "The demand for gasoline: A two stage approach", *International Journal of Forecasting*, 9(4), 457-465.
- Ferrer (2012) "Valoración económica del impacto en la salud de la contaminación atmosférica por transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México". Capítulo 4: Evaluación de políticas públicas para reducir la contaminación atmosférica en la ZMVM"
- Galindo, L. M. (2010) "*La economía del cambio climático en México*". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. D.F., México.
- Johnston, J. y J. Dinardo (1997) "*Econometric Methods*". McGraw-Hill/Irwin.
- Medlock III, B. K. (2009) "Energy demand theory". En: J. Evans y L. C. Hunt (eds.), *International handbook on the economics of energy*. Edward Elgar, UK.
- Rice, P. y P. Frater (1989) "The demand for petrol with explicit new car fuel efficiency effects", *Energy Economics*, 11(2), 95-104.
- Tanishita, M. (2005) Change in price and income elasticity of gasoline demand in Japanese cities, 1980's-1990's, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6(1), 3250-3263.

- Tietge, U., N. Zacharof, P. Mock, V. Franco, J. German, A. Bandivaderak, N. Ligterink y U. Lambrecht (2015) "From laboratory to Road. A 2015 update of official and 'real-world' fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe". White Paper, ICCT.
- Wilson, B., L. Ho-Trieu y B. Bowen (1992) "Energy efficiency in Australia Australian", Bureau of Agricultural and Resource Economics (ABARE), project 4223.101.

CAPÍTULO II
LA DEMANDA DE GASOLINAS EN PROVINCIAS DE ESPAÑA: UN
ANÁLISIS CON DATOS PANEL POR TIPO DE VEHÍCULO

La demanda de gasolinas en provincias de España: Un análisis con datos panel por tipo de vehículo

Resumen: Este documento analiza el consumo de carburantes en función de la renta, los precios, el stock de vehículos, la red de carreteras y la eficiencia de los carburantes para provincias de España en el periodo 1999-2012. La investigación confirma que el consumo de carburantes es muy sensible a la renta y menos sensible al precio. La aportación del estudio consiste en estimar las respuestas del consumo carburantes distinguiendo por tipos de combustibles y vehículos a cambios en renta, precios, stock vehicular, red de carreteras y de la eficiencia de los combustibles. Se observa que la no inclusión de esta separación puede producir resultados erróneos sobre el comportamiento de la demanda de los combustibles y sus consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero. Los resultados cuestionan la política seguida en Europa de fijar menores impuestos para el diesel que la gasolina.

Puntos Clave:

- Estimación de la demanda de combustibles para vehículos ligeros y pesados en España.
- Faltan estudios sobre elasticidades precio e ingreso de la demanda de combustibles para diferentes tipos de vehículos.
- Los turismos y camiones a diesel son más sensibles al ingreso, en comparación con los turismos a gasolina.
- Los turismos y camiones a diesel presentan elasticidades precios más inelásticas que los turismos a gasolina.
- Combinar políticas públicas como normas sobre la eficiencia y los impuestos sobre el carbono contribuyen al consumo óptimo y la reducción de las emisiones de GEI.

Palabras clave: Demanda de gasolina y diesel por tipo de vehículo, elasticidades, datos panel, cointegración y políticas públicas ambientales.

Clasificación JEL: C01, C33, D12, R41, Q41.

Gasoline demand in provinces of Spain: A panel data analysis for vehicle types

Abstract: This paper explores the consumption of gasoline as a function of income, prices, vehicle stock, road networks and fuel efficiency, for Spanish provinces during the period 1999-2012. The results confirm that gasoline consumption is very sensitive to income and less sensitive to prices. The contribution of the study is to estimate fuel consumption responses, distinguishing between types of fuels and vehicles, to changes in prices, income, vehicle stock, highways and fuel efficiency. The results show that not accounting for this disaggregation can produce biased results for the demand of the gasoline consumption and resulting emissions of greenhouse gases. The results call into question the European policy of setting lower taxes for diesel than gasoline.

Highlights:

- Spain diesel and gasoline demand for light and heavy freight vehicles modelled.
- There is still a lack of studies that generates price and income elasticities of gasoline demand for different types vehicles.
- Both light and heavy vehicles diesel are sensitive to income compared to light vehicles gasoline.
- Light and heavy vehicles are insensitive to price changes, but compared to gasoline price elasticities, diesel price elasticities tend to be smaller.
- Combining public policies such as efficiency standards and carbon taxes contribute to optimal consumption and reduction of GHG emissions.

Key words: Demand, gasoline and diesel by vehicle type, elasticities, panel data, cointegration and environmental policy.

Classification JEL: C01, C33, D12, R41, Q41.

II.1 Introducción

En las últimas décadas se ha prestado gran atención al análisis de la demanda de carburantes del sector transporte. De los principales temas de interés destacan las consecuencias económicas de la escasez de petróleo y la necesidad de la economía de los combustibles. Recientemente, se ha puesto mayor interés sobre las consecuencias ambientales del consumo de gasolinas. El consumo energético en el sector transporte crea numerosas externalidades negativas, incluyendo la contaminación local del aire y el cambio climático global (Calthrop y Proost, 1998; Delucchi, 2000; Stanley, *et al.*, 2011). Reducir la demanda de gasolinas o estabilizar la contaminación de los automóviles es una prioridad, habida cuenta de su impacto sobre el medio ambiente y de la cantidad de emisiones contaminantes que se generan (Chapman, 2007). Se ha abogado por desarrollar distintas estrategias: Reasignación de los precios de los combustibles; incentivos financieros y fiscales; impuestos a los combustibles, kilometraje y peajes; impuestos vehiculares diferenciados; innovación tecnológica automotriz; y el desarrollo de nuevos combustibles bajos en carbono (Sterner, 2002). Existen una gran cantidad de estudios a nivel internacional que han analizado el consumo de gasolinas y las variables que explican su dinámica. Sin embargo, poco se ha estudiado acerca del consumo de gasolinas por tipos de vehículos y cómo las variables que lo determinan tienen efectos diferenciados en el consumo de carburante de cada vehículo. Estudios previos sobre la demanda de gasolina con el uso de datos panel de España (González, *et al.*, 2012; Danesin y Linares, 2015) no consideran la distinción por tipo de combustible y vehículos de manera explícita.

Lo anterior tiene implicaciones para el diseño y aplicación de las políticas públicas en el sector transporte ya que no toman en cuenta el consumo por tipo de combustible y vehículo. Esto sin duda dificulta la instrumentación de políticas públicas que favorezcan a reducir la demanda de carburantes y las consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero. De esta manera, las magnitudes de las elasticidades de la demanda de carburantes son parámetros clave para comprender cómo las emisiones de GEI derivadas del consumo de carburantes evolucionarán en el futuro. Sin embargo, debido a su relevancia política, la elasticidad se ha estimado por cientos de investigadores en las últimas décadas. La amplia investigación no ha dado lugar a un consenso sobre la magnitud de las elasticidades con respecto a la demanda de carburantes por tipo de vehículo. De esta manera, este documento ayuda a llenar este vacío en la literatura empírica. Esta investigación tiene como objetivo analizar las tendencias del consumo de carburantes en el sector transporte por carretera en provincias de España de 1999-2012

distinguiendo por tipo de combustible (*gasolina y diesel*) y por tipo de vehículo (*turismos y camiones*) con el uso de modelos de datos panel. Asimismo, se busca determinar si además de las variables que típicamente determinan el consumo, tales como el precio y el ingreso, el stock vehicular, la red de carreteras de gran capacidad y eficiencia de los combustibles, tienen impactos diferenciados por tipo de combustibles y vehículo. Nuestra contribución es mostrar que la demanda de combustibles también está en función de decisiones, preferencias del consumidor y factores sociodemográficos. Esto con el propósito de proponer distintas medidas de actuación que incidan en el consumo energético y, que esto a su vez, contribuya de manera significativa en la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Este ejercicio debe realizarse, ya que en España el crecimiento de transporte por carreteras se ha incrementado a un ritmo superior que el crecimiento económico, contribuyendo de manera significativa al crecimiento del consumo de combustibles y al de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El trabajo estima elasticidades ingreso y precio respecto a la demanda de gasolina y diesel para turismos y camiones. Los modelos de demanda de diesel para vehículos ligeros y pesados no están disponibles en ningún estudio. Este resultado es importante para conocer la disminución o aumento de la demanda de carburantes a partir del cambio de dichas variables y sus consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). De igual forma, los resultados del estudio también son relevantes para evaluar el impacto que pudiese tener en los diferentes grupos de ingreso la elevación del precio de la gasolina, ya sea por motivos de mercado, de recaudación fiscal o a partir de impuestos del carbono derivados de una política ambiental para reducir emisiones contaminantes o de gases de efecto invernadero.

En este contexto, los resultados confirman que el consumo de carburantes es muy sensible a la renta. Los precios de los carburantes resultaron significativos para todas las especificaciones, no obstante los vehículos que más consumen son inelásticos al precio del combustible. La eficiencia de los combustibles resultó ser una variable no significativa en nuestras especificaciones. El stock vehicular en la demanda de diesel en turismos presenta un efecto positivo y significativo, lo que indica que el cambio en la estructura vehicular (*mayor presencia de autos de combustión a diesel*) no ha sido más eficiente en el consumo de combustible, contribuyendo al incremento en la total de las emisiones contaminantes. También se observó, que la demanda de carburantes es una función positiva con la red de carreteras de alta capacidad. Estos resultados tienen implicaciones importantes para los responsables políticos interesados en reducir el consumo de petróleo de transporte carretero y sus emisiones de GEI correspondientes.

Políticas sobre precios (por ejemplo, *impuestos*) y mejoras en la eficiencia de los combustibles tienen un impacto limitado, sobre todo cuando se observa que la elasticidad ingreso sigue siendo claramente superior a la elasticidad precio. Ello implica que cualquier reducción en el uso del vehículo vía precio puede quedar más que compensada si aumentan los ingresos de los consumidores.

Para llevar a cabo este análisis, se utilizan datos con series anuales y corte transversal, con 48 provincias. La investigación está estructurada en seis partes incluyendo la presente introducción. En la segunda parte, se analiza la literatura de la demanda de gasolinas. En la sección tres se muestra la especificación de la demanda de gasolinas y se discuten las técnicas econométricas que se emplearon. La descripción de los datos y los resultados del modelo se presentan en la sección cuarta. Un análisis sobre las implicaciones de política económica de la demanda de gasolinas y las emisiones de CO₂ se presenta en la parte cinco. Para llevar la discusión a su fin, se presentan las conclusiones y recomendaciones generales.

II.2. Revisión de la literatura

Las estimaciones de las magnitudes de las elasticidades de los determinantes de la demanda de combustibles son un insumo fundamental para cualquier análisis del uso de combustibles en el futuro, sus consecuencias para el medio ambiente, por la respuesta de los consumidores y por el impacto de las respuestas sobre políticas públicas. Un significativo número de estimaciones de la demanda de gasolinas se puede encontrar en la literatura para el caso español. El Cuadro 2.1 resume características y requerimiento de datos para la estimación de elasticidades ingreso y precio de la demanda de combustibles. La demanda de carburantes se ha estimado utilizando micro-datos con base en encuestas de presupuestos y características de los hogares. Por ejemplo, López (1995) utiliza un modelo económico basado en la teoría del consumidor para estimar la elasticidad precio de la demanda de carburantes y para conocer cuál es la reacción de los consumidores ante cambios en los impuestos. Labeaga y López (1997) utilizan el modelo de demanda casi ideales lineales (AIDS, por siglās en inglés: *Almost Ideal Demand System*) y mencionan que la estimación de la demanda de carburantes debe hacerse en presencia de observaciones nulas en el gasto de las familias y heterogeneidad no observada, sus resultados reportan elasticidades precio e ingreso de la gasolina de -0.536 y 0.429 respectivamente. Siguiendo la misma metodología Labandeira y López (2002) y Álvarez, *et al.* (2008) estiman elasticidades precio e ingreso de de la demanda de carburantes. Con modelos de demanda casi

ideales cuadráticos (QUAIDS) Labandeira, *et al.* (2006) estiman que la elasticidad de los precios de los combustibles de automóviles osciló entre -0.110 y -0.058, mientras que la elasticidad ingreso reporta valores entre 1.36 y 1.79. Romero, *et al.* (2010) reportan elasticidades precio que oscilan entre -0.64 y -0.32 y elasticidad ingreso entre 0.92 y 1.45. Romero y Sanz (2003), Sanz, *et al.* (2003), Labandeira, *et al.* (2006), Romero y Sanz (2009) y Romero, *et al.* (2010) obtienen elasticidades-gasto muy similares, 1.24, 1.24, 1.36, 1.24 y 1.45, respectivamente.

Otros autores explican el comportamiento de la demanda de combustible a través del uso de datos agregados. Por ejemplo, González, *et al.* (2012) estiman un panel de datos dinámico a partir del método de momentos generalizado para el consumo de gasolina y diesel en 16 comunidades autónomas para el periodo 1998-2006. Los resultados muestran que en el corto plazo la demanda de carburantes es inelástica a los precios, por lo tanto no es posible utilizar el precio como instrumento de política para regular el consumo. También, indican que existe una relación negativa entre el grado de saturación de la red y el consumo de combustibles, por lo que el incremento de la red de carreteras podría promover la movilidad y una mayor demanda de transporte, sin embargo, también favorece a niveles altos de consumo de combustibles. Los autores señalan que enfoques alternativos en la estimación de la demanda de carburantes producen diferencias importantes en los resultados que podrían cambiar las recomendaciones de políticas públicas. Asensio, *et al.* (2015) se centran en el período 2008-2011 y utiliza un panel de 48 provincias para analizar empíricamente una serie de políticas implementadas para frenar el consumo de combustible. Llegan a la conclusión de que el consumo de gasolina en España disminuye alrededor del 2-3% durante el período en el que se redujeron las tarifas de tren y el límite de velocidad máxima. También se reporta evidencia de que un aumento en un punto porcentual en el contenido de biocombustibles en la gasolina aumenta el total de combustible consumido (gasolina más etanol) en un rango de 0.3% a 0.7%. Más recientemente, Denesin y Linares (2015) estudian la importancia relativa de variables diferentes al ingreso y precio en España, para explicar la demanda de gasolina a partir de un modelo de datos panel para 16 regiones durante el periodo de 2000-2007, y encuentran la importancia de los vehículos diesel en circulación como parte del cambio en los estilos de conducción. En general, la revisión de la literatura empírica para el caso de España muestra hallazgos relevantes sobre los posibles determinantes de la demanda de carburantes. No obstante, se encontró que en la literatura existe poco énfasis en analizar los posibles impactos diferenciados del consumo de combustibles por tipo de vehículo.

Cuadro 2. 1
Demanda de gasolinas en el sector transporte en España
(Resumen de resultados)

Autor	Periodo	Carburante	Datos / Variables	Elasticidad precio ^a		Elasticidad ingreso ^b	
				CP	LP	CP	LP
López (1995)	ECPF (1985-1989)	Gasto en carburante	md / pg, gt, lr, csd		-0.20 a -0.50*		0.50 a 0.70*
Labeaga y López (1997)	ECPF (1985-1989)	Gasto en carburante	md / pg, gt		-0.419 y -0.536		0.341 y 0.429
Labandeira y López (2002)	ECPF (1985-1995)	Gasto en carburante	md / pg, pb, gt, csd		-0.08		0.99
Romero y Sanz (2003)	ECPF (1985-1995)	Gasto en carburante	md / pg, pb, gt		-0.576 y -0.804		0.691 y 1.246
Sanz, et al. (2003)	ECPF (1985-1995)	Gasto en carburante	md / pg, pb, gt		-0.808		1.246
Labandeira, et al. (2006)	ECPF (1973-1974, 1980-1981, 1985-1995)	Gasto en carburante	md / pg, pb, gt, lr, csd,		-0.110 y -0.058		1.36 y 1.798
Álvarez, et al. (2008)	ECPF (1998-2001)	Gasto en carburante	md / pg, lr, gt, csd		-0.511 a -0.701		0.853 a 2.05
Romero y Sanz (2009)	ECPF (1985-1995)	Gasto en carburante	md / pg, pb, gt		-0.958		1.246
Pedregal, et al. (2009)	España (1984-2006)	Gasolina	st / y, pg	-0.009	-0.051	0.024	0.441
		Diesel	st / y, pd	0.025	0.377	0.281	1.061
Romero, et al. (2010)	ECPF (1998-2001)	Gasto en carburante	md / pg, lr, gt, csd		-0.640 a -0.329		0.923 a 1.458
González, et al. (2012)	16 regiones (1998-2006)	Gasolina	dp / pg, pd y, svd, svg, fcarr	-0.417 a -0.292		0.009 a 0.241	
		Diesel	dp / pd, pg, y, svd, dvg, fcarr	-0.083 a -0.027		0.044 a 0.483	
Bakhart, et al. (2012)	16 regiones (1998-2011)	Gasolina	dp / pg, pg, y, spc, scarr, t	-0.107 a -0.036	-0.429 a -0.150	0.028 a 0.300	0.118 a 0.789
		Diesel	dp / pd, pg, y, spc, scarr, t	-0.106 a -0.060	-0.143 a -0.317	0.048 a 0.389	0.928 a 2.573

Romero, <i>et al.</i> (2014a)	ECPF (1998-2005)	Gasto en carburante	md / pg, gt, csd		-0.895		
Romero, <i>et al.</i> (2014b)	ECPF (1998-2005)	Gasto en carburante	md / pg, lr, gt, csd, t	-0.485 a -0.282	-0.494 a -0.295	0.539 a 0.753	0.548 a 0.888
Asensio, <i>et al.</i> (2014)	48 provincias (2008-2011)	Gasolina	pg, y, sv, mot, dt	-0.20 a -0.24		0.57 a 0.74*	
Danesin y Linares (2015)	16 regiones (2000- 2007)	Gasolina	dp / pg, y, sv, ds	-0.246 y -0.264	-0.558 y -0.815	0.058 y 0.069	0.12 y 0.228
		Diesel	dp / pd, y, sv, ds	-0.231 y -0.243	-0.88 y -1.667	0.30 y 0.217	1.086 y 1.564
		Gasolinas	dp / pgs, y, sv, ds	-0.276 y -0.297	-1.072 y -2.491	0.25 y 0.162	0.924 y 1.46

Fuente: Elaboración propia con base en la información estadística de los estudios revisados.

Notas: Tipo de datos: st: series de tiempo, dp: datos panel, md: microdatos. Variables utilizadas: gasto en carburante: gasto en consumo total en combustible por hogar; pg: precio de la gasolina; pd: precio del diesel; pgs: precio de la gasolinas; pb: precio de otros bienes (por ejemplo, precio electricidad, precio del gas natural, precio del gas licuado del petróleo, precio transporte público y precio de la comida); svd: stock vehicular diesel; svg: stock vehicular gasolina; spc: stock por conductor; fcarr: stock vehicular / red carretera (proxy de la saturación de la red de carreteras); scarr: saturación de carreteras; lr: lugar de residencia; gt: gasto total, csd: características socio-demográficas, t: tendencia. * Elasticidades a nivel urbano y ** Empleo como proxy de la actividad económica. Las estimaciones para micro-datos representan ^a elasticidades precio-marshallianas y ^b elasticidades-gasto. ECPF: Encuesta Continua de Presupuestos Familiares de España. LP: Es igual a la elasticidad de Largo Plazo. CP: Es igual a la elasticidad ingreso y precio de Corto Plazo.

Por otro lado, gran parte de la investigación sobre la sensibilidad de la demanda de combustibles del transporte carretero se centran en estudios que contempla la demanda agregada de los carburantes (*gasolina y diesel*), pero la gran mayoría considera exclusivamente el consumo de combustible de gasolina y algunas veces la demanda de diesel (Ajanovic, *et al.*, 2012; Ramli y Graham, 2014), y sin realizar una diferenciación por tipo de vehículo (Sterner, 2007). Algunos resultados de estas investigaciones muestran magnitudes diferentes de respuesta en la sensibilidad del consumo de gasolina con respecto al diesel (Schipper y Fulton, 2009; Schipper, 2011). En términos de la demanda combustibles para diferentes tipos de vehículos, Belhaj (2002) modela vehículos ligeros y pesados en Marruecos, sin embargo, las estimaciones no fueron significativas. Garbacz (1989) estima la demanda de gasolinas de camiones para Taiwán, sus resultados reportan elasticidades precio de corto y largo plazos de -0.236 y -0.983 y para el ingreso de 0.435 y 1.813. Recientemente Wadud (2016) estima la demanda de diesel para diferentes tipos de vehículos (vehículos pesados, industriales ligeros y rígido y camiones articulados) en el Reino Unido. Los autores argumentan que el cambio a diesel a partir de motores de gasolina podría haber sesgado las elasticidades de la demanda de diesel y gasolina en Europa. Una solución aparentemente natural a este problema es tener especificaciones separadas por carburantes (*gasolina y diesel*) y por tipo de vehículos (*pesados y ligeros*). La separación del consumo de combustibles puede revelar algunas características importantes con respecto a la naturaleza estructural del comportamiento del consumidor de combustibles. En este documento es de gran interés esta discusión, el objetivo fundamental es identificar el consumo de gasolina y diesel por tipo de vehículo, y así poder reflexionar acerca de la pertinencia de esos fundamentos para el contexto de la demanda de carburantes en España y su contribución con los objetivos de reducción de emisiones de CO₂ y control del consumo de combustibles.

II.3. Metodología econométrica

El consumo de carburantes es una función de varios factores, tales como la renta, precios, la tecnología disponible e incluso de los estilos de vida (Baltagi y Griffin, 1983; Anable, *et al.*, 2012; Ajanovic, *et al.*, 2012; Dahl, 2012). Se especificó un modelo econométrico, con información para 48 provincias de España durante el periodo 1999-2012, del consumo de carburantes por tipo de vehículo (*carb*) con datos panel, en función de la renta (*y*) y de los precios (*pre*). Dado que se presentan estimaciones separadas para el consumo de gasolina y diesel es necesario incluir el stock de vehículos (*stock*) en la ecuación para poder controlar el

fuerte proceso de sustitución de vehículos de gasolina por vehículos diesel. La inclusión de los kilómetros de red de carreteras de gran capacidad (*carr*) responde a la voluntad de captar si la mejora en la red de carreteras tiene un efecto sobre la generación de nuevo tráfico. Por último, resulta de interés contrastar si la mejora en la eficiencia en el consumo de carburante (*efi*) de los vehículos ha tenido un impacto en el consumo. Así la especificación se define como:

$$i) \quad carb_{it} = \alpha_i + \beta_t + \gamma_1 pre_{it} + \gamma_2 y_{it} + \gamma_3 stock_{it} + \gamma_4 carr_{it} + \gamma_5 efi_{it} + \varepsilon_{it}$$

donde los subíndices i ($i = 1, 2, \dots, n$) y t ($t = 1, 2, \dots, t$) indican las unidades de sección cruzada y de tiempo, respectivamente. Todas las variables continuas están expresadas en logaritmos. El parámetro α_i y β_t denotan la provincia o sección cruzada y el efecto fijo de tiempo. El coeficiente estimado γ_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) se refiere a la elasticidad precio, renta, parque vehicular, carreteras y eficiencia, y ε_{it} es el término de error. Para verificar la consistencia de nuestras estimaciones, se usa un modelo de panel para el consumo de gasolina por tipos de vehículos. El método de estimación de los modelos de panel se determina mediante la aplicación de pruebas F de para detectar la existencia de heterogeneidad individual no observada, entre las 48 provincias consideradas de España, la cual no puede ser identificada por medio de la estimación de corte transversal o de series de tiempo (Arellano, 2003). Los métodos más usuales son el de efectos fijos y el de efectos aleatorios.

La estimación de la ecuación (i) debe de considerar la estructura estadística y probabilística de las variables económicas asociadas a los conceptos de orden de integración, cointegración y de regresión espuria (Kao, 1999). Para analizar el orden de integración de las series se utilizaron las pruebas de raíces unitarias para datos panel de Maddala y Wu (1999); Breuting (2001); Levin, *et al.*, 2002; e Im, *et al.* (2003). Las pruebas asumen la hipótesis nula de no estacionariedad ($H_0: \phi = 0$). El análisis de cointegración para datos panel utiliza las pruebas de Pedroni (1999; 2001); Kao (1999); y Maddala y Wu (1999). Estas pruebas se basan en que en una regresión con variables no estacionarias existe cointegración en el caso en que los residuales son estacionarios, $u_t \sim I(0)$ (Engle y Granger, 1987). De este modo, el análisis de la condición de cointegración entre series no estacionarias puede basarse en analizar que los residuales sean estacionarios. Para ello, se utiliza la prueba de ADF (Dickey y Fuller, 1981), bajo la hipótesis nula de no estacionariedad ($H_0: \phi = 0$). Pedroni (1999) propone siete estadísticos para analizar la propiedad de cointegración que se pueden dividir en dos grupos. El primer grupo incluye

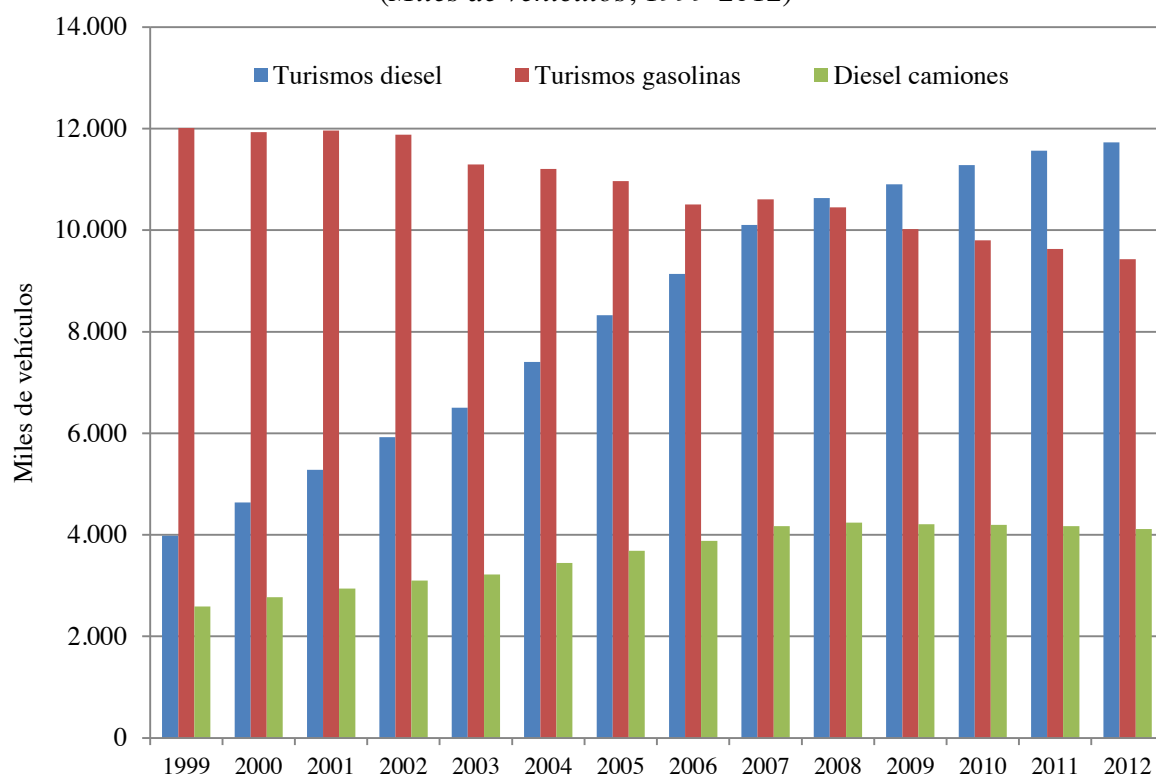
cuatro pruebas basadas en los promedios de las estadísticas de cointegración entre las secciones individuales. El segundo grupo involucra tres pruebas basadas en promediar los coeficientes de la variable dependiente rezagada para cada sección individual del panel (Baltagi, 2005). Finalmente, la prueba de Maddala y Wu (1999) sugiere combinar las pruebas sobre unidades individuales. También, es posible utilizar las pruebas propuestas por Johansen (1988; 1995), evitando así, realizar una prueba de raíces unitarias sobre los residuales y permitiendo la existencia de más de una relación de cointegración.

II.4. Descripción de los datos

En esta sección se realiza un análisis de la información estadística, con la finalidad de detectar patrones estadísticos útiles no sólo para la interpretación del modelo, sino también para la especificación de los componentes del mismo. Nuestro amplio conjunto de datos permite trabajar con datos trimestrales y con más variables explicativas de lo habitual en esta literatura. Entre los factores más importantes que tradicionalmente explican el incremento en la demanda de los carburantes, sin duda se encuentran los precios y la renta. Sin embargo, el acelerado crecimiento de la flota vehicular en España también ha jugado un papel determinante. También se utilizó la información sobre el stock de vehículos que usan gasolina (*turismos*) y diesel (*turismos y camiones*) distribuido por provincia. Para obtener esta información, recopilamos los datos sobre el parque vehicular que usan gasolina y diesel (*desde 1999 a 2012 por provincia*). La información disponible se desglosa por camiones, furgonetas autobuses, turismos, motocicletas y otros vehículos y se obtuvo a partir la DGT. La evolución anual del parque nacional según el tipo de carburante refleja un importante crecimiento por parte de los motores a diesel (Gráfico 2. 1). Mientras que en 1990, sólo el 18.4% eran motores a diesel, para 2012 representan el 59.1%, con un crecimiento anual promedio para ese mismo periodo de 8.34%. Esta situación se explica por la evolución del mercado de vehículos a diesel. Efectivamente, resulta considerable el incremento de las matriculaciones de vehículos a diesel que han pasado de representar el 23.9% en 1990 al 64.1% en 2012. La tendencia es clara, cada vez se compran más vehículos a diesel.

Gráfico 2. 1

Evolución del parque vehicular en España (Miles de vehículos, 1999-2012)

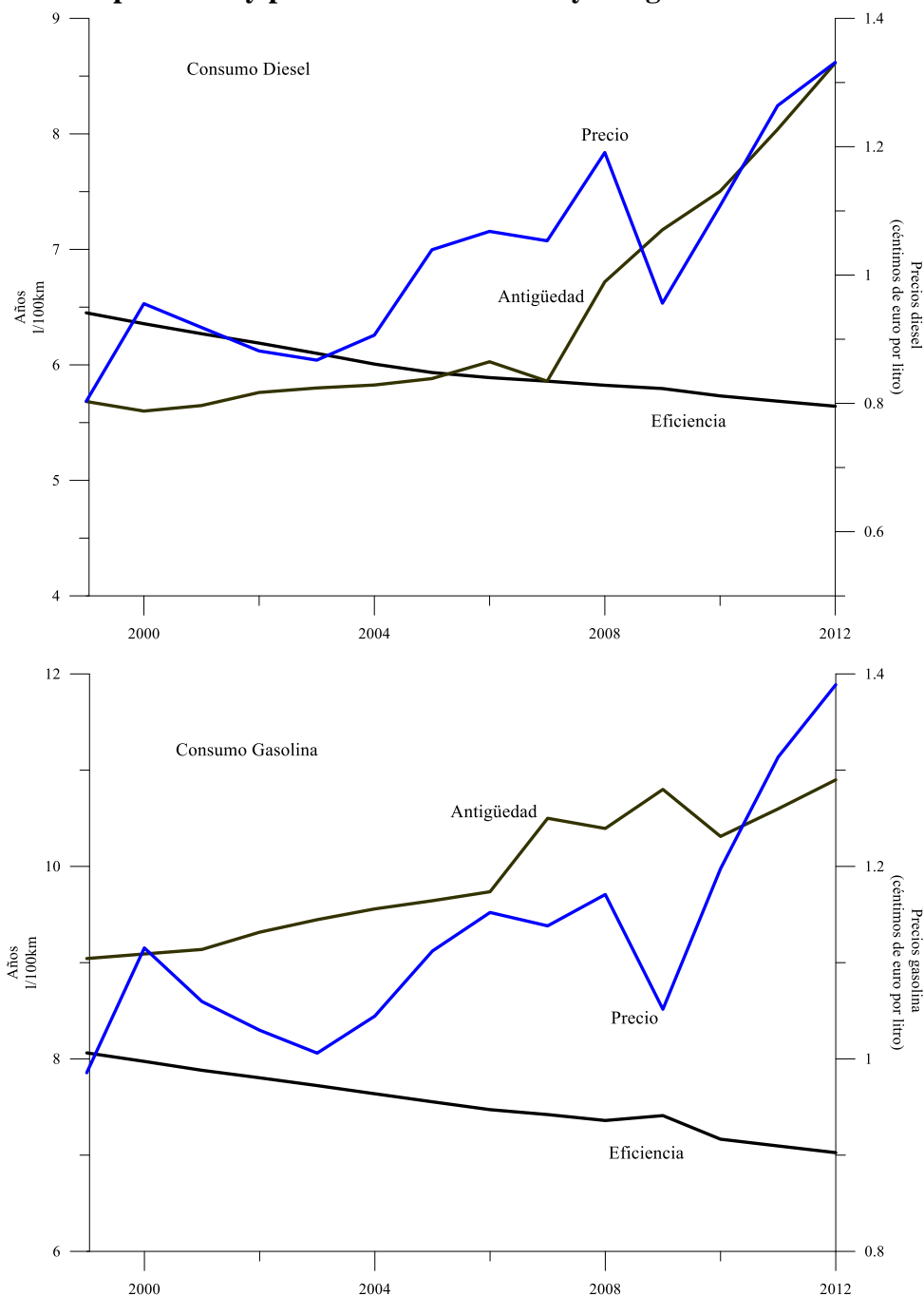


Fuente: Elaboración propia con base en información estadística de la Dirección General de Tráfico (DGT).

Se consideraron los precios de la gasolina y del diesel en términos reales (*expresado en céntimos de euro por litro*) por provincia, para lo cual se deflactaron con precios internos por provincia publicados por el INE. Las estimaciones incluyen a la eficiencia del combustible (l/100km) de los automóviles por tipo de combustible y vehículos. Para esta variable, no se cuenta con series de tiempo para el periodo considerado, así que fue necesario realizar una aproximación tomando como base la información de los eficiencia de los combustibles (l/100km) obtenida de revistas especializadas y de estimaciones de la eficiencia energética de los automóviles del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). Las series obtenidas, son una aproximación del consumo de combustible por tipo de vehículo a partir de ajustar de acuerdo a la antigüedad del stock vehicular y la eficiencia de los combustibles por tipo de vehículo (Gráfico 2. 2). Cuanto mayor es la antigüedad de un vehículo, menor tiende a ser el rendimiento de combustible en comparación al de los autos nuevos. La edad media de los vehículos turismos a diesel y gasolina en España según cálculos propios llega hasta 8.6 y 10.9 años, respectivamente. La comparación de las series de la eficiencia del combustible de turismos (gasolina y diesel) y camiones (diesel) predicho para el periodo 1999-

2012 con respecto a información observada muestra que el nivel de error en la predicción es bajo.

Gráfico 2. 2
Consumo promedio y precios de carburantes y antigüedad de los vehículos



Fuente: Elaboración propia.

Notas: Consumo promedio de carburantes en litros por 100 kilómetros. Edad en años. Precios carburantes (céntimos de euro por litro). Precios de los carburantes en céntimos de euro por litro.

Los consumos de gasolina (incluye 95 y 98 octanos) y diesel (*miles de toneladas por año*) por provincia fueron obtenidos a partir del tráfico total estimado con aforos en la red de carreteras

por titularidad y provincias obtenidas de la Dirección General de Tráfico (DGT). Las estadísticas de consumo de combustibles para las provincias españolas no distinguen entre el consumo de gasolinas y diesel del sector transporte de pasajeros y de mercancías. El consumo de carburantes incluye tanto el transporte de pasajeros y de carga. Por ejemplo, los camiones pesados utilizan principalmente el diesel, no obstante la modelación del diesel debe distinguir entre el consumo en el sector del transporte de viajeros y mercancías.

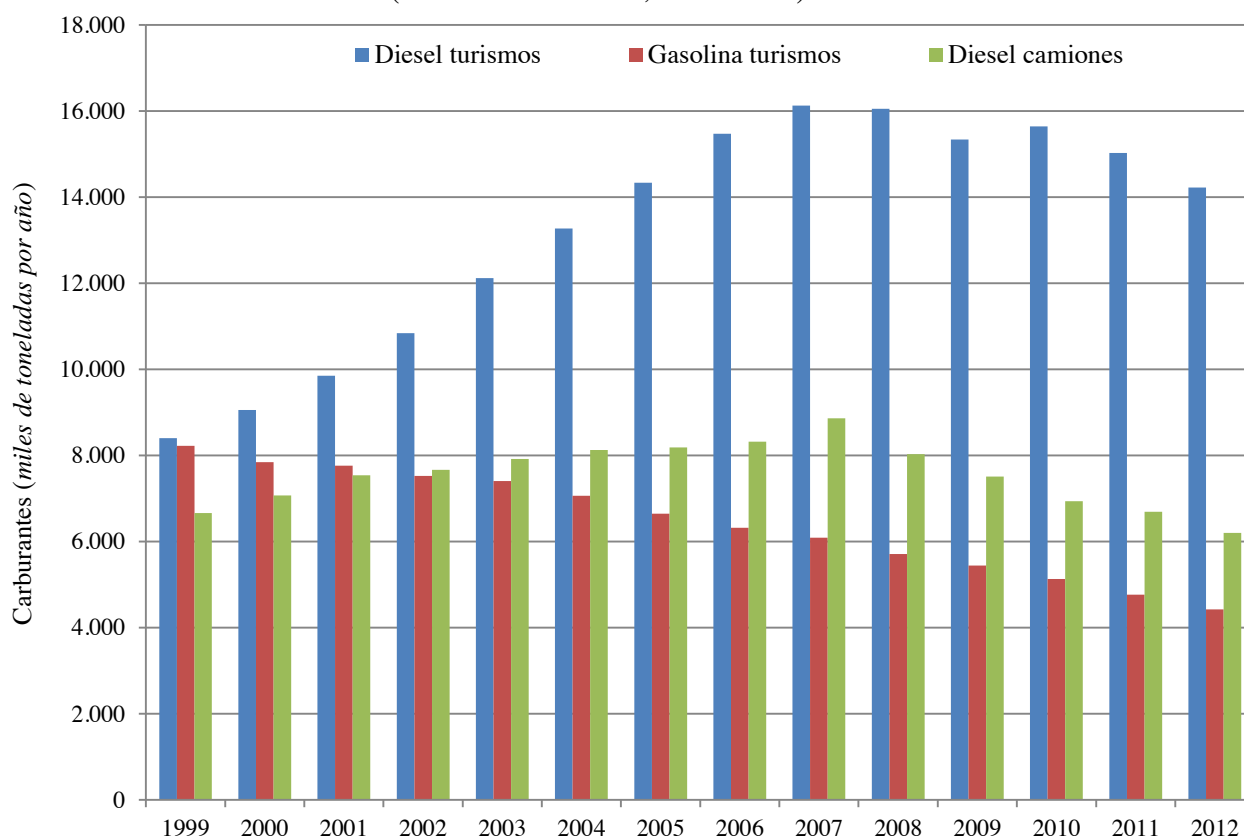
Esta investigación propone analizar la demanda de carburantes haciendo la separación del consumo del diesel y gasolina consumidos por vehículos pesados y ligeros por que la modelización de la demanda es distinta en cada caso. Para estimar el consumo por tipo de vehículo, se recopiló la información estadística a nivel provincia de 1999 a 2012. Tráfico, expresado en millones de vehículos-km y corresponde a la longitud (*redes de carreteras por titularidad y provincias: Estado, comunidades autónomas y diputaciones*) total recorrida recopilados del Anuario Estadístico (*sección tráfico*) del Ministerio de Fomento. El parque de vehículos ligeros y pesados (*flota desglosada en camiones, furgonetas, autobuses, turismos, motocicletas y otros vehículos*); el consumo específico (*litros por kilómetros recorridos*) según el tipo de vehículo y de la edad de los vehículos (*antigüedad*).

En principio, se identificó el flujo de los distintos tipos de vehículos para toda la red. Para ello se calculó los kilómetros recorridos por tipo de vehículo aplicando el porcentaje que le correspondía a los tres tipos de redes de carreteras. A partir de esta diferenciación se imputa los kilómetros recorridos de los tipos de vehículos (*pesados y ligeros*) al consumo de carburantes (*diesel y gasolina*). El consumo de diesel turismo se calcula como la diferencia entre consumo diesel observado menos consumo diesel camiones suponiendo que los kilómetros de vehículos pesados corresponde a camiones y, por lo tanto, a diesel. El consumo de gasolina en turismos supone que todo el consumo de gasolina lo hacen los turismo (las estadísticas reportan datos sobre furgonetas pero no camiones).

El resultado es el consumo de combustibles por vehículo pesados (camiones) y ligeros (turismos) en litros. Para contrastar las estimaciones del consumo con la información disponible, los datos se transformaron en toneladas. A nivel anual y por tipo de combustible las estimaciones son muy cercanas a la información oficial disponible. A continuación se muestran los resultados correspondientes a las estimaciones del consumo de carburantes de forma gráfica (Gráfico 2. 3). La serie del consumo de diesel de turismos presenta una media de crecimiento

anual de 4.13% para el periodo de 1999-2012. Por su parte, la evolución del consumo de diesel en camiones presenta una tendencia negativa, con una tasa promedio anual para el periodo 1999-2012 de -0.55 por ciento. El consumo de diesel de turismos y camiones ha registrado un menor dinamismo en sus tasas de crecimiento durante 2007-2012 de -2.5 y -6.9 por ciento, respectivamente. Históricamente, el consumo de gasolinas presentó hasta principios de 1990 una trayectoria ascendente. Durante el periodo de 1960 a 1992, la demanda de gasolina se incrementó a una tasa promedio anual de 8.3%. Esta tendencia fue revertida en los años de 1995 a 2012, motivada por la posición del transporte por carretera, dominada por el diesel. Para el periodo de análisis (1999-2012), la tasa promedio de crecimiento fue de -4.6 por ciento.

Gráfico 2.3
Consumo de carburantes por tipos de vehículos en España
(Miles de toneladas, 1999-2012)

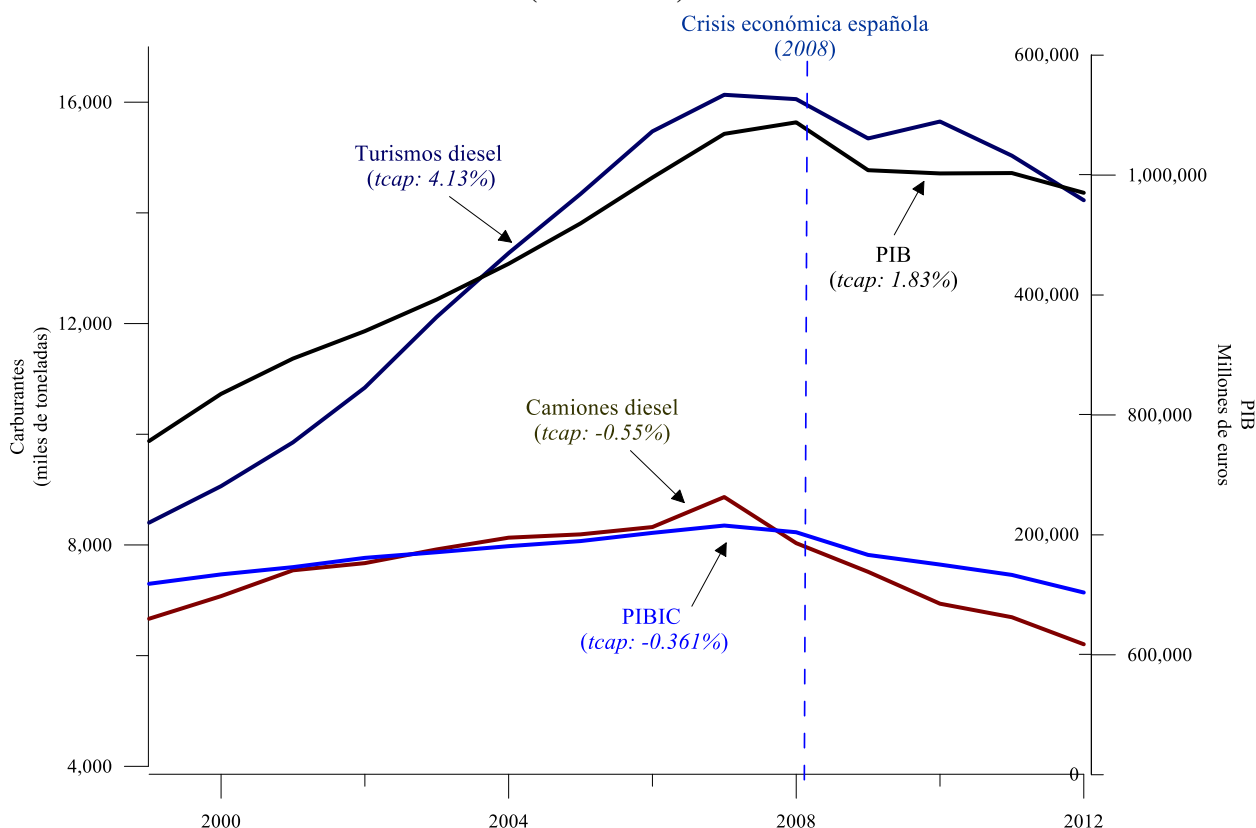


Fuente: Elaboración propia.

Como medida de renta, se utilizó la actividad económica por provincias en España, para ello se utilizó el PIB a precios de 2010, esta variable fue obtenida de las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (INE). Para la estimación de la demanda de diesel en camiones, como medida de renta se utilizó el Producto Interno Bruto de la industria transformadora y

construcción (PIBIC, a precios constantes de 2010). El Gráfico 2. 4 ilustra respectivamente los cambios en el consumo de diesel y gasolina y la renta durante el período 1999-2012. Se observa claramente que el consumo de diesel y las medidas de ingreso están muy estrechamente vinculados. Es particularmente evidente durante la recesión a comienzos de 2008.

Gráfico 2. 4
Consumo de combustibles del sector transporte, PIBIC y PIB en España
(1999-2012)



Fuente: Elaboración propia.

Notas: Las series consumo de turismos y camiones a diesel están expresados en miles de toneladas. Las series del PIB y PIBIC en millones de Euros a precios constantes de 2010. tcpa: tasa de crecimiento anual promedio del periodo 1999-2012.

También se incluyó en la estimación de las demandas de carburantes la red de carreteras de gran capacidad por provincia, obtenidas de la DGT. Un resumen de las variables utilizadas de nuestro análisis así como algunas estadísticas se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. 2
Tendencias de los indicadores del sector transporte en España

(Valores promedio, 1999-2012)

Concepto	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	$\Delta(1999-2012)$
Consumo (miles de toneladas)					
<i>Turismos gasolina</i>	134,483	1,141,423	11,470	164,716	-4.64
<i>Turismos diesel</i>	276,488	1,747,291	11,932	286,455	4.13
<i>Camiones diesel</i>	157,392	735,393	36,690	117,204	-0.55
PIB (a precios de 2010)					
PIB (a precios de 2010)	19,588	194,000	1,837	30,390	1.83
PIBINC (a precios de 2010)	3,771	36,779	331	5821	-0.361
Precios carburantes (céntimos de euro por litro)					
<i>Turismos gasolina</i>	1.13	1.41	0.95	0.11	2.76
<i>Turismos diesel</i>	1.02	1.35	0.78	0.15	3.96
<i>Camiones diesel</i>	0.85	1.07	0.66	0.11	3.29
Stock vehicular (miles de vehículos)					
<i>Turismos gasolina</i>	225,731	2,072,848	20,215	315,511	-1.85
<i>Turismos diesel</i>	174,744	1,859,907	9,198	241,302	8.66
<i>Camiones diesel</i>	75,520	598,124	7,905	87,359	3.63
Red de carreteras (kilómetros)					
Red de carreteras (kilómetros)	274	990	1	168	3.65
Consumo promedio carburantes (l/100 km)					
<i>Turismos gasolina</i>	7.54	8.06	7.03	0.31	-0.54
<i>Turismos diesel</i>	5.98	6.45	5.64	0.25	-1.02
<i>Camiones diesel</i>	30.71	31.00	30.50	0.15	-0.05

Fuentes: Elaboración propia con base en la información estadística de la Dirección General de Tráfico (DGT), el Ministerio de Fomento, Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) y MARM.

Notas: PIB y PIBINC: Millones de euros. $\Delta(1999-2012)$: Tasa de crecimiento anual promedio.

II.5. Resultados econométricos: Elasticidades de la demanda de gasolinas

II.5.1 Raíz unitaria y relaciones de largo plazo

Las estimaciones de la función de la demanda de las gasolinas se basaron en el uso de métodos econométricos que consideran el orden de integración de las series y la posible presencia del problema de la regresión espuria (Kao, 1999). Para ello se utilizaron las pruebas de raíces unitarias de Levin, *et al.* (2002); Breitung (2001); Im, *et al.* (2003); ADF (1981); Phillips y Perron (“PP”, 1988); y Hadri (2000) para las todas las series (Cuadro 2. 3). Todas las pruebas de raíces unitarias asumen no estacionariedad bajo la hipótesis nula, a excepción de la utilizada

por Hadri (2000) que asume estacionariedad bajo la hipótesis nula. Los resultados sugieren que los consumos de gasolina de turismos, de diesel turismos y de diesel camiones, la renta, los precios (diesel y gasolina turismos y diesel camiones), el stock vehicular (diesel y gasolina) y la red de carreteras entre las provincias de España son series no estacionarias, se concluye que son I(1) a un nivel de significancia estadística de cinco por ciento.

Cuadro 2. 3

Determinantes y consumo de carburantes por tipo de vehículo en provincias de España (Pruebas de raíces unitarias para datos panel)

Variable	Levin, <i>et al.</i> (2002)	Breitung (2001), Estadística t	IPS, Estadística w	ADF, Fisher Chi-Cuadrada	PP, Fisher Chi-Cuadrada	Hadri (2000), Estadística Z
<i>Niveles</i>						
Turg	-4.67	2.37	0.60	98.65	76.65	7.62
Turd	3.84	9.40	8.77	37.75	37.12	13.69
Camd	-5.37	6.66	3.59	60.34	81.23	13.61
Pib	2.91	10.22	9.82	20.02	28.03	13.66
Pibic	4.77	11.64	11.48	6.28	7.75	15.13
Preg	1.51	0.52	4.09	29.99	34.51	10.63
Pred	-14.06	-8.15	-4.28	141.99	117.14	24.08
Predc	-19.87	-18.69	-8.87	230.58	347.44	56.35
Stockg	-11.93	1.98	-2.12	113.27	260.16	14.23
Stockd	19.02	18.49	17.83	2.33	7.36	12.29
Carr	-1.96	0.37	1.95	64.76	77.89	9.97
Efitg	-7.88	0.878	-1.05	91.85	186.54	2.95
Efitd	-9.18	0.33	1.32	54.83	21.48	14.57
Eficd	12.79	15.37	14.95	0.53	1.90	14.29
<i>Primeras diferencias</i>						
Turg	-20.40	-8.32	-12.24	300.97	449.59	4.96
Turd	14.78	0.91	7.58	227.49	290.93	19.41
Camd	-20.43	-9.08	-13.07	329.28	561.02	14.16
Pib	15.91	11.38	6.35	190.05	261.12	8.03
Pibic	-16.64	-9.73	-3.53	138.47	70.46	7.113
Preg	-23.16	-8.14	-14.36	341.93	389.61	15.72
Pred	-30.19	-14.56	-17.24	400.41	847.44	70.64
Predc	-30.56	-15.44	-18.24	420.41	963.67	70.89
Stockg	-20.38	-19.86	-10.22	258.43	55.63	68.44
Stockd	-15.96	-12.40	-6.32	186.79	313.07	10.73
Carr	-16.56	-9.04	-8.18	221.36	324.22	12.81
Efitg	-10.93	-11.03	-3.99	147.30	724.52	44.33
Efitd	10.33	6.18	4.96	19.129	41.47	6.96
Eficd	10.34	-5.33	-0.56	84.46	489.63	6.58

Notas: Las probabilidades para las pruebas de Fisher se calculan utilizando una distribución Chi-cuadrada asintótica. Todas las otras pruebas suponen normalidad asintótica. Levin, *et al.* (2002) asume, al igual que la prueba de Breitung (2001), un proceso de raíz unitaria común. IPS es la prueba de Im, *et al.* (2003). La prueba IPS, ADF y PP asumen un proceso de raíz unitaria individual. La prueba de Hadri, asume estacionariedad bajo la hipótesis nula. PD: Primera Diferencia. Los números en negritas muestran el rechazo de la hipótesis nula al 5% o menos. Todas las series están en logaritmos. Periodo: 2009-2011. Número de provincias: 48. Las pruebas de raíz unitaria se llevaron a cabo con tendencias e intercepto, y los rezagos óptimos fue seleccionado de acuerdo con el procedimiento conocido como "MAIC" (Ng y Perron, 2001). Turg: Consumo de gasolina turismos; Turd:

Consumo de diesel turismos; Camd: Consumo de diesel camiones; Pib: Producto Interno Bruto por provincia; Pib: Producto Interno Bruto por provincia (a precios constantes de 2010); Pibic: Producto Interno Bruto de la industria transformadora y construcción (a precios constantes de 2010); Preg: Precio de la gasolina; Pred: Precio del diesel; Predc: Precio del diesel camiones; Stockg: Stock turismos gasolina; Stockd: Stock turismos diesel; Carr: Red de carreteras de gran capacidad. Efitg: Eficiencia del consumo de gasolina turismos, Efitd: Eficiencia del consumo de diesel turismos; Eficd: Eficiencia del consumo de diesel camiones.

Con la finalidad de asegurar la robustez estadística de nuestros resultados estimamos un modelo de panel con efectos fijos debido a que el modelo de efectos aleatorios fue rechazado por las pruebas F y de Hausman de correcta especificación del modelo. La estimación busca identificar un patrón regular que evolucionan conjuntamente en el largo plazo a partir de las variaciones en el nivel de empleo, los precios relativos de las gasolinas, el stock vehicular, la red de carreteras, la eficiencia de los combustibles y la demanda de gasolinas. Así, se especificó el modelo y se estimó por efectos fijos. Las estimaciones para el conjunto de las provincias de España se realizaron por los métodos de cointegración, atendiendo a las pruebas de Pedroni (1999; 2004) y Kao (1999). Los resultados obtenidos en el análisis de cointegración se presentan en el Cuadro 2. 4. Así, los resultados de la prueba de cointegración de panel heterogéneo de Pedroni (2004) para la función de la demanda de gasolinas total en las provincias de España, la hipótesis nula de no cointegración es rechazada en cuatro casos.¹⁷ Los resultados para la Prueba de Kao (1999) rechaza la hipótesis nula de no cointegración para el consumo de gasolinas de los provincias de España un nivel de significancia del 1%. Los resultados de la prueba tipo Fisher (*basada en la metodología de Johansen*) apoya la presencia de una relación de cointegración entre las variables: Consumo de gasolinas, renta, precio, stock vehicular, red de carreteras y eficiencia de los combustibles.

Cuadro 2. 4
Pruebas de cointegración para los modelos de demanda de carburantes

Pruebas / Modelos	Diesel turismos	Gasolina turismos	Turismos	Camiones
-------------------	-----------------	-------------------	----------	----------

Pruebas de cointegración de Pedroni

¹⁷ Las pruebas Panel ADF-statistic y Group ADF-statistic presentan mejores propiedades para muestras pequeñas que las otras pruebas, y por lo tanto son más fiables (Pedroni, 2004).

<i>Estadístico-v</i>	-1.668	-0.383	0.577	-0.109
<i>Estadístico-rho</i>	4.121	6.576	2.553	2.084
<i>Estadístico-PP</i>	-2.528**	-4.599**	-2.711**	-3.192**
<i>Estadístico-ADF</i>	-2.683**	-2.087**	-3.097**	-3.516**
<i>Estadístico-rho grupal</i>	6.612*	9.347*	5.088*	4.616*
<i>Estadístico-PP grupal</i>	-8.880**	-9.290**	-7.565**	-6.903**
<i>Estadístico-ADF grupal</i>	-4.996**	-1.477**	-4.771	-6.017**
Pruebas de cointegración de Kao				
<i>ADF (estadístico t)</i>	-4.219**	-6.901**	-2.939**	-5.677**
Pruebas de cointegración Fisher				
<i>Trace test (ninguna)</i>	1734**	988.8**	523.7**	548.8**
<i>Trace test (al menos 1)</i>	569.3	419.5	227.7	253.7

Notas: La hipótesis nula es que las variables no están cointegradas. Bajo la hipótesis nula todas las estadísticas se distribuyen como una normal estándar. La distribución de la muestra finita de las estadísticas ha sido tabulada en Pedroni (2004); ** y * indican que los parámetros estimados son significativos al 5% y 1%. La probabilidad asintótica de la prueba Fisher se calcula usando una distribución de Chi-Cuadrada; * y ** indican que el estadístico de prueba son significativos al 1% y 5%, respectivamente. Para la selección óptima de rezagos se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC).

Las estimaciones asumen que la demanda es dependiente de las mejoras tecnológicas de los motores de los vehículos. Además, se considera que los consumidores presentan cierta dificultad en el cambio a otro combustible, por tanto, los patrones de consumo del pasado determinan el comportamiento del consumo presente. Los vehículos diesel tienen una mayor economía de combustible y emiten más emisiones de CO₂ que sus homólogos de gasolina. No obstante, es probable que las magnitudes de elasticidades sean diferentes, pero los signos y las relaciones causales entre las variables independientes sean las mismas. Los resultados muestran que existe una relación de cointegración entre la demanda de carburantes, la renta, precio, stock vehicular, red de carreteras y eficiencia de los combustibles para todas las especificaciones. Por lo tanto, se mueven juntos en el largo plazo. El siguiente paso es estimar estas relaciones de cointegración. Se comenzó por estimar la demanda de carburantes, distinguiendo entre consumo de diesel y gasolina por tipo de vehículos, bajo el argumento que las elasticidades cambian en el tiempo y que difieren entre carburantes y vehículos. Estas especificaciones permiten diferenciar los efectos sobre los gases contaminantes derivados de usar carburantes distintos. Así, se estimó modelos para el consumo de diesel y gasolina de turismos. También, se estimó la suma del consumo de diesel y gasolina de turismo. De igual forma, se especificó un modelo para el consumo de diesel de camiones. En términos generales, las estimaciones reflejan una relación positiva respecto al ingreso, al stock vehicular y a las carreteras, y una

negativa en relación con los precios de los carburantes. La eficiencia de los carburantes no resultó ser una variable significativa en nuestros modelos. La magnitud de las elasticidades es consistente con las estimaciones reportadas en diversas investigaciones empíricas a nivel internacional (Dahl y Sterner, 1991a y 1991b; Goodwin, 1992; Sterner, y Dahl 1992; Espey, 1998; Graham y Glaister, 2002 y 2004; Goodwin, *et al.*, 2004; Basso y Oum, 2007). También, en buena medida, son estimaciones razonables y similares a estimaciones de estudios que se han realizado para España (González, *et al.*, 2012; Denesin y Linares, 2015).

II.5.2. La demanda de combustibles de turismos: Diesel, gasolina y agregada

A continuación se presentan los resultados de la estimación de las ecuaciones a largo y a corto plazos del consumo de carburantes para turismos. En primer lugar se estiman ecuaciones separadas para el consumo de diesel y la gasolina de turismos y, posteriormente, se estima la demanda de la suma de los dos carburantes. La evidencia obtenida sugiere que tanto el consumo de gasolina y diesel de los turismos son sensibles a los cambios de los ingresos, de los precios relativos, al stock vehicular y a la red de carreteras de alta capacidad (Cuadro 2. 5 y Cuadro 2. 6). Sin embargo, los resultados muestran importantes diferencias en la magnitud y significación de los parámetros estimados.

Los coeficientes estimados de la renta fueron de 0.278 para la demanda de gasolina y 1.342 para el diesel. La elasticidad estimada para la gasolina es inferior a los resultados hallados en la literatura, mientras que la elasticidad del diesel se encuentra por encima. Es importante destacar que no ha sido posible separar claramente el efecto renta del impacto que ha tenido el proceso de dieselización. La alta correlación entre la renta y el parque de vehículos dificulta la estimación del impacto de cada una de estas dos variables. Así, cabe observar que la suma de los coeficientes de las variables renta y turismos es prácticamente idéntica en las dos ecuaciones, aunque para los vehículos diesel el mayor efecto lo absorbe la variable renta, mientras que para los vehículos de gasolina el impacto lo absorbe el número de vehículos. Por ello, no es posible derivar conclusiones acerca de la elasticidad renta por tipo de carburante y será necesario acudir a la ecuación conjunta.

En el caso del precio de los carburantes, el resultado muestra que el consumo que más se ven afectados por el alza en el precio es la gasolina en turismos. La elasticidad precio son negativas y con valores de -0.268 y -0.430 para la demanda de diesel y gasolinas de turismos,

respectivamente. Las elasticidades reflejan el costo asociado al uso del automóvil que resulta inferior para el caso del diesel. Este resultado es sumamente interesante, la demanda de gasolina presenta una mayor sensibilidad de los consumidores que podría explicarse por un tratamiento fiscal diferenciado que han recibido el diesel y las gasolinas en el período de estudio. Para el caso del diesel, las políticas incluyeron un menor impuesto sobre el precio del combustible. Una baja sensibilidad a largo plazo de los consumidores españoles podría explicarse por el relativamente bajo precio de los combustibles en España si se compara con otros países europeos. Este es el resultado que se apunta también en González, *et al.* (2008). En España el diesel es más barato que la gasolina. No obstante, desde una perspectiva distinta, los resultados del estudio también son relevantes para evaluar el impacto que pudiese tener en las provincias las diferencias de las elasticidades precios, ya sea por motivos de mercado, de recaudación fiscal o ambiental a partir de impuestos al carbono para la reducción de emisiones contaminantes o de gases de efecto invernadero (GEI). Por tanto, la política seguida en Europa de fijar menores impuestos para el diesel que la gasolina, resultó ser una política efectiva para aumentar la cuota de vehículos a diesel en el parque total. Además, un aumento del consumo de diesel de turismos representó impactos ambientales significativos, en particular emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Cuadro 2. 5
Estimaciones para la demanda de diesel por provincias en España: Turismos

Consumo de diesel turismos			
	Largo plazo		Corto plazo
Constante	-13.611 (-11.90)*	Constante	-0.029 (-4.69)*
Precio	-0.268 (-6.99)*	Δ Precio	-0.050 (-1.75)***

Ingreso	1.342 (16.01)*	Δ Ingreso	1.00 (8.56)*
Turismos diesel	0.318 (11.76)*	Δ Turismos diesel	0.531 (7.08)*
Carreteras	0.033 (2.58)**		
		Δ Diesel turismos (-1)	0.151 (4.07)*
		ecm (-1)	-0.332 (-10.94)*
<i>Efectos fijos provincia</i>	Si		No
<i>Efectos temporales</i>	No		No
R^2 ajustada	0.987		0.485
Significancia global (F)	0.00		0.00
Prueba de Hausman χ^2	23.3 (0.00)		
Observaciones	672		576
Número de provincias	48		48

Notas: El estadístico t en paréntesis. La distribución asintótica del estadístico t es una normal estándar con T y N al infinito. * $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.1$ de confianza. Los errores son robustos a heteroscedasticidad. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales. Periodo: 1999-2012. Δ : variables en primera diferencia.

Algunos estudios estiman el consumo de gasolina sin considerar el proceso de dieselización que se observó durante los últimos años en la mayoría de los países europeos (Sterner, 2002; Pock, 2010). Esto podría conducir a estimaciones sesgadas (Hayashi, 2000; Maddala y Lahiri, 2009). Los valores de los parques automotores reportan efectos acorde con la teoría económica y todos resultaron significativos, aunque con diferente magnitud por estimación. Esto es, el parque vehicular a diesel tiene un coeficiente cercano a 0.318 en el consumo de diesel de turismos. El valor positivo del parque vehicular diesel confirma que hay un aumento en la conducción asociado con el incremento en el manejo de turismo a diesel (Hivert, 2013). La penetración de los autos a diesel resulta en la disminución de la utilización de automóviles a gasolina por lo que el consumo de gasolina disminuye de manera automática. El coeficiente del stock turismo diesel en el consumo de gasolina turismos fue negativo y significativo de -0.218. Los consumidores que utilizan vehículos cuyo precio es alto, son más propensos a cambiar a los vehículos diesel que otros, debido a que los costos de adquisición de los vehículos de combustión a diesel son más altos que para los automóviles con motor de gasolina, así, poco a poco, los usuarios menos intensivos de coches con precios altos se quedan con la flota de vehículos a gasolina, lo que sin duda reduce el consumo de gasolinas. En la estimación del consumo de gasolina turismos, también se incluyó el stock vehicular de gasolinas, este tiene un

efecto positivo y significativo. Un aumento del parque de gasolinas tendría un aumento en el consumo de combustible.

Cuadro 2. 6
Estimaciones para la demanda de gasolina por provincias en España: Turismos

Consumo de gasolina turismos			
	Largo plazo		Corto plazo
Constante	-6.316 (-8.14)*	Constante	-0.034 (-14.35)*
Precio	-0.430 (-15.82)*	Δ Precio	-0.236 (-14.40)*
Ingreso	0.278 (6.19)*	Δ Ingreso	0.335 (8.79)*
Turismos gasolina	1.320 (27.7)*	Δ Turismos gasolina	0.155 (2.46)**
Turismos diesel	-0.218 (-13.63)*		
Carreteras	0.023 (3.62)*	Δ Carreteras	0.012 (2.23)**
		Δ Gasolina turismos (-1)	0.243 (6.76)*
		ecm (-1)	-0.305 (-12.06)*
<i>Efectos fijos provincia</i>	Si		No
<i>Efectos temporales</i>	No		No
<i>R² ajustada</i>	0.987		0.456
<i>Significancia global (F)</i>	0.00		0.00
<i>Prueba de Haussman χ^2</i>	35.5 (0.00)		
<i>Observaciones</i>	672		576
<i>Número de provincias</i>	48		48

Notas: El estadístico t en paréntesis. La distribución asintótica del estadístico t es una normal estándar con T y N al infinito. * $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.1$ de confianza. Los errores son robustos a heteroscedasticidad. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales. Periodo: 1999-2012. Δ : variables en primera diferencia.

Por otra parte, se estimó las elasticidades de la suma del consumo de diesel y gasolina de los turismos (Cuadro 2. 7). Se aproximó en su forma tradicional, esto es, la demanda de carburantes en función de los precios y de la actividad económica de las provincias. Obviamente, esta especificación no permite diferenciar los efectos sobre los gases contaminantes derivados de usar carburantes distintos. Los resultados de la magnitud de las elasticidades son consistentes con las estimaciones reportadas en diversas investigaciones empíricas a nivel internacional, sobre la sensibilidad del consumo de carburantes (suma de gasolina y diesel) a cambios en el nivel de la actividad económica y los precios. Por ejemplo, un meta-análisis reciente encontró

elasticidad de los precio e ingreso de largo plazo promedio de la demanda de gasolina de -0.403 y 0.929 , respectivamente (*véase Capítulo I*). La elasticidad ingreso estimada de la demanda de combustibles en turismos es de 1.09 . Esto implica que el crecimiento económico se traducirá un aumento proporcional del consumo de combustibles. La elasticidad precio de los combustibles es negativa y con un valor de -0.335 . Estos resultados confirman la evidencia de que la elasticidad del precio de la demanda de las carburantes es inferior a la unidad, aunque estadísticamente significativa. De esta manera, para lograr reducciones significativas en el consumo de carburantes es necesario fuertes aumentos en el precio, por ejemplo a través del uso de impuestos. En comparación con nuestro meta-análisis la elasticidad de precio e ingreso a largo plazo estimadas son relativamente cercanas a los valores que se mencionan.

Finalmente, la evidencia empírica sobre cointegración sugiere que es posible identificar una trayectoria de equilibrio de corto plazo entre los determinantes de interés y el consumo de carburantes en turismos de España. En este sentido, se estimó un modelo de corrección de error (ECM) a fin de obtener respuestas a corto plazo. Los resultados de la estimación del ECM se reportan en el Cuadro 2. 5, Cuadro 2. 6 y Cuadro 2. 7. Cada coeficiente de las variables denota la elasticidad a corto plazo. Los coeficientes resultan conforme a la teoría económica y son estadísticamente significativos. También, como era de esperar las elasticidades a corto plazo resultaron de menor magnitud en términos absolutos que las estimaciones a largo plazo (*con excepción de los ingresos para la demanda de turismos a gasolina y para la suma total de turismos*). Las elasticidades ingreso a corto plazo de la demanda de diesel y gasolina resultaron en 1.00 y 0.335 , respectivamente, mientras que para la suma de carburantes su valor se ubico por encima a la unidad (1.010). Lo que implica que un aumento del 1% del PIB aumentaría por encima el consumo de carburantes (1.01%), en la misma proporción para el consumo del diesel (1.0%) y a un ritmo más lento el consumo de gasolina (0.335%). Las elasticidades de corto plazo con respecto a los precios son cercanas a cero: El diesel (-0.050), la gasolina (-0.236) y la suma de carburantes (-0.135). Este resultado confirma la evidencia de que la elasticidad del precio de la demanda de los carburantes es baja en el corto plazo. En tanto que los mecanismos de corrección de errores para los modelos de consumo de carburantes de turismos son negativos y significativos. Por tanto, los desajustes en la relación de equilibrio son incorporados en la modelación de corto plazo.

Cuadro 2. 7

Estimaciones para la demanda de carburantes por provincias en España: Turismos

<i>Consumo de carburantes (diesel y gasolina) turismos</i>			
	Largo plazo		Corto plazo
Constante	-5.407 (-8.80)*	Constante	-0.005 (-2.27)**
Precio	-0.335 (-10.69)*	Δ Precio	-0.135 (-5.16)*
Ingreso	1.090 (28.13)*	Δ Ingreso	1.010 (13.77)*
Carreteras	0.042 (5.15)*		
		Δ Carburantes (-1)	0.222 (5.76)*
		ecm (-1)	-0.335 (-11.20)**
<i>Efectos fijos provincia</i>	Si		No
<i>Efectos temporales</i>	No		No
<i>R² ajustada</i>	0.987		0.456
<i>Significancia global (F)</i>	0.00		0.00
<i>Prueba de Hausman χ^2</i>	11.2 (0.01)		
<i>Observaciones</i>	672		576
<i>Número de provincias</i>	48		48

Notas: La distribución asintótica del estadístico t es una normal estándar con T y N al infinito. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ de confianza. Los errores son robustos a heteroscedasticidad. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales. Precio: Precio promedio ponderado de los carburantes de turismos. Periodo: 1999-2012. Δ : variables en primera diferencia.

II.5.3. La demanda de combustibles de vehículos pesados: Diesel

Las elasticidades de corto y largo plazos para el transporte de mercancías (camiones a diesel) se presentan en el Cuadro 2. 8. El modelo del consumo de carburantes de camiones presenta una elasticidad ingreso significativa y con un valor positivo de 0.817, lo que indica que el transporte de mercancías y pasajeros es sensible a cambios en la trayectoria de la actividad económica. La elasticidad precio de la demanda de camiones a diesel es negativa con un valor de -0.157. La elasticidad de la demanda por diesel de los camiones es relativamente más baja que la demanda por gasolina y diesel en turismos. Esto tiene implicaciones importantes para las opciones de políticas públicas dirigidas al transporte de mercancías. El transporte de mercancías por carretera es con mucho el modo de transporte dominante en España (Ortega, *et al.*, 2011; Pérez y Miranda, 2016). Las provincias requieren del transporte, camiones para servicio ligero y pesado, para funcionar. Además de la movilidad de personas, alimentos, combustibles y otras mercancías ingresan en camiones y, del mismo modo, suelen salir. La movilidad de mercancías

en España contribuye con entre un 8.5 y 9.1% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Pérez, 2010, Pérez y Miranda, 2016). Aunque se han producido mejoras ambientales debido a la tecnología de los nuevos vehículos de transporte por carretera, también se ha producido un deterioro ambiental constante (Pérez, 2009; 2012). La disminución de las emisiones de GEI por cuenta de un mejor combustible puede llegar a ser mínima si el vehículo en el cual se usa es de un modelo muy antiguo, como sucede en el parque automotor de carga de España, el 18.1% de los camiones y furgonetas que aún se utilizan en España tienen 22 o más años de antigüedad (se matricularon antes de 1993). El uso de energía seguirá creciendo a menos que haya reducciones importantes en las intensidades energéticas de mercancías por carretera y un cambio en el reparto modal. Así, las políticas públicas dirigidas al transporte de mercancías deben de reconocer la necesidad de vincular la producción y distribución económica y consumo de energía del transporte de mercancías y sus implicaciones en el medio ambiente.

Con base en la cointegración del modelo de consumo de diesel de camiones se especifico una ecuación que toma en consideración los aspectos dinámicos a corto plazo en la relación entre las variables. En este sentido se estimó un Modelo de Corrección de Errores sintetizado en el Cuadro 2. 8, donde el *ecm* simboliza el mecanismo de corrección de error. Los coeficientes estimados denotan la elasticidad a corto plazo, son estadísticamente significativos y todos sus signos esperados son acordes con la teoría económica. En el caso de la elasticidad ingreso, el resultado sugiere que el incremento en éste representará un aumento en el consumo de gasolina en 0.456 unidades porcentuales. En el caso del precio del diesel en camiones, el resultado muestra un valor de -0.154. La proximidad de corto y largo plazos de los precios, implica que la elasticidad de los agentes económicos tiende a ajustar casi en su totalidad dentro de un año los cambios en los precios. El mecanismo de corrección de error es negativo y significativo y la velocidad de ajuste del modelo es del 51.4%, para cada año.

Cuadro 2. 8
Estimaciones para la demanda de diesel por Provincias en España: Camiones

<i>Consumo de diesel camiones</i>			
	Largo plazo		Corto plazo
Constante	5.368(21.61)*	Constante	-0.001 (-0.39)*
Precio	-0.157 (-6.30)*	Δ Precio	-0.154 (-5.37)*
Ingreso	0.817 (25.16)*	Δ Ingreso	0.496 (8.62)*
Carreteras	0.020 (2.80)**	Δ Carreteras	0.036 (2.49)**

		Δ Diesel camiones (-1)	0.129 (3.34)*
		ecm (-1)	-0.514 (-11.93)*
<i>Efectos fijos provincia</i>	Si		No
<i>Efectos temporales</i>	No		No
R^2 ajustada	0.987		0.456
<i>Significancia global (F)</i>	0.00		0.00
<i>Prueba de Hausman χ^2</i>	44.3 (0.00)		
<i>Observaciones</i>	672		576
<i>Número de provincias</i>	48		48

Notas: La distribución asintótica del estadístico t es una normal estándar con T y N al infinito. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ de confianza. Los errores son robustos a heteroscedasticidad. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales. Periodo: 1999-2012. Δ : variables en primera diferencia.

Finalmente, en las estimaciones se incluyó la red de carreteras de gran capacidad de las provincias Españolas para captura el efecto de una mejora en la red de carreteras sobre la generación de nuevo tráfico. La evidencia obtenida sugiere que tanto el consumo de gasolina y diesel (turismos), como la suma de carburantes (diesel y gasolina) de turismos y el consumo de diesel en camiones son sensibles a la ampliación de redes carreteras. Los coeficientes estimados son estadísticamente significativos y los signos esperados son correctos. Esto es un incremento de las redes de carreteras de gran capacidad aumenta el consumo de combustibles en las provincias de España. De esta manera, los resultados de este trabajo muestran que la mejora en la red de carreteras incentiva la generación de nuevo tráfico, parte del cual corresponde a un cambio modal desde otros modos como el ferrocarril. En otras palabras, la política de inversión en infraestructuras también tiene efecto en el consumo de carburantes y emisión de gases contaminantes. En la medida que la inversión favorezca modos de transporte más contaminantes, contrarrestará cualquier política de precios destinada a reducir el uso de los modos más contaminantes.

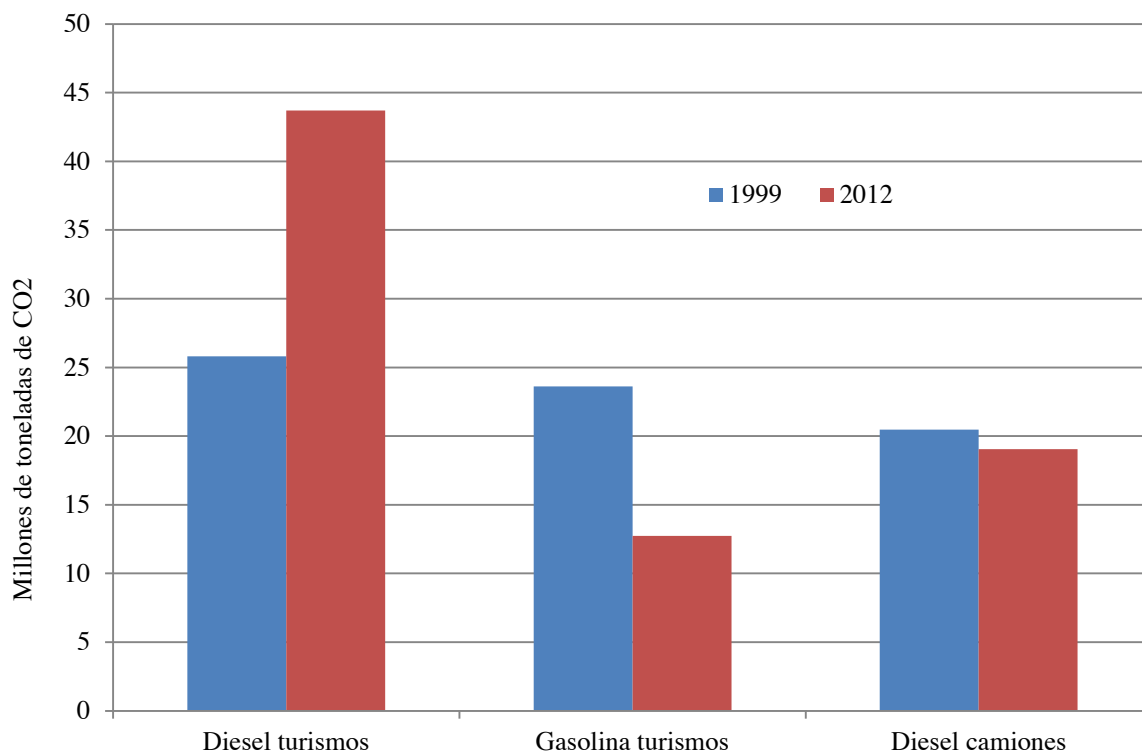
II.6. La demanda de gasolinas y emisiones de gases contaminante

La distancia recorrida ha crecido en 2.7% promedio anual en los últimos 24 años, y los estilos de vida actuales dependen de los viajes o trayectos para que la gente y las mercancías lleguen a donde se requieran y necesiten (MARM, 2016). El papel de los vehículos para el transporte de pasajeros y de mercancías en las emisiones de GEI y el consumo de combustibles fósiles es

de suma importancia. Actualmente, la quema de combustibles fósiles es el mayor contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y por lo tanto la causa principal del cambio climático. En 2014, el sector automotor en España aporta aproximadamente 75.6 millones de toneladas de CO₂ equivalente, lo que representa el 23% por ciento del total de emisiones de CO₂ equivalentes. Los turismos emitieron cerca del 66% del total de emisiones de CO₂ de la categoría de transporte por carretera, mientras que los vehículos pesados emitieron 26% (MARM, 2016).

La evolución de las emisiones estimadas de CO₂ (estimadas a partir de la metodología del IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) del consumo de carburantes en 1999 y 2012 con base en los factores de emisión se presenta en el Gráfico 2. 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Los GEI del autotransporte están expresados en unidades de CO₂ equivalente. Las emisiones de GEI correspondiente al CO₂e provenientes de la quema de combustibles diesel en España ascienden en a 56.4 millones de toneladas de CO₂ en 2012, con una tasa de crecimiento anual promedio del 1.02%, con respecto a 1990. Los camiones a diesel emitieron 12.7 millones de toneladas de CO₂, lo que representa el 25 por ciento del total de emisiones de CO₂ del transporte por carretera. Distinguiendo por tipo de combustible en turismos, destaca el firme crecimiento de la participación de emisiones del consumo de diesel frente al de gasolina. La evolución en cifras se sitúa para la gasolina en unos 23.6 millones de CO₂ equivalente en el año 1999 para descender progresivamente hasta el nivel de 12.7 en el año 2012, mientras que el diesel ha pasado de las 25.8 millones de CO₂ equivalente en año 1999 a 43.6 en el año 2012; es decir, se ha comenzado con un reparto prácticamente igualitario en el año 1999 y se ha alcanzado en el año 2012 una situación en la que el diesel representa casi las tres cuartas partes de las emisiones de CO₂ equivalentes del consumo total de carburantes de los turismos. Esto significa que a pesar de que las emisiones de gases contaminantes disminuyen en algunos casos, se seguirá emitiendo una cantidad considerable de emisiones contaminantes de CO₂.

Gráfico 2. 5
Evolución de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles en España



Fuente: Elaboración propia.

Las tasas de emisión del CO₂ (dióxido de carbono), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas (PM) son más altos en los vehículos diesel *vis a vis* los vehículos gasolina. Los vehículos a diesel, registran emisiones relativamente bajas (el metano 'CH₄' y monóxido de carbono 'CO') y reportan un mayor rendimiento de los combustibles, estas son algunas de las ventajas de los vehículos diesel. Sin embargo, estas no son las principales razones de la aceleración de la oferta y la demanda de vehículos turismos a diesel en España. El factor clave responsable de esto es la diferencia es el tratamiento fiscal donde el gasóleo goza de una ventaja significativa. Por ejemplo, la diferencia de precios entre el diesel y la gasolina. El ahorro de gases de efecto invernadero (GEI) que se esperaba por el cambio de vehículos de combustión a gasolina por diesel se han sobrestimado o resultado mínimo (Schipper, 2011). El calentamiento global se ha visto afectada negativamente, y la contaminación del aire se ha vuelto alarmante en muchos lugares de Europa (Cames y Helmers, 2013). Las políticas de transporte de bajo carbono deben abordar la cuestión de los cambios en el tamaño del vehículo y el rendimiento de los combustibles (Anderson, *et al.*, 2011). Las normas relacionadas con el CO₂ deben desalentar a los aumentos de peso y la potencia de un vehículo (Zachariadis, 2013).

La política más eficaz para hacer frente a factores ambientales del uso de combustible vehicular es un impuesto sobre el combustible (Antweiler y Gulati, 2013). El impuesto ideal, sería impuesto a cada uno de contaminantes sobre la base del daño marginal que provoca en el medio ambiente y en la sociedad, sin embargo, las realidades técnicas de este enfoque es poco práctico. En lugar de aumentar los impuestos al combustible, se suele subvencionar la compra de vehículos de bajo consumo. La mayoría de las estrategias para abordar el cambio climático requerirán reducciones significativas de este sector a través de una acción política agresiva de precios y de opciones tecnológicas, especialmente los incrementos en la eficiencia de carbono de los vehículos medianos y pesados.

II.7. Conclusiones y recomendaciones generales

La dependencia del petróleo como fuente de energía para el transporte produce condiciones cada vez más desfavorables sobre la sociedad y el medio ambiente. El sector transporte es en la actualidad, uno de los mayores impulsores de emisiones de CO₂ y representa el sector más importante de cara al desarrollo de políticas encaminadas a la reducción del consumo de gasolinas y las emisiones contaminantes asociadas. Comprender la sensibilidad de la demanda de gasolinas a las variaciones en los precios, cambios en los ingresos y sobre la evolución de la eficiencia energética tiene importantes implicaciones para las políticas públicas relacionadas con el cambio climático. Los vehículos con motor diesel se han convertido en la forma más popular de transporte privado en España en detrimento de los vehículos de combustión a gasolina, debido a los menores costos de operación, menores precios del carburante y del consumo de diesel. Del mismo modo, los vehículos diesel pesados han sido utilizados para el transporte de pasajeros y mercancías y representan una parte significativa del consumo de diesel en España.

La creación de los incentivos para los consumidores en el sector del transporte carretero es ahora una cuestión crucial y debe avanzar hacia un transporte más eficiente, especialmente en España, donde las consecuencias del cambio climático podrían resultar significativas. El documento analiza la demanda de los carburantes (gasolina y diesel) para turismos y camiones en España. Utilizando datos panel anuales desde 1999 hasta 2012. Esta separación ayuda a la construcción de modelos que consideran reciprocidades más importantes entre los agentes económicos, los incentivos para la disminución del consumo de energía y políticas de transporte. Los siguientes resultados importantes se han desprendido del análisis:

En primer lugar, los resultados obtenidos muestran que el consumo de combustibles es particularmente sensibles a la trayectoria del ingreso y poco sensibles a los precios relativos. Pero estas elasticidades difieren para el consumo de diesel y la gasolina de turismos. La poca capacidad de respuesta de los consumidores a las variaciones en los precios depende fundamentalmente a cambios estructurales, económicos, políticos y a las preferencias del consumidor. Los resultados reflejan la política seguida en Europa de fijar menores impuestos para el diesel que la gasolina. El precio de los carburantes resultó ser una variable significativa para todas las especificaciones; sin embargo, los turismos a diesel que más consumen son más inelásticos al precio del combustible. Hoy día, la aplicación de impuestos al diesel o gasolina es un elemento fundamental para generar una economía sólida ambientalmente (Stern, 2007, 2012). Sin embargo, las consecuencias de estas medidas dependen de las actuales sensibilidades de respuesta de los agentes económicos a señales de los precios, y de acuerdo a los resultados obtenidos son medidas insuficientes. No obstante, la política pública más directa de reducir el consumo de combustible es gravar el combustible. Una alternativa razonable, es combinar políticas públicas, como normas sobre la eficiencia y los impuestos sobre el carbono para contribuir al consumo óptimo y la reducción de las emisiones de GEI.

La creciente literatura sobre la demanda de gasolinas ha ofrecido bastantes resultados tanto de la elasticidad precio como en la elasticidad ingreso. Las estimaciones para el caso español son muy diversas a consecuencia de las especificaciones y de los distintos métodos de estimación. Pero también, implicaría que con el tiempo las elasticidades podrían cambiar como consecuencia de cambios económicos, políticos y tecnológicos. Sin embargo, este cambio tendría que ser diferente para las estimaciones del consumo de diesel y gasolina en turismos. En primer lugar, los datos utilizados cubren cierto periodo de tiempo y ciertas características, consumo por tipo de combustibles y vehículo, que difieren de los tratamientos de los estudios dedicados a la estimación de la demanda de gasolina. Por tanto, las políticas públicas deben ajustarse en consecuencia para dar cabida a estos cambios de comportamiento del consumidor. Existe una variación sustancial tanto con los precios de los carburantes y su consumo. En general, las provincias con precios bajos del diesel consumen más. El aumento de la preocupación por los problemas medioambientales globales combinado con la relación precio-consumo ha aumentado el interés en el uso de los impuestos al combustible como instrumento de política climática.

Desde el punto de vista ambiental, el transporte es responsable de casi una cuarta parte de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, con una participación del 24% en 2014. De este porcentaje, el 95 por ciento tienen origen en el transporte por carretera. Las emisiones por desglose de participación de vehículos corresponde a un 25.6 % a vehículos pesados, otras categorías de vehículos caracterizados de menor capacidad de carga representaron un 8.5 por ciento y la mayor contribución la hicieron los turismos con un 65.5%. Con una relación directa con las emisiones de contaminantes de turismos a diesel. Para 2012, de acuerdo con la desagregación de los datos de consumo de carburantes, los turismos con combustión a diesel tuvieron una participación del 57.9 por ciento del total del transporte por carretera (77.4% del total de emisiones de turismos). Mientras que el consumo de gasolina de turismos represento el 16.9% por ciento del total del transporte por carretera (22.6% del total de emisiones de turismos). Comparando con la distribución del año 1999, se aprecia un aumento drástico de la cuota de emisiones de CO₂ del consumo de diesel, con una participación en el total de las emisiones del 36.9 por ciento del total del transporte por carretera (52.2% del total de emisiones de turismos). Por su parte a gasolinas, aportaban el 33.8 por ciento del total del transporte por carretera (47.8% del total de emisiones de turismos). Las principales fuentes de variación de las provincias de las emisiones de CO₂ del transporte por carretera se relacionan factores dirigidas por la demanda, en particular a las diferencias en la urbanización, la propiedad del vehículo y los niveles de ingresos, y la presencia de tráfico relacionados con las mercancías.

En resumen, se ha presentado resultados que muestran que el consumo de diesel y gasolina por tipo de vehículo difieren en algunos aspectos. Como resultado, ambos combustibles deben ser tratados de manera diferente. La instrumentación y la ejecución de políticas públicas sobre los carburantes, no garantizan que conduzcan cambios drásticos en la actividad del sector transporte carretero, ya que los conductores prefieren responder a los precios de los combustibles mediante la inversión en la economía de combustible más que al adaptar el comportamiento del conductor. Políticas sobre precios pueden modificar el comportamiento del consumidor en través de la compra de automóviles de consumo más eficientes, y con sus respectivas implicaciones sobre el medio ambiente.

Referencias

- Adom, P. K., K. Amakye, C. Barnor, G. Quartey y W. Bekoe (2016) "Shift in demand elasticities, road energy forecast and the persistence profile of shocks", *Economic Modelling*, 55, 189-206.
- Advenier, P., P. Boisson, C. Delarue, A. Douaud, C. Girard y M. Legendre (2002) "Energy Efficiency and CO₂ Emissions of Road Transportation: Comparative Analysis of Technologies and Fuels", *Energy and Environment*, 13(4-5), 631-646.
- Ajanovic, A., C. Dahl y L. Schipper (2012) "Modelling transport (energy) demand and policies -An introduction", *Energy Policy*, 41, 3-16.
- Álvarez, G. S., M. Jorge y D. R. Jordán (2006) "Explorando la demanda de carburantes de los hogares españoles: Un análisis de sensibilidad", Papeles de Trabajo No. 18, Instituto de Estudios Fiscales.
- Anable, J., C. Brand, M. Tran y N. Eyre (2012) "Modelling transport energy demand: A socio-technical approach", *Energy policy*, 41, 125-138.
- Anderson, S. T., I. W. H. Parry, J. M. Sallee y Carolyn Fischer (2011) "Automobile fuel economy standards: Impacts, efficiency, and alternatives", *Review of Environmental Economics and Policy*, 5(1), 89-108.
- Antweiler, W. y S. Gulati (2013) "Market Based Policies for Green Motoring in Canada", *Canadian Public Policy*, 39(s2), 81-94.
- Arellano, M. (2003) "*Panel data econometrics*". Oxford University Press.
- Bakhat, M., J. M. Labeaga, X. Labandeira y X. López (2012) "Economic crisis and elasticities of car fuels: Evidence for Spain". WP FA15/2012, ALCOA Foundation.
- Baltagi, B. H. (2005) "*Econometric analysis of panel data*". John Wiley and Sons.
- Baltagi, B. H. y J. M. Griffin (1983) "Gasoline demand in the OECD: An application of pooling and testing procedures", *European Economic Review*, 22(2), 117-137.
- Baltagi, B. H. y J. M. Griffin (1997) "Pooled estimators vs. their heterogeneous counterparts in the context of dynamic demand for gasoline", *Journal of Econometrics*, 77(2), 303-327.
- Baltagi, B. H., G. Bresson, J. M. Griffin y A. Pirotte (2003) "Homogeneous, heterogeneous or shrinkage estimators? Some empirical evidence from French regional gasoline consumption", *Empirical Economics*, 28(4), 795-811.
- Basso, J. L. y T. H. Oum (2007) "Automobile fuel demand: A critical assessment of empirical methodologies", *Transport Reviews*, 27(4), 449-484.
- Breitung, J. (2001) "The local power of some unit root tests for panel data". En: B. H. Baltagi, T. B. Fomby y R. Carter Hill (eds.), *Nonstationary panels, panel cointegration, and dynamic panels* (Advances in Econometrics, Volume 15), Emerald Group Publishing Limited.
- Burguillo, C. M., M. J. García y D. Romero (2011) "Does dieselization favour a cleaner transport? Evidence from EU-15", *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 31(5), 571-589.
- Calthrop, E. y S. Proost (1998) "Road transport externalities. Interaction between theory and empirical research", *Environmental and Resource Economics*, 11(3-4), 335-348.
- Cames, M. y E. Helmers (2013) "Critical evaluation of the European diesel car boom -global comparison, environmental effects and various national strategies", *Environmental Sciences Europe*, 25(15), 1-22.
- Chapman, L. (2007) "Transport and climate change: A review", *Journal of Transport Geography*, 15(5), 354-367.
- Dahl, A. C. (2012) "Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities", *Energy Policy*, 41(1), 2-13.

- Danesin, A. y P. Linares (2015) “An estimation of fuel demand elasticities for Spain: An aggregated panel approach accounting for diesel share”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 49(1), 1-16.
- Delucchi, M. (2000) “Environmental externalities of motor vehicle use”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 34(2), 135-168.
- Dickey, D. A., y W. A. Fuller (1981), “Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root”, *Econometrica*, 49(4), 1057-1072.
- EEA (European Environment Agency, 2008) “Climate for a transport change term 2007: Indicators tracking transport and environment in the EU”. Copenhagen: European Environment Agency.
- Engle, R. y C. Granger (1987) “Cointegration and error correction: Representation estimation and testing”, *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- Eskeland, G. y T. Feyzioglu (1997) “Is demand for polluting goods manageable? An econometric study of car ownership and use in Mexico”. *Journal of Development Economics*, 53(2), 423-445.
- Frondel, M. y C. Vance (2010) “Driving for fun? Comparing the effect of fuel prices on weekday and weekend fuel consumption”, *Energy Economics*, 32(1), 102-109.
- Galindo, L. M., J. Samaniego, J. E. Alatorre, J. Ferrer y O. Reyes (2015) “Meta-análisis de las elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolina: Implicaciones de política pública para América Latina”, *Revista CEPAL*, 117(2), 7-25.
- González, M. R., R. M. Lorenzo y G. A. Marrero (2012) “A dynamic model for road gasoline and diesel consumption: An application for Spanish regions”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(4), 201-209.
- González, R., R. Lorenzo y G. Marrero (2008) “Fuel Consumption, Economic Determinants and Policy Implications for Road Transport in Spain”, Fundación de Estudios de Economía Aplicada (FEDEA), España, Working Paper, 23.
- Goodwin, P., J. Dargay, y M. Hanly (2004) “Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A review”, *Transport Reviews*, 24(3), 275-292.
- Graham, D. y S. Glaister (2002) “The demand for automobile fuel a survey of elasticities”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 36(1), 1-26.
- Graham, D. J. y S. Glaister (2004) “A review of road traffic demand elasticity estimates with respect to price and income”, *Transport Reviews*, 24(3), 261-64.
- Hayashi, F. (2000) “*Econometrics*”, Princeton University Press.
- Hivert, L. (2013) “Short-term break in the French love for diesel?”, *Energy Policy*, 54, 11-22.
- Im, K. S., M. H. Pesaran e Y. Shin (2003) “Testing for unit roots in heterogeneous panels”, *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.
- Johansen, S. (1988) “Statistical analysis of cointegration vectors”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 231-254.
- Johansen, S. (1995) “*Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models*”. Oxford University Press.
- Johansson, O. y L. Schipper (1997) “Measuring the long-run fuel demand of cars”, *Journal of Transport Economic and Policy*, 31(3), 277-292.
- Kao, C. (1999) “Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data”, *Journal of Econometrics*, 90(1), 1-44.
- Labandeira, X., J. M. Labeaga y M. Rodríguez (2006) “A residential energy demand system for Spain”, *The Energy Journal*, 27(2), 87-112.
- Labeaga, J. M. y A. Lopez (1997) “A study of petrol consumption using Spanish panel data”, *Applied Economics*, 29(6), 795-802.
- Levin, A., C. F. Lin y C. S. J. Chu (2002) “Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties”, *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24.

- Liddle, B. (2012) "The systemic, long-run relation among gasoline demand, gasoline price, income, and vehicle ownership in OECD countries: Evidence from panel cointegration and causality modeling", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(4), 327-331
- Liu, G. (2004) "Estimating energy demand elasticities for OECD countries a dynamic panel data approach". Discussion Papers No. 373, Statistics Norway, Research Department.
- López, N. A. (1995) "Transporte privado y fiscalidad". *Revista de Economía Aplicada*, 8(3), 25-39
- Maddala, G. S. y K. Lahiri (2009) "*Introduction to Econometrics*". John Wiley and Sons Ltd.
- Maddala, G.S. y S. Wu (1999) "A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652.
- Newbery, D. M. (2007) "Road user and congestion charges". En: S. Cnossen (ed.), *Theory and Practice of Excise Taxation: Somoking, drinking, gambling, polluting, and driving*". Oxford University Press.
- Newman, P. W. G. y J. Kenworthy (2006) "Urban design to reduce automobile dependence", *Opolis: An International Journal of Suburban and Metropolitan Studies*, 2(1), 35-52.
- Newman, P. y J. Kenworthy. (2011) "Evaluating the transport sector's contribution to greenhouse gas emissions and energy consumption". En: R. Salter, S. Dhar y P. Newman (eds.), *Technologies for Climate Change Mitigation - Transport Sector*. Denmark: UNEP Riso Centre on Energy, Climate and Sustainable.
- Ng, S. y P. Perron (2001) "Lag length selection and the construction of unit root tests with good size and power", *Econometrica*, 69(6), 1519-1554.
- Ortega, A., J. M. Vassallo y P. J. Pérez (2011) "*Efecto de la implantación del Megatruck de 60 Toneladas en España Balance del incremento de las dimensiones de los vehículos pesados*". Fundación Correll.
- Park, S. J. (2011) "Price signal or tax signal? An international panel data analysis on gasoline demand reaction". En: L. Kreiser, J. Sirisom, H. Ashiabor y J. E. Milne (eds.), *Environmental Taxation and Climate Change. Achieving Environmental Sustainability through Fiscal Policy*. Critical Issues in Environmental Taxation series. Edward Edgar Publishing.
- Parry, I. W. H., H. Sigman, M. Walls y R. C. Williams III (2006) "The incidence of pollution control policies". En: Tom Tietenberg and Henk Folmer (eds.), *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2006/2007*. Northampton, MA: Edward Elgar.
- Pedroni (1999; 2001)
- Pedroni, P. (1999) "Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 653-670.
- Pedroni, P. (1999) "Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 653-670.
- Pedroni, P. (2001) "Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels". En: B. H. Baltagi, T. B. Fomby y R. Carter Hill (eds.), *Nonstationary panels, panel cointegration, and dynamic panels* (Advances in Econometrics, Volume 15), Emerald Group Publishing Limited, pp.93-130.
- Pérez, M. P. (2010) "Freight transport, energy use, and emission trends in Spain", *Journal of the Transportation Research Board*, (2191), 16-22.
- Perez, M. P. J. (2009) "The vehicle approach for freight road transport energy and environmental analysis in Spain", *European Transport Research Review*, 1(2), 75-85.
- Pérez, M. P. J. (2012) "Energy consumption and emissions from the road transport in Spain: A conceptual approach", *Transport*, 27(4), 383-396.

- Pérez, M. P. J. y R. M. Miranda (2016) “Sensitivity analysis of impact model for road freight by the increase in the use of larger trucks in Spain”, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16(1), 1567-7133.
- Pesaran, H. M. y R. Smith (1995) “Alternative to estimating long-run energy demand elasticities an application to Asian developing countries”. En: T. Barker, N. Johnstone y Paul Ekins (eds.), *Global Warming and Energy Elasticities*, Routledge, London.
- Pindyck, R. S. y D. Rubinfeld (1990) “*Econometric Models and Economic Forecasts*”. McGraw Hill.
- Pock, M. (2010) “Gasoline Demand in Europe: New Insights.” *Energy Economics*, 32(1), 54-62.
- Puller, S. y L. Greening (1999) “Household adjustment to gasoline price change: An analysis using 9 years of US survey data”, *Energy Economics*, 21(1), 37-52.
- Rodrigues, L. y M. R. P. Bacchi (2016) “Light fuel demand and public policies in Brazil, 2003-2013”, *Applied Economics*, 1-14.
- Romero, J. D., F. J. Sanz y M. Burguillo (2014) “Is it environmentally desirable to encourage public transport through taxes? Evidence for Spanish households”, *Cogent Economics & Finance*, 2(1), 1-9.
- Santos, F. G. (2013) “Fuel demand in Brazil in a dynamic panel data approach”, *Energy Economics*, 36, 229-240.
- Schipper, L., C. Marie-Lilliu y L. Fulton (2002) “Diesels in Europe: Analysis of characteristics, usage patterns, energy savings and CO₂ emission implications”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 36(2), 305-340.
- Stanley, K. J., D. A. Hensher y C Loader (2011) “Road transport and climate change: Stepping off the greenhouse gas”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(10), 1020-1030.
- Sterner, T. (2002) “*Policy instruments for environmental and natural resources management*”. Resources for the Future.
- Sterner, T. (2007) “Fuel taxes: An important instrument for climate policy”, *Energy Policy*, 35(6), 3194-3202.
- Sterner, T. y C. Dahl (1992) “Gasoline demand modelling: Theory and application”. En: Thomas Sterner (ed.), *International Energy Modelling*. Chapman and Hall, London.
- Sterner, T., C. Dahl y M. Franzén (1992) “Gasoline tax policy: Carbon emissions and the global environment”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 26(2), 109-119.
- Sullivan, J., R. Baker, B. Boyer, R. Hammerle, T. Kenney, L. Muniz y T. Wallington (2004) “CO₂ emission benefit of diesel (versus gasoline) powered vehicles”, *Environmental science and technology*, 38(12), 3217-3223.
- Tovar, M. A. (2011) “An integral evaluation of dieselization policies for households cars”, *Energy Policy*, 39(9), 5228-5242.
- Zachariadis, T. (2013) “Gasoline, diesel and climate policy implications -Insights from the recent evolution of new car sales in Germany” *Energy Policy*, 54, 23-32.
- Zervas, E. (2006) “CO₂ benefit from the increasing percentage of diesel passenger cars: Case of Ireland”, *Energy Policy*, 34(17), 2848-2857.
- Zervas, E. y G. Bikas (2005) “CO₂ changes from the increasing percentage of diesel passenger cars in Norway”, *Energy Fuels*, 19(5), 1919-1926.
- Zervas E. y C. Lazarou (2007) “CO₂ benefit from the increasing percentage of diesel passenger cars in Sweden”, *International Journal of Energy Research*, 31, 2, 192-203.
- Zervas, E., S. Pouloupoulos, C. Philippopoulos y G. Bikas (2008) “CO₂ control by means of the increased penetration of diesel passenger cars in Finland”, *Global NEST Journal*, 10(2), 174-182.

- Álvarez, G. S., M. Jorge y D. R. Jordán (2006) “Explorando la demanda de carburantes de los hogares españoles: Un análisis de sensibilidad”, Papeles de Trabajo No. 18, Instituto de Estudios Fiscales.
- Labandeira, X. y A. López (2002) “La imposición de los carburantes de automoción en España: Algunas observaciones teóricas y empíricas”, *Hacienda Pública Española / Revista de Economía Pública*, 160-(1/2002), 177-210.
- Labandeira, X., J. M. Labeaga y M. Rodríguez (2006) “A residential energy demand system for Spain”, *The Energy Journal*, 27(2), 87-112.
- Labeaga, J. M. y A. López (1997) “A study of petrol consumption using Spanish panel data”, *Applied Economics*, 29(6), 795-802.
- López, N. A. (1995) “Transporte privado y fiscalidad”. *Revista de Economía Aplicada*, 8(3), 25-39.
- Romero, D. y J. F. Sanz (2003) “El impuesto sobre las ventas minoristas de determinados hidrocarburos. Una evaluación de sus efectos económicos”, *Hacienda Pública Española/Revista de Economía Pública*, 164-(1/2003), 49-74.
- Romero, J. D. y J. F. Sanz (2009) “Energy taxes and household compliance with the Kyoto Protocol”, *Public Finance Review*, 37(2), 142-169.
- Romero, J. D., P. Del Rio, M. Jorge-García y M. Burguillo (2010) “Price and income elasticities of demand for passenger transport fuels in Spain: Implications for public policies”, *Energy Policy*, 38(8), 3898-3909.
- Romero, J. D., J. F. Sanz y M. Burguillo (2014) “Is it environmentally desirable to encourage public transport through taxes? Evidence for Spanish households”, *Cogent Economics & Finance*, 2(1), 1-9.
- Romero, J. D., P. Del Rio y M. Burguillo (2014) “Modelling fuel demand of passenger cars in Spain: A dynamic panel data analysis using the generalised method of moments”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 48(2), 315-332.

CAPÍTULO III
DEMANDA DE VIAJES DE VEHÍCULOS LIGEROS Y PESADOS: UN
ANÁLISIS CON DATOS PANEL EN ESPAÑA

La demanda de viajes de vehículos ligeros y pesados: Análisis con datos panel en España

Resumen: Este estudio estima las elasticidades precio, el costo del combustible por kilómetro, ingresos, capacidad de carreteras, densidad poblacional y el consumo de combustible de los vehículos por km de la demanda de viajes por carretera de vehículos ligeros y pesados en España. Modelos con datos panel son estimados para 48 provincias de España durante el periodo 1999-2012. Se actualiza y sintetiza estudios previos y se incluyen los impactos medioambientales. La principal aportación consiste en cuantificar el impacto de la eficiencia del carburante y de la capacidad vial en los kilómetros recorridos por vehículos ligeros y pesados. Este esfuerzo empírico ayuda a entender el tráfico generado tradicionalmente por la red de carreteras y el derivado por otros factores, por tanto, la instrumentación de políticas públicas deben ser diferentes.

Puntos Clave:

- La utilización de los vehículos es modelada para el caso español.
- Las elasticidades ingreso estimadas son 0.55 y 0.97 en el corto plazo y 0.87 y 0.92 en el largo plazo para vehículos ligeros y pesados, respectivamente. Lo que implica demandas elásticas respecto el ingreso.
- Los resultados sugieren que la elasticidad de los precios de combustible de los vehículos pesados y ligeros son inelásticas.
- La contribución relativa de los vehículos ligeros para el uso total de energía en el transporte y las emisiones de la España se ha incrementado.
- Los resultados obtenidos varían dependiendo de la distinción de viajes por tipo de vehículo y de los determinantes empleados. Sostenemos que esto resulta crucial para considerarse en la formulación de políticas en el medio ambiente.

Palabras clave: Elasticidades del tráfico inducido, kilómetros recorridos por vehículo, transporte ligero y pesado, datos panel, emisiones de GEI, y recomendaciones de políticas públicas.

Clasificación JEL: R22, R41, Q41, Q52.

Demand for road travel of light and heavy vehicle: A panel data analysis in Spain

Abstract: This paper aims to find the estimate fuel price, fuel cost (€/km) income, capacity of roads, and car fuel consumption per km elasticities of the demand for road travel of light and heavy vehicles in Spain. Panel data models are estimated with annual data from the 48 provinces Spain over the period 1999-2012. This paper summarizes and updating previous studies and includes impact on the environment. The contribution of the study is to quantify the effect of fuel efficiency and road network on kilometers traveled by light and heavy vehicles. This empirical effort helps us understand the traffic generated, on the one hand the traditionally

obtained by road network and derived by other factors, therefore, designed transport policies must be different.

Highlights:

- The utilization of vehicles throughout their services is modeled in the case of Spanish.
- The estimated elasticities of travel demand with respect to income are 0.55 y 0.97 in the short run and 0.87 y 0.92, for light and heavy vehicles respectively, implying elastic demands for travel demand.
- The results suggest that fuel price elasticities of heavy and light vehicles are inelastic.
- The relative contribution of light vehicles to total transportation energy use and emissions in the Spain has increased.
- The results vary depending on travel characteristics such as the type of vehicle and the determinants employed. We contend that it is crucial to seriously consider effects the in policy making environmental.

Key words: Traffic demand elasticities, vehicle kilometers traveled, light and heavy vehicles, panel data, GHG emissions and public policy recommendations.

III.1. Introducción

Esta investigación cuantifica la relación entre los kilómetros recorridos por vehículo (VKT, por siglās en inglés: *Vehicle Kilometer Traveled*) ligero y pesado, la eficiencia de los carburantes, el costo del combustible por kilometro, los ingresos y la capacidad de las carreteras en el uso del vehículo de 48 provincias españolas. Contribuye a una amplia literatura relativa al impacto en la demanda de tráfico del desarrollo urbano, uso del suelo, estructura y forma urbana (Leck, 2006; Ewing y Cervero 2010); factores demográficos (Noland, 2001); longitud de la red de carreteras en ciudades (Newman y Kenworthy, 2001); infraestructura vial (Goodwin, 1996; Litman, 2001; Noland, 2001; Cervero, 2002); precio del combustible (Goodwin, 1992; Oum, *et al.*, 1992; Kwon y Lee 2014); nivel de ingresos (Wang y Shen, 2003; Le Vine, *et al.*, 2014); servicio del transporte público (Goodwin, 1993); precios del transporte (Crotte, *et al.*, 2010); consumo de combustible por kilómetro (Crotte, *et al.*, 2010; Karathodorou, *et al.*, 2010; Su, 2010, 2011) y parque vehicular (Noland, 2001; González y Marrero, 2012).

Los determinantes de la demanda de carburantes y el uso del transporte han recibido una atención considerable desde principios de los años 1970 (Espey, 1996). Recientemente, al abordar los determinantes de la demanda de combustibles y tráfico por carretera, es inevitable aludir la creciente preocupación por los problemas ambientales y el cambio climático, renovando el interés por analizar e instrumentar políticas públicas ambientales y de transporte para la reducción de la conducción y de los problemas asociados (Tiwari, *et al.*, 2011). El mayor uso del vehículo se ha relacionado con el aumento de las externalidades negativas asociadas con la congestión vehicular, incremento de las emisiones de CO₂ y otros contaminantes locales asociados con el aumento de los kilómetros recorridos, accidentes y dependencia del petróleo (Anderson, *et al.*, 1996; Ewing, *et al.*, 2009; Proost y Van Dender, 2011, 2012). En este sentido, una reducción de kilómetros conducidos por vehículo generaría muchos beneficios, por ejemplo, reducciones de la congestión del tráfico, de la contaminación del aire, de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de la dependencia de los combustibles fósiles y mejoras en la salud pública (Barla, *et al.*, 2009; Eriksson, *et al.*, 2010; Salon, *et al.*, 2012). La dinámica de la demanda de viajes por carretera ha adquirido nuevas formas y representa desafíos para la instrumentación de políticas públicas y en particular, contra el cambio climático (Goodwin, 2007; Fullerton y Karney, 2010; Santos, *et al.*, 2010).

Cambios en los patrones de viaje de transporte por carretera se ven afectados principalmente por la dinámica del desarrollo urbano en el territorio, la organización espacial de la forma urbana y la naturaleza del sistema de transporte y que han cambiado con el tiempo y modifican significativamente los pautas de consumo de energía, las distancias medias recorridas, los cambios en los motivos de los desplazamientos y aumentan las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los vehículos, carburantes y los kilómetros recorridos representan los tres componentes más importantes para abordar el comportamiento de la intensidad energética y de las emisiones de CO₂ del sector transporte (Cervero y Kockelman, 1997). En el caso de España, durante las últimas décadas, la contribución relativa de los vehículos ligeros a las emisiones de GEI ha aumentado. La proporción de kilómetros de carretera recorridos atribuible a los vehículos ligeros aumentó de 6% en 1999 al 9% en 2012, mientras que la proporción del consumo de energía se duplicó del 13% al 25%.

La teoría de la demanda del tráfico inducida es ampliamente conocida (Hills, 1996; Graham y Glaister, 2004). Las inversiones en más carreteras e infraestructura del transporte para mejorar la movilidad a corto plazo se traduce, con el tiempo, en un número mayor de viajes que cubren distancias más largas, lo que se llama *tráfico inducido* (Suzuki, *et al.*, 2014). Por sí sola, la ampliación de la oferta carretera a menudo solo proporciona alivio efímero a la congestión del tráfico. La capacidad de respuesta de la demanda de tráfico por carretera con respecto a diferentes factores explicativos ha recibido una gran atención en la literatura aplicada. Existe una amplia evidencia teórica y empírica sobre la elasticidad de los niveles de tráfico (Downs, 1962, 1992; Goodwin, 1992; Oum, *et al.*, 1992; Goodwin, 1996; Graham y Glaister, 2002; Hanly, *et al.*, 2002; Noland y Lem, 2002; Ewing y Cervero, 2010) donde se ha utilizado una amplia gama de métodos de estimación: Preferencias reveladas y declaradas; corte transversal, datos paneles, series de tiempo; con especificaciones dinámicas; con micro-datos y datos agregados; y una amplia variedad de instrumentos y enfoques teóricos, como la geografía, planificación y estructura urbana.

Sin embargo, los resultados de la demanda inducida indican que existe una variación sustancial en las estimaciones que conducen a la ambigüedad sobre las magnitud exacta (Cervero, 2002). Esto es en parte debido a las diferencias contextuales entre los estudios, por ejemplo en la cobertura espacial y en las unidades utilizadas para el análisis, pero fundamentalmente también se debe a la especificación de los modelos. Por lo tanto, la cuestión de cómo hacer inferencias

estadísticas a partir de los datos disponibles fundamentalmente requiere de gran atención en la especificación del modelo y de sus efectos causales (Graham, *et al.*, 2015).

Para el caso español, en las dos últimas décadas se ha investigado empíricamente cuáles son los factores que determinan la demanda por infraestructura vial. Se ha medido el efecto de la tarificación vial sobre los niveles de congestión vehicular causadas por la coexistencia de carreteras con y sin libre acceso (Matas y Raymond, 2003; Matas, *et al.* 2012). También, se ha estimado cuán sensibles son los vehículos ligeros y pesados que utilizan autopistas interurbanas a cambios en los precio de las *tarifas o peajes* (Álvarez, *et al.*, 2007; Gomez y Vassallo, 2015; Gomez, *et al.*, 2015). De igual manera, González y Marrero (2011) a partir de datos a nivel regional proporcionan evidencia de la existencia de una demanda inducida para el transporte en España.

Esto implica que el tráfico inducido debe tenerse en cuenta para evaluar las mejoras de capacidad vial y otros factores explicativos correctamente. Pero también implica que no existe razón a priori para suponer que la relación entre las elasticidades y la demanda de tráfico rodado es uniforme para el caso de España. En consecuencia, el objetivo principal de esta investigación es analizar y cuantificar la evidencia disponible sobre tráfico inducido a nivel provincial en España. Para el análisis sobre la capacidad de respuesta de la demanda de tráfico con respecto a una determinada variable explicativa, se utilizan los precios del combustible, los ingresos, capacidad de carreteras, densidad poblacional y eficiencia de los carburantes.

Este estudio realiza algunas contribuciones a la literatura sobre el uso del transporte carretero. La primera, actualiza y refina los trabajos previos sobre VKT en España, con datos recientes y variables adicionales, constituye, desde luego, sólo una aproximación al fenómeno del tráfico inducido, pero implica evidencia concluyente. La segunda, es que mientras que las elasticidades sobre tráfico inducido con respecto a sus factores determinantes son abundantes en la literatura, las elasticidades sobre tráfico inducido por tipo de vehículo son escasas. En tercer lugar, se cuantifica el impacto de la eficiencia del carburante y de la capacidad vial en los kilómetros recorridos por vehículos ligeros y pesados. Estudios anteriores para el caso de España no han abordado esta cuestión en particular.

Para estimar las elasticidades, utilizamos un modelo de datos panel para el periodo 1999-2012, un período durante el cual se pudo recabar información estadística. Nuestro amplio conjunto de

datos nos permite trabajar con datos anuales y con más variables explicativas de lo habitual en esta literatura. Los ingresos y la red capacidad de las carreteras se relacionan positivamente con los VKT, mientras que los precios de la gasolina, la densidad de desarrollo y la eficiencia de los carburantes se relacionan negativamente. La econometría de los datos panel, además de la literatura de transporte, nos dan una base para generalizar entre los estudios para llegar a valores de elasticidad de VKT en relación con diferentes factores determinantes.

El resto de este trabajo está estructurado de la siguiente manera: La sección 2 describe brevemente la literatura de las elasticidades de la demanda de viajes por carretera. Los datos disponibles para este estudio se reportan en la parte 3. La especificación del modelo de la demanda de tráfico se presenta en la parte 4. La quinta sección incluye los resultados econométricos de los modelos de demanda de tráfico. Por último, se resumen las principales conclusiones del trabajo.

III.2. Revisión de la literatura empírica sobre tráfico inducido

Numerosos estudios han intentado estimar los efectos de los determinantes sobre la demanda del tráfico por carretera, y es casi imposible mencionarlos a todos. Por ejemplo, Oum, *et al.* (1992); Goodwin (1992, 1996), Dahl (1995); Noland y Lewison (2000); Noland y Lem (2002); Leck (2006); Cervero y Ewing (2010); y Ewing, *et al.* (2014) ofrecen una revisión exhaustiva de la literatura. Esta revisión abarca principalmente, cinco temas relacionados con los VKT: Estructura y forma urbana, capacidad e infraestructura vial, peajes (*tarifas en autopistas, puentes, carreteras, etc.*) y precio de los carburantes (Cuadro 3. 1). Estas relaciones proporcionan la gran mayoría de las variables independientes necesarias para explicar los niveles de VKT en diferentes contextos. La elección de la técnica econométrica depende fundamentalmente del tipo de datos disponibles y el propósito del estudio. Las elasticidades reportadas en la literatura varían ampliamente (Goodwin, *et al.* 2004; Graham y Glaister, 2004, 2005). No obstante, las recomendaciones de política no deben ser indiferentes a los métodos econométricos utilizados para obtener las elasticidades (Odeck y Johansen, 2016).

La evidencia empírica confirma la presencia del tráfico inducido mediante la sensibilidad de respuesta de los agentes a cambios en los precios (Goodwin, 1992,1996; Graham y Glaister, 2004; Goodwin, *et al.*, 2004). Las elasticidades de corto y largo plazo de los kilómetros recorridos por vehículos con respecto a los precios del combustible generalmente coinciden en

la magnitud de las elasticidades medias encontradas en la literatura, reportando un valor medio entre -0.15 y -0.30 para el corto y largo plazos, respectivamente. Aunque también se pueden observar valores cercanos a cero (Dahl, 1995). Además, el costo del combustible también ha sido identificado como factor que afecta los VKT (Greene, *et al.*, 1995; Heanue, 1998; Noland, 2001; Southworth, 2001; Liddle, 2009; Su, 2011). En el contexto urbano y rural, la demanda de viajes con respecto al costo del combustible por km es altamente inelástica (Noland, 2001); en el contexto urbano con series históricas (1966-2004) la elasticidad costo del combustible por km se ha estimado en -0.21, mientras que la elasticidad reciente (periodo: 2000-2004) es mucho menor (-0.057) (Small y Van Dender, 2007).

Cuadro 3. 1
Factores de políticas públicas y efectos en los kilómetros recorridos por vehículo
(Literatura internacional)

Factor / Variable independiente	Elasticidad		Variable dependiente / Datos	Región / País	Autor
	Corto Plazo	Largo Plazo			
<i>Precios</i>					
Precio gasolina	-0.024 a -0.090	-0.31 a -0.22	vkt (ts, pd)	Australia	Oum, <i>et al.</i> (1992)
	-0.23	-0.28		Estados Unidos	
Precio gasolina	-0.16	-0.33	vkt (survey 11 estudios)	Internacional	Goodwin (1992)
Precio gasolina	-0.1	-0.26	vmt (survey 28 estudios)	Australia	Luk y Hepburn (1993)
Precio gasolina	-0.13	-0.30 a -0.01	vkt (survey 10 estudios)	Internacional	Dahl (1995)
Precio gasolina	-0.22 a -0.02 (-0.15)	-0.22 a -0.22 (-0.31)	vkt (survey)	Europa	TRACE (1999)
	-0.04	-0.14		Estados Unidos	
Precio gasolina	-0.16	-0.71	vkt (ts)	Europa	Wohlgemuth (1997)
	-0.02	-0.45		Japón	
Precio gasolina	-0.20 a -0.02 (-0.16)	-0.41 a -0.20 (-0.26)	vkt (survey 50 estudios)	Europa	De Jong y Gunn (2001)
Precio gasolina	-0.337	-0.531	vkt/d (pd)	España	Matas y Raymond (2003)
Precio gasolina	-0.15	-0.31	vkt (survey)	Internacional	Graham y Glaister (2004)
Precio gasolina	-0.10	-0.29	vkt (survey)	Internacional	Goodwin, <i>et al.</i> (2004)
	-0.10	-0.30			
Precio gasolina	-0.080		vkt/a	Canadá	CBC (2006)
	-0.195		vkt/cl		
Precio gasolina	-0.063		vkt/a (pd)	España	Álavarez, <i>et al.</i> (2007)
	-0.090		vkt/cl (pd)		

Precio gasolina	0.20 a -0.03 -0.55 a -0.12	-0.53 a -0.32 -0.29	vkt (meta-análisis) vkt/v (meta-análisis)	Internacional	Brons, <i>et al.</i> (2008)
Precio gasolina	-0.171 a -0.17		vmt (cs)	Áreas urbanas/ Estados Unidos	Ewing, <i>et al.</i> (2008)
Precio gasolina	-0.21 a -0.11 -0.29 a -0.16		vkt (pd) vkt (pd)	Los Ángeles/ Estados Unidos	Burger y Kaffine (2009)
Precio gasolina		-0.117	vkt (pd)	México	Crotte, <i>et al.</i> (2009)
Precio gasolina	-0.380	-0.628	vkt (pd)	España	Matas, <i>et al.</i> (2009)
Precio gasolina	-0.242 y -0.229		vkt (cs)	84 ciudades de 42 países	Karathodorou, <i>et al.</i> (2010)
Precio gasolina	-0.09		vkt (pd)	Belgica	OCDE (2011)
Precio gasolina	-0.051	-0.23	vmt/vl (ts)	Estados Unidos	Greene (2012)
Precio gasolina		-0.117 -0.350	vkt/cl (pd) vkt/a (pd)	Chile	Saens y Lobos (2013)
Precio gasolina		-0.929 a -0.511	vmt (md)	Estados Unidos	Spiller, <i>et al.</i> (2014)
Precio gasolina	-0.040		vmt (md)	Áreas urbanas / Estados Unidos	Su (2014)
Precio gasolina	-0.471 y -0.068		nvr (ts)	Chile	De Grange, <i>et al.</i> (2015)
Precio gasolina	-0.148 y -0.110	-0.358 y -0.235	vkt (pd)	Noruega	Odeck y Johansen (2016)
Peaje	-0.828 a -0.209	-1.307 a -0.330	vkt (pd)	España	Matas y Raymond (2003)
Peaje	-0.537 -0.395		vkt/a (pd) vkt/cl (pd)	España	Álavarez, <i>et al.</i> (2007)
Peaje	-0.45 -0.504 -0.716 -0.804	-0.82	vkt (ts) vkt/a (ts) vkt/vl (ts) vkt/cl (ts)	Noruega	Odeck y Brathan (2008)

	-0.516		vkt/cp (ts)		
Peaje	-0.488 a -0.155	-0.805 a -0.256	vkt (pd)	España	Matas, <i>et al.</i> (2009)
Peaje		-0.050	vkt/cl (pd)	Chile	Saens y Lobos (2013)
		-0.167	vkt/a (pd)		
Peaje	-0.470 y -0.044		nvr (ts)	Chile	De Grange, <i>et al.</i> (2015)
Costo carburante	-0.025	-0.080	vmt/pc (ts, cs)	Áreas urbanas / Estados Unidos	Noland y Cowart (2000)
Costo carburante	-0.080 y -0.080	-0.187 y -0.168	vkt/pa	Canadá	Barla, <i>et al.</i> (2009)
Costo carburante	-0.0276	-0.110	vmt/pc (dp)	Estados / Estados Unidos	Su (2011)
Costo carburante	-0.0042	-0.0073	vkt/cl (ts)	Dinamarca	De Borger y Mulalic (2012)
<i>Estructura vial</i>					
Vialidades (millas)	0.46 a 0.50		vmt (ts, cs)	California / Estados Unidos	Hansen, <i>et al.</i> (1993)
	0.54 a 0.61				
Vialidades (millas)	0.30	0.68	vmt (ts, cs)	California / Estados Unidos	Hansen y Huang (1997)
	0.50	0.94			
Vialidades (millas)	0.284	0.904	vmt/pc (ts, cs)	Áreas urbanas / Estados Unidos	Noland y Cowart (2000)
Vialidades (millas)	0.30 a 0.60		vmt (ts, cs)	Condados / Estados Unidos	Fulton, <i>et al.</i> (2000)
Vialidades (millas)	0.30 a 0.60	0.70 a 1.00	vmt (ts, cs)	Estados / Estados Unidos	Noland (2001)
Vialidades (millas)	0.59	0.79mr	vmt (ts)	California / Estados Unidos	Cervero y Hansen (2002)
Vialidades (millas)	0.10	0.39	vmt (meta-análisis)	California / Estados Unidos	Cervero (2003)
Vialidades (millas)	0.30 a 0.5		vkt (survey)	Internacional	Goodwin y Noland (2003)
Vialidades (millas)		0.15	vkt-g (ts)	México	Galindo, <i>et al.</i> (2006)
Vialidades (millas)		0.86	Vkt		Duranton y Turner (2011)

		0.67 a 0.89		Ciudades / Estados Unidos	
Vialidades (millas)		1.24 a 1.34	vkt (pd)	Japón	Hsu y Zhang (2014)
Vialidades (millas)	0.026 a 0.274	0.367 a 0.773	pkt (pd)	China	He y Zhao (2014)
Nueva vialidad (millas)		0.60 a 1.10	vkt (ts, cs)	Sacramento / Estados Unidos	Rodier, <i>et al.</i> (2001)
Longitud carretera	0.09 y 0.146		vkt (cs)	84 ciudades de 42 países	Karathodorou, <i>et al.</i> (2010)
<i>Actividad económica</i>					
PIB per cápita	0.294	0.227mr	vmt (ts)	California / Estados Unidos	Cervero y Hansen (2000)
PIB per cápita	0.091	0.290	vmt/pc (ts, cs)	Áreas urbanas / Estados Unidos	Noland y Cowart (2000)
PIB per cápita	0.02 a 0.20		vmt (ts, cs)	Estados / Estados Unidos	Fulton, <i>et al.</i> (2000)
PIB per cápita	0.118		vmt/pc (dp)	Estados / Estados Unidos	Su (2011)
	0.78	1.04		Estados Unidos	
PIB	0.23	1.04	vkt	Europa	Wohlgemuth (1997)
	0.33	0.85		Japón	
PIB	0.890	1.405	vkt/d (pd)	España	Matas y Raymond (2003)
PIB	0.30	0.73	vkt (survey)		
	-0.005	0.17	vkt/v (survey)	Internacional	Goodwin, <i>et al.</i> (2004)
PIB	0.705		vkt/a		
	0.721		vkt/cl	Canadá	CBC (2006)
PIB	0.830		vkt/a (pd)		
	1.319		vkt/cl (pd)	España	Álavarez, <i>et al.</i> (2007)
PIB	0.53 a 0.54		vmt (cs)	Áreas urbanas/ Estados Unidos	Ewing, <i>et al.</i> (2008)
PIB	0.391	0.565	vkt (ts)	Noruega	Odeck y Brathan (2008)

PIB	0.754	1.244	vkt (pd)	España	Matas, <i>et al.</i> (2009)
PIB	0.132 y 0.072	0.277 y 0.167	vkt/pa	Canadá	Barla, <i>et al.</i> (2009)
PIB	0.236		vkt (ts)	Santiago/Chile	Zegras (2010)
PIB	0.21		vmt/pc	Áreas urbanas / Estados Unidos	Cervero y Murakami (2010)
PIB	0.155 y 0.163		vkt (cs)	84 ciudades de 42 países	Karathodorou, <i>et al.</i> (2010)
PIB	0.53		vkt (dp)	Belgica	OCDE (2011)
PIB	0.141	0.632	vmt/vl (ts)	Estados Unidos	Greene (2012)
PIB		0.46	vmt (md)	Reino Unido	Dargay y Clark (2012)
PIB		1.376	vkt/cl (pd)	Chile	Saens y Lobos (2013)
PIB	0.338 y 0.361		pkt (pd)	China	He y Zhao (2014)
PIB	0.161		vmt (md)	Áreas urbanas / Estados Unidos	Su (2014)
PIB	0.042 y 0.061	0.130 y 0.181	vkt (ts)	Noruega	Odeck y Johansen (2016)
Actividad transporte carga	0.485	0.831	vkt/cl (ts)	Dinamarca	De Borger y Mulalic (2012)
<i>Variables urbanas</i>					
Densidad poblacional	-0.300 a -0.152		vmt (cs)	Áreas urbanas/ Estados Unidos	Ewing, <i>et al.</i> (2008)
Densidad poblacional	-0.242 y -0.229		vkt (cs)	84 ciudades de 42 países	Karathodorou, <i>et al.</i> (2010)
Densidad poblacional	-0.38		vmt/pc	Áreas urbanas / Estados Unidos	Cervero y Murakami (2010)
Densidad poblacional	-0.25 a -0.08		vmt/pc	Áreas urbanas / Estados Unidos	Ewing, <i>et al.</i> (2014)
Población	0.50 a 0.70		vmt (ts, cs)	Estados / Estados Unidos	Fulton, <i>et al.</i> (2000)
Población	0.690	0.699mr	vmt (ts)	California / Estados Unidos	Cervero y Hansen (2000)
Población	0.87 a 0.97		vmt (cs)	Áreas urbanas/ Estados Unidos	Ewing, <i>et al.</i> (2008)

Población/Conductores	0.098	0.39	vmt/pc (dp)	Estados / Estados Unidos	Su (2011)
Población	0.55 a 0.75		vmt/pc	Áreas urbanas / Estados Unidos	Ewing, <i>et al.</i> (2014)
Población	0.471 a 0.570		pkt (pd)	China	He y Zhao (2014)
<i>Otras variables</i>					
Distancia CBD	0.256		vkt (ts)	Santiago/Chile	Zegras (2010)
Densidad del empleo	-0.079	0.107mr	vmt (ts)	California / Estados Unidos	Cervero y Hansen (2000)
Índice de urbanización	-0.004		vmt/pc (dp)	Estados / Estados Unidos	Su (2011)
Eficiencia carburante	0.102mr		vkt (pd)	Ciudad de México	Crotte, <i>et al.</i> (2009)
Eficiencia carburante	-0.366 y -0.296		vkt (cs)	84 ciudades de 42 países	Karathodorou, <i>et al.</i> (2010)
Eficiencia carburante	0.0095	0.04	vmt/pc (dp)	Estados / Estados Unidos	Su (2011)
Eficiencia carburante	0.032	0.143	vmt/vl (ts)	Estados Unidos	Greene (2012)
Economía carburante	0.161		vmt (md)	Áreas urbanas / Estados Unidos	Su (2014)
Propiedad vehicular	-0.361 y -0.275		vkt (cs)	84 ciudades de 42 países	Karathodorou, <i>et al.</i> (2010)
Vehículos ligeros registrados	0.106	0.475	vmt/vl (ts)	Estados Unidos	Greene (2011)
Flota vehicular	0.512mr		vkt (pd)	Ciudad de México	Crotte, <i>et al.</i> (2009)
Flota vehicular/adulto	0.035 y 0.169	0.074 y 0.394	vkt/pa	Canadá	Barla, <i>et al.</i> (2009)
Flota vehicular per cápita	0.0563	0.23	vmt/pc (dp)	Estados / Estados Unidos	Su (2011)
Flota vehicular	0.127	0.023 y -0.03	vkt	Noruega	Odeck y Johansen (2016)

Fuente: Elaboración propia con base en la información estadística de los estudios revisados.

Notas: Variables dependiente: vkt: kilómetros recorridos por vehículo; vmt: vehicle miles traveled; vkt/v: kilómetros recorridos por vehículo/parque vehicular; vkt/pc: kilómetros recorridos por vehículo/per cápita; vkt/pa: kilómetros recorridos por adulto; vkt/d: kilómetros recorridos por vehículo/volumen promedio diario; vkt/cl: kilómetros recorridos por vehículo (camiones ligeros); vkt/cp: kilómetros recorridos por vehículo (camiones pesados); vkt/vl: kilómetros recorridos por vehículo (ligeros) vkt/a: kilómetros

recorridos por vehículo (automoviles); vkt-g: demanda de gasolina proxy kilómetros recorridos; pkt: kilómetros de pasajeros de transporte; nvr: número de vehículos registrados en cada estación de peaje. Varibales independientes: Costo carburante: Costo del combustible por kilometro. Distancia CBD: distancia del centro o distrito financiero (CBD, central business district). Tipo de datos: st: series de tiempo; dp: datos panel; cs: corte transversal; md: microdatos; meta-análisis: resume, integra e interpreta los resultados de diversos estudios empíricos. Entre paréntesis el vaor medio. mr: elasticidad a medio plazo

La literatura aplicada establece una base sólida para una relación causal entre la infraestructura vial y la generación de más recorridos de los vehículos, aunque sus estimaciones de esta elasticidad varían ampliamente tanto en corto como en el largo plazos (Kitamura, 1994; SACTRA, 1994; Goodwin, 1996; Cairns *et al.*, 1998; Dowling y Colman, 1998; DeCorla y Cohen, 1999; Litman, 1999; Noland, 1999; Noland y Lem 2002; Goodwin y Noland, 2003; Cervero, 2002). Por ejemplo, se ha estudiado el impacto de la infraestructura vial (*red de carreteras*) (Hansen, 1997; Cervero, 2000; Barr, 2000; Noland y Cowart, 2000; Litman, 2001; Cervero y Hansen, 2002; Hymel, *et al.*, 2010; Durantón y Mateo, 2011; Delsaut, 2014; Zhao y He, 2011, 2014). La elasticidad estimada oscila entre 0.3 y 0.6 en el corto plazo y entre 0.7 y 1.0 en el largo plazo (Noland, 2001). También se ha cuantificado los efectos sobre los VKT del aumento del kilometraje, densidad y la capacidad (Ruiter *et al.*, 1979; Strathman, *et al.*, 2000; Rodier, *et al.*, 2001; Contrino y McGuckin, 2009; Su, 2010, 2011). Algunos resultados sustentan que el vínculo entre el tráfico y la capacidad de las carreteras es mucho más complejo de lo que previamente se pensaba, por tanto, esto tiene importantes implicaciones en la formulación de políticas públicas en el transporte y en el desarrollo de la infraestructura urbana (Behrens y Kane, 2004).

Para controlar la heterogeneidad en los datos, las metodologías econométricas contemplan el uso de otros factores explicativos que influyen en la demanda del volumen del tráfico carretero. El crecimiento poblacional es considerado como uno de los principales contribuyentes al crecimiento de los VKT (Greene, *et al.*, 1995; Souleyrette, *et al.*, 1995; Heanue, 1998; Fulton, *et al.*, 2000; Polzin, *et al.*, 2004). Algunos autores han cuantificado la relación entre los kilómetros recorridos y diversas variables socioeconómicas y demográficas, como los ingresos, edad, género, raza, nivel de educación número de trabajadores y de conductores (Burchell, *et al.*, 2002; Hu, *et al.*, 2000; Bagley y Mokhtarian, 2002; Dargay, *et al.*, 2002; Graham y Glaister, 2002; Hanly, *et al.*, 2002; Kweon y Kockelman, 2004; Litman, 2005; McGuckin y Liss, 2005; Brownstone y Golob, 2009; Liddle, 2009). De esta manera, los niveles de los kilómetros recorridos aumentan con el incremento en los ingresos, en el nivel de educación, en la población, en el número de trabajadores y de conductores. Además, la disponibilidad, el número y el tipo de vehículos contribuyen a un aumento en VKT (Souleyrette, *et al.*, 1995; Bagley y Mokhtarian, 2002; Kweon y Kockelman, 2004; McGuckin y Liss, 2005; Polzin, 2006; Liu y Shen, 2011).

Por otra parte, durante los noventa surgió un debate académico sobre la correlación entre el uso del suelo y el consumo de gasolinas (Mindali, *et al.*, 2004). Algunas investigaciones muestran que el desarrollo urbano aumenta la demanda de energía, lo que genera más emisiones contaminantes (Jones, 1991; Parikh y Shukla, 1995; Cole y Neumayer, 2004, York, 2007). Por el contrario, se sostiene que el desarrollo y la densidad urbana mejoran el uso eficiente de la infraestructura pública, disminuyendo el consumo de energía y las emisiones (Chen, *et al.*, 2008, Liddle, 2004 y Newman y Kenworthy, 1989). Varios indicadores, como la densidad o el desarrollo y la forma urbana se han examinado en respuesta a este debate (Holtzclaw, 1994; Chatman, 2008; Fang, 2008). Por ejemplo, Cervero y Murakami (2010) estiman que las densidades de población más altas están fuertemente asociadas con la reducción de VKT. De hecho, la evidencia sugiere el diseño de instrumentos de política que promuevan un desarrollo de la densidad residencial para reducir la contaminación del aire, la congestión del tráfico y consumo de energía (Cervero y Kockelman, 1997; Dulal, *et al.*, 2011; Lin y Yang, 2009).

Esta discusión académica también trajo consigo una serie de estudios que han documentado las características específicas del entorno construido sobre el comportamiento de los viajes a nivel desagregado, específicamente para contrastar la hipótesis de que las políticas sobre el entorno construido presentan reducciones significativas en la cantidad de viajes en automóviles (Handy, 1996; Badoe y Miller, 2000; Crane, 2000; Boarnet y Crane, 2001; Ewing y Cervero, 2001; Stead y Marshall, 2001; Cervero, 2003; Saelens, *et al.*, 2003; Handy, 2004; Heath, *et al.*, 2006; McMillan, 2005, 2007; Pont, *et al.*, 2009; Cao, *et al.*, 2009; Ewing y Cervero, 2010; Lefevre, 2010). También, se ha analizado cómo descienden las distancias recorridas en función del incremento de la densidad, la diversidad y el diseño (Cervero y Kockelman, 1997), seguido más tarde por la accesibilidad y la distancia (Ewing y Cervero, 2001, 2010; Ewing, *et al.*, 2009; Liu y Shen, 2011; Nasri y Zhang, 2012; Salon, *et al.*, 2012; Tracy, *et al.*, 2011; Næss, 2012). Autores como Ewing y Cervero (2001) encuentran que las tendencias de los kilómetros recorridos por automóvil están fuertemente influenciadas por la accesibilidad. Otros autores (Cervero y Kockelman, 1997, Cervero, 2002, Cervero y Arrington, 2008, Chen, *et al.*, 2008) demuestran una menor propensión a realizar viajes en automóvil y una mayor tendencia a compartir viajes ó utilizar el transporte masivo en aquellos vecindarios donde las densidades son elevadas y existe diversidad de los usos del suelo. También, se ha concluido que un incremento de conectividad en las calles reduce el número de viajes en coche y el tráfico en las vías principales (Handy, *et al.* 2004).

Conforme aumentan los VKT por habitante, se aumentan el consumo de combustibles fósiles, las emisiones contaminantes (dióxido de carbono “CO₂”) y la ocupación de suelo por la expansión de carreteras (Suzuki, *et al.*, 2014). Revisiones recientes examinan la conexión entre el entorno construido y los VKT para abordar la importancia de las políticas de uso de la tierra (*densidad de uso del suelo, de la red de carreteras, de las poblaciones y de la actividad económica*) en los kilómetros recorridos y su relación con la reducción del consumo de carburantes y gases de efecto invernadero (Handy y Niemeier, 1997; Handy, *et al.*, 2005; Foltete y Piombini, 2007; Ewing y Cervero, 2010). De hecho, bajo ciertas consideraciones, el uso del suelo apropiado podría desempeñar un papel fundamental en la reducción de VKT, de los gases contaminantes y del consumo de carburantes (Handy, *et al.*, 2005; Ding, *et al.*, 2014).

Otro tema orientado al uso del automóvil es contexto urbano. La evidencia internacional sobre las estrategias de planeación urbana y el uso del automóvil se han analizado por medio del uso de meta-análisis (Stamps, 1990, 1999; Smith y Huang, 1995; Button y Kerr, 1996; Button y Nijkamp, 1997; Nijkamp y Pepping, 1998; Cervero, 2002; Graham y Glaister, 2002; Bunn, *et al.*, 2003; Debrezion, *et al.*, 2003; Duncan, *et al.*, 2005; Lauria y Wagner, 2006; Leck, 2006; Hamer y Chida, 2008; Babisch, 2008; Bartholomew y Ewing, 2008; Zhang, 2009). Sin embargo, los estudios no son del todo concluyentes en el grado de asociación entre la forma urbana, el uso de energía, las emisiones asociadas, y la utilización de diferentes instrumentos de política de transporte para lograr una reducción de consumo de energía y metas ambientales. Por ejemplo, en la planificación urbana se ha considerado el impacto de los cambios de uso del suelo en las emisiones de GEI del transporte con relaciones poco claras y con resultados limitados (Anderson, *et al.*, 1996; Bartholomew y Ewing, 2008). No obstante, un resultado interesante, se asocia con un aumento del 40% de la densidad residencial y una reducción del 5% menos de los VKT recorridos (Brownstone y Golob, 2009).

Para el caso de España, a continuación se presenta algunos resultados encontrados sobre la las elasticidades de la demanda de uso del vehículo con respecto a la variable de costo: Peajes, variables que son particularmente importantes para los conductores y que se han vuelto cada vez más un mecanismo común para financiar los proyectos de carreteras. Matas y Raymond (2003) incorporaron la variable de red de autopistas de peaje como factor importante en las decisiones de viajes en el sector transporte. Los autores estimaron para el período 1981-1998 la elasticidad del tráfico respecto al peaje. Las elasticidades precio de la demanda por infraestructuras de peajes de autopistas urbanas e interurbanas se ubican en el orto plazo entre

-0.209 a -0.828 y en el largo plazo entre -0.330 a -1.307. En el corto plazo, los usuarios de rutas concesionadas responden a una política de subida de precios del peaje con una disminución en el número y frecuencia de los viajes, con una reducción en la distancia recorrida o con cambios a otros medios de transporte. En el largo plazo, un aumento en el precio incide en la adquisición de un vehículo o en la localización geográfica de la actividad económica. Estos resultados se han actualizado con elasticidades de peaje de menos magnitud, las elasticidades peajes se ubican alrededor de -0.155 y -0.488 en el corto plazo, para el largo plazo se ubica en -0.256 y -0.805 (Matas, *et al.*, 2012). Los autores indican que las elasticidades pueden variar dependiendo de factores tales como las limitaciones de capacidad de la infraestructura vial.

Por su parte, Alvaréz, *et al.* (2007) estima el valor del tiempo y las elasticidades viaje, tanto para autopista de peaje y caminos sin peaje. Los resultados sobre la elasticidad de la demanda con respecto al peaje hallan que está estadísticamente significativa para los vehículos de pasajeros y de carga, con valores de -0.537 y -0.395, respectivamente. Los estudios más recientes sobre estimación de elasticidades de demanda por autopistas interurbanas que cobran peaje corresponden a Gomez y Vassallo (2015) y Gomez, *et al.* (2015). Los autores estiman cuán sensibles son los vehículos ligeros y pesados de la autopistas interurbanas a cambios en el precio (tarifa o peaje). También, usando datos de las principales regiones de España se ha proporcionado evidencia de la existencia de una demanda inducida para el transporte en España (González y Marrero, 2011). La elasticidad estimada a corto plazo es de 0.12, mientras que la de largo plazo es casi 0.25. Los resultados varían dependiendo del método de estimación empleado.

La diversidad de los factores que intervienen en la demanda de tráfico por carretera ha despertado el interés por explicar la demanda de viajes por carretera desde diversos enfoques y variables explicativas. Mientras que los estudios anteriores han investigado el efecto de las características demográficas y socioeconómicas, la capacidad vial, los precios del combustible y peajes, los efectos y determinantes en los VKT no han sido examinados por completo. Hasta donde sabemos, ningún estudio ha proporcionado estimaciones de elasticidades de la demanda de tráfico con datos a nivel provincia y por tipo de vehículos en España. Por otra parte, algunas investigaciones han analizado el impacto de la eficiencia de los carburantes en la demanda de uso de vehículos. Para el caso de España, los estudios anteriores no han abordado esta cuestión en particular.

III.3. Análisis de los datos

La muestra está compuesta por datos anuales de los kilómetros recorridos por vehículos (*ligeros y pesados por separado*), precio real de los carburantes, actividad económica, el costo del combustible por kilometro, capacidad de carreteras, densidad poblacional y el consumo de combustible de los vehículos por km, correspondientes a 48 provincias durante el periodo 1999-2012 (Cuadro 3. 2). Los kilómetros recorridos por vehículo (*millones de vehículos-km*) se obtuvieron de la información del Anuario Estadístico (*sección tráfico*) del Ministerio de Fomento y corresponde a la longitud de redes de carreteras por titularidad y provincias: Estado, comunidades autónomas y diputaciones. Para diferenciar por tipo de vehículo: ligeros y pesados, se identifico el flujo vehicular para toda la red asociando el porcentaje que le corresponde de los tres tipos de carreteras.

En las estimaciones de los kilómetros recorridos por vehículos ligeros se incluyo el precio promedio ponderado de los carburantes (gasolina¹⁸ y diesel). Por su parte en el modelo de vehículos pesados se incluyo el precio del diesel considerando el tratamiento fiscal que recibe. Para ello se calculo el precio del diesel descontando el impuesto al valor agregado (IVA). Las series nominales fueron recopilados de la base de datos de la Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos (CORES) por provincias y comunidades autónomas. Se consideraron precios reales de los carburantes (*expresado en céntimos de euro por litro*) por provincia, por lo cual fueron deflactados con los índices de precios internos por provincia, esta última información fue recopilada desde el Instituto Nacional de Estadística (INE).

Un extensa literatura del transporte aborda la elasticidad ingreso (Le Vine, *et al.*, 2014) y generalmente han encontrado una relación positiva entre los niveles de ingreso. Como medida del nivel de la actividad económica se utilizó el Producto Interno Bruto (PIB) y fue recopilada de las estadísticas INE. También se emplea el Producto Interno Bruto de la industria transformadora y construcción (PIBIC, a precios constantes de 2010) con la finalidad de explicar los efectos económicos en el tráfico de mercancías por carretera. De igual manera, en las estimaciones de los kilómetros recorridos se incluyó la densidad de la población. Esto en principio, porque la densidad podría afectar a distancias de conducción debido a las actividades en lugares más densos se encuentran con mayor proximidad de modo que las longitudes de

¹⁸ El consumo de gasolina incluye el consumo de 95 y 98 octanos.

viaje tienden a ser más cortos. Los datos de la densidad de la población a nivel provincia se obtuvieron del INE.

Una de las preocupaciones con las estrategias de reducciones de gases contaminantes proviene de mejoras o ampliaciones en la red de las carreteras puede conducir a viajes adicionales de los vehículos. De esta manera, las estimaciones también contemplan la red de carreteras de gran capacidad para estimar sus principales efectos en la trayectoria de los vehículos pesados y ligeros, los datos estadísticos fueron obtenidos del Anuario (*sección carreteras*) del Ministerio de Fomento.

Los kilómetros recorridos de los automóviles o hábitos de conducción pueden verse afectada por cambios en la eficiencia de los carburantes. Las series de la eficiencia de los carburantes medido como el consumo de carburantes por kilómetros recorridos (litros/100 kms) y por tipo vehículo no se encuentran disponibles para el periodo considerado. Los datos que se reportan en las fuentes estadísticas corresponden a la eficiencia energética de los automóviles del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). Las series resultantes corresponden a una aproximación del consumo de combustible por kms y tipo de vehículo a partir de ajustar la antigüedad del stock vehicular (pesados y ligeros) y la eficiencia de los combustibles. El consumo de combustible tipo de vehículo por km calculado utilizando la explicación anterior se ha realizado para producir un mejor ajuste que el consumo de combustible del vehículo por km original.

Cuadro 3. 2

Estadística descriptiva de los datos

Concepto	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
vkt (ligeros)	4015.80	20741.34	677.50	3612.68
vkt (pesados)	594.93	2765.05	139.38	441.13
Precio diesel (pesados)	0.85	1.07	0.66	0.11
Precio carburantes (promedio)	1.08	1.38	0.90	0.12
PIB	19,588	194,000	1,837	30,390
PIBINC	3,771	36,779	331	5821
Red de carreteras (kilómetros)	274	990	1.00	168
Densidad poblacional	115.64	800.58	8.79	156.91
Eficiencia carburantes (ligeros)	5.92	6.72	5.11	0.44
Eficiencia diesel (pesados)	30.71	31.00	30.50	0.15

Fuentes: Elaboración propia con base en la información estadística de la Dirección General de Tráfico (DGT), el Ministerio de Fomento, Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) y MARM.

Notas: PIB y PIBINC: Millones de euros a precios de 2010. Precio de los carburantes en céntimos de euro por litro. Eficiencia de los carburantes en litros/100 kilómetros. Los vkt en millones de vehículos-km.

III.4. Metodología econométrica

La especificación de la demanda de tráfico puede estimarse por medio de los kilómetros recorridos de los vehículos (pesados y ligeros) (*vkt*) en función de la renta (*y*), de los precios de los carburantes (*pre*), la red de carreteras de gran capacidad (*carr*), la eficiencia de los combustibles (*efi*), y la densidad poblacional (*denp*). Así la especificación se puede definirse como:

$$i) \quad vkt_{it} = \alpha_i + \beta_t + \gamma_1 pre + \gamma_2 y_{it} + \gamma_3 stock_{it} + \gamma_4 carr_{it} + \gamma_5 efi_{it} + \gamma_6 denp_{it} + \varepsilon_{it}$$

donde los subíndices *i* (*i* = 1,2,...,*n*) y *t* (*t* = 1,2,...,*t*) indican las unidades de sección cruzada y de tiempo, respectivamente. Los parámetros α y β denotan la provincia o sección cruzada y el efecto fijo de tiempo. El coeficiente estimado γ_i , *i* = 1,2,...,6 se refiere a la elasticidad precio, renta, carreteras, densidad poblacional y eficiencia, y ε es el término de error. Este modelo supone que los coeficientes de elasticidad de las diferentes provincias en diferentes momentos son los mismos.

La estimación econométrica entre la demanda de viajes por carretera en España, los ingresos, los precios relativos de los combustibles, el parque vehicular, la red de carreteras de gran capacidad y eficiencia de los combustibles, se basa en las propiedades de orden de integración y cointegración de las series de modo que para inferir las elasticidades precio e ingreso de largo plazo, se sigue la metodología de integración, cointegración y regresión espuria en panel (Kao, 1999). Una forma de sumar las ventajas de los datos de series de tiempo y las observaciones de corte transversal son mediante el análisis de los datos de panel. Sus atractivos son numerosos, donde se destaca el incremento del tamaño muestral y los grados de libertad de la estimación; en segundo lugar, aumenta el número de variables explicativas disponibles, permite reducir la varianza de las estimaciones, aumentar su fiabilidad (Matas, *et al.*, 2009) y además de capturar la heterogeneidad no observada, entre las 48 provincias consideradas de España (Baltagi, 1995; Arellano, 2003).

Cuando todas las variables son no estacionarias, con las técnicas de cointegración puede probar la existencia de una relación de largo plazo entre los kilómetros recorridos por vehículo y las variables independientes. Para analizar las propiedades estocásticas de la series, se utilizan las pruebas de raíz unitaria en panel propuestas por Maddala y Wu (1999); Breuting (2001); Levin, *et al.*, 2002; Im, *et al.* (2003), para identificar que las series consideradas sean del mismo orden de integración $I(1)$, y entonces para aplicar las pruebas de cointegración en panel propuestas por Pedroni (1999; 2001); Kao (1999) y Maddala y Wu (1999). Pedroni (1999) propone siete estadísticos para analizar la propiedad de cointegración que se pueden dividir en dos grupos.

El primer grupo incluye cuatro pruebas basadas en los promedios de las estadísticas de cointegración entre las secciones individuales. El segundo grupo involucra tres pruebas basadas en promediar los coeficientes de la variable dependiente rezagada para cada sección individual del panel (Baltagi, 2008; Asteriou y Hall, 2011). Finalmente, la prueba de Maddala y Wu (1999) sugiere combinar las pruebas sobre unidades individuales. En este caso es posible utilizar las pruebas propuestas por Johansen (1988; 1995), evitando así, realizar una prueba de raíces unitarias sobre los residuales y permitiendo la existencia de más de una relación de cointegración.

III.5. Resultados de las estimaciones econométricas

En primer lugar, las estimaciones de la demanda de viajes por carretera se basaron en el uso de métodos econométricos que consideran el orden de integración de las series y la posible presencia del problema de la regresión espuria (Kao, 1999). En este sentido, el primer paso fue la realización de las pruebas de raíz unitaria, que buscan identificar el orden de integración de las series. Las pruebas de hipótesis de raíces unitarias se muestran en el Cuadro 3. 3. El conjunto de estos resultados indica que los kilómetros recorridos por vehículo (*ligeros y pesados*) son series no estacionarias I(1). También, que las pruebas para las primeras diferencias de las series indican que son estacionarias. Las pruebas de raíz unitaria para las variables independientes muestran que todas las series en niveles son no estacionarias I(1) (véase cuadro sobre pruebas de raíces unitarias en el Capítulo II de esta tesis).

Cuadro 3. 3
Determinantes y kilómetros recorridos de vehículos en provincias de España
(Pruebas de raíces unitarias)

Variable	Levin, <i>et al.</i> (2002)	Breitung (2001), Estadística t	IPS, Estadística w	ADF, Fisher Chi-Cuadrada	PP, Fisher Chi-Cuadrada	Hadri (2000), Estadística Z
<i>Niveles</i>						
vktl	4.203	10.485	9.023	30.788	40.599	13.692
vktp	-6.321	5.825	2.538	67.359	87.389	13.519
prew	-1.633	4.480	1.179	57.903	55.692	7.179
predp	-19.87	-18.69	-8.87	230.58	347.44	56.355
pib	2.91	10.22	9.82	20.02	28.03	13.66
pibic	4.779	11.649	11.481	6.281	7.754	15.132
carr	-1.96	0.37	1.95	64.76	77.89	9.971
dpob	7.657	6.290	3.529	41.624	37.482	10.480
efivl	3.932	-8.294	1.706	49.649	31.506	6.051
efivp	12.799	15.366	14.951	0.530	1.902	14.291
<i>Primeras diferencias</i>						
vktl	-19.677	-7.951	-12.908	318.768	434.154	14.621
vktp	-20.787	-10.324	-13.376	334.443	588.398	13.9043
prew	-11.205	-7.046	-3.562	139.278	652.633	35.659
predp	-30.56	-15.44	-18.24	420.41	963.67	70.890
pib	15.91	11.38	6.35	190.05	261.12	8.031
pibic	-16.642	-9.727	-3.531	138.472	70.456	7.113
carr	-16.56	-9.04	-8.18	221.36	324.22	12.812
dpob	-5.481	9.662	5.492	46.905	16.679	16.029
efivl	-12.334	-5.605	-1.011	88.623	86.841	11.104
efivp	10.347	-5.333	-0.568	84.46	489.632	6.583

Notas: Las probabilidades para las pruebas de Fisher se calculan utilizando una distribución Chi-cuadrada asintótica. Todas las otras pruebas suponen normalidad asintótica. Levin, *et al.* (2002) asume, al igual que la prueba de Breitung (2001), un proceso de raíz unitaria común. IPS es la prueba de Im, *et al.* (2003). La prueba IPS, ADF y PP asumen un proceso de raíz unitaria individual. La prueba de Hadri, asume estacionaridad bajo la hipótesis nula. PD: Primera Diferencia. Los números en negritas muestran el rechazo de la hipótesis nula al 5% o menos. Todas las series están en logaritmos. Periodo: 2009-2011. Número de provincias: 48. Las pruebas de raíz unitaria se llevaron a cabo con tendencias e intercepto, y los rezagos óptimos fue seleccionado de acuerdo con el procedimiento conocido como "MAIC" (Ng y Perron, 2001). vktl: kilómetros recorridos de los vehículos ligeros;

vktp: kilómetros recorridos de los vehículos pesados; prew: Precio promedio ponderado de los carburantes (gasolina y diesel); predp: Precio del diesel vehículos pesados; pib: Producto Interno Bruto por provincia (a precios constantes de 2010); pibic: Producto Interno Bruto de la industria transformadora y construcción (a precios constantes de 2010); carr: Red de carreteras de gran capacidad. dpob: densidad poblacional; efivl: Eficiencia del consumo de carburantes de vehículos ligeros; efivp: Eficiencia del consumo de diesel de vehículos pesados.

Considerado el orden de integración de la series, el siguiente paso, fue la estimación de la posible presencia de cointegración entre las series (Cuadro 3. 4). Para ello, se utilizaron las pruebas de cointegración en panel con procesos estocásticos en común e individuales (Kao, 1999; Pedroni, 1999, 2004) y la prueba tipo Fisher, basada en la metodología de Johansen (1988). De acuerdo con las pruebas de panel, existe evidencia de coeficientes AR comunes e individuales, entonces se puede concluir la existencia de un vector de cointegración en común entre los kilómetros recorridos por vehículos (*ligeros*) y la renta, los precios de los carburantes, la flota vehicular, la red de carreteras de gran capacidad, la eficiencia de los combustibles y la densidad poblacional, para todos las provincias de la muestra de España. De la misma manera, resultados de la prueba tipo Fisher (basada en la metodología de Johansen) apoya la presencia de una relación de cointegración. Los resultados también muestran que los residuos de los modelos estimados para los VKT (pesados) son estacionarios y, por tanto, que las variables usadas en dicho modelo cointegran.

Cuadro 3. 4
Modelos de kilómetros recorridos de vehículos en provincias de España
(Pruebas de cointegración)

Pruebas / Modelos	<i>vkt ligeros</i>	<i>vkt pesados</i>
<i>Pruebas de cointegración de Pedroni</i>		
Estadístico-v	-1.947	-0.331
Estadístico-rho	3.760	0.376
Estadístico-PP	-18.744**	-10.567**
Estadístico-ADF	-3.555**	-5.192**
Estadístico-rho grupal	7.124	3.148
Estadístico-PP grupal	-29.304**	-17.950**
Estadístico-ADF grupal	-4.495**	-5.684**
<i>Pruebas de cointegración de Kao</i>		
ADF (estadístico t)	-7.071**	-4.098**
<i>Pruebas de cointegración Fisher</i>		
Trace test (ninguna)	731.2**	411.3**
Trace test (al menos 1)	246.6	666.0

Notas: La hipótesis nula es que las variables no están cointegradas. Bajo la hipótesis nula todas las estadísticas se distribuyen como una normal estándar. La distribución de la muestra finita de las estadísticas ha sido tabulada en Pedroni (2004); ** y * indican que los parámetros estimados son significativos al 5% y 1%. La probabilidad asintótica de la prueba Fisher se calcula usando una distribución de Chi- Cuadrada; * y ** indican que el estadístico

de prueba son significativos al 1% y 5%, respectivamente. Para la selección óptima de rezagos se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC).

La evidencia sugiere que es posible identificar una trayectoria de equilibrio entre los precios, el nivel de la actividad económica, la capacidad vial, la densidad de la población y la eficiencia de los carburantes del transporte ligero de la demanda de viajes por carretera en provincias de España. También se confirma la existencia de una relación de equilibrio entre las variables de interés y el los recorridos del transporte pesado. Una vez corroborado que las series están cointegradas, entonces existe una representación de dichas variables en forma de modelos de mecanismo de corrección del error (ecm), y viceversa. Esta correspondencia entre cointegración y ecm puede utilizarse como una contrastación robusta de la validez de las regresiones de cointegración como relaciones a largo plazo. Nuestro objetivo es el estudio de las elasticidades de corto y largo plazo con respecto a los determinantes de interés. En el análisis del tráfico rodado se debe distinguir entre el corto y el largo plazos, porque la respuesta de los agentes económicos ante choques aleatorios no es de manera inmediata. En efecto, la conducta de los consumidores varía de acuerdo con el período de tiempo en el que ajusta sus expectativas de consumo ante los cambios en las variables claves de interés. El modelo final corresponde a una estimación por efectos fijos (Hsiao, 2003), incluyendo las variables en logaritmo natural; por lo cual, los coeficientes representan una medida de la elasticidad de cada variable independiente en el volumen de tráfico.

En términos generales los resultados de la magnitud de las elasticidades son consistentes con las estimaciones reportadas en investigaciones a nivel internacional (Rentziou, *et al.*, 2012; Salon, *et al.*, 2012; Kay, *et al.*, 2014; Ewing, *et al.*, 2014). También, en buena medida son estimaciones razonables y similares a estudios que se han realizado para el comportamiento de vehículos ligeros y pesados (CBC, 2006; Greene, 2012; Saens y Lobos, 2013; Gómez y Vasallo, 2015; Gómez, *et al.*, 2015). De la misma manera, los resultados son cuantitativamente similares a estudios que se han realizado recientemente para España (Matas y Raymond, 2003; Matas, *et al.*, 2012; González y Marrero, 2012; Gómez y Vasallo, 2015; Gómez, *et al.*, 2015) pero con algunas diferencias importantes. En primer lugar, los datos tienen diferente periodo de tiempo y nivel de agregación. En segundo lugar, difiere de las variables explicativas incluidas en los modelos. Finalmente, la distinción por tipo de vehículos. De hecho, es importante mencionar que los kilómetros recorridos por vehículos ligeros y pesados tienen comportamientos distintos.

Los resultados se dividen en dos sub-secciones siguientes: (i) vehículos ligeros y (ii) vehículos pesados.

III.4.1. La demanda de viajes por carreteras de vehículos ligeros

En el caso de los kilómetros recorridos por vehículos ligeros los resultados se presentan en el (Cuadro 3. 5). La elasticidad precio de los combustibles tiene el signo correcto, negativo y significativo. Las elasticidades para el corto y largo plazo son -0.299 y -0.305, respectivamente. En comparación con otros estudios, existen estimaciones relativamente similares, elasticidades a nivel internacional entre -0.15 y -0.31 para el corto y largo plazo, respectivamente (Graham y Glaister, 2004; Crotte, *et al.*, 2009; Lin, *et al.*, 2013); y para el caso de España entre -0.38 y -0.62 (Matas, *et al.*, 2012). La magnitud de las elasticidades precio de los carburantes sugiere que una política que considere incremento en de precios de los combustibles tendría que ser agresiva para desalentar los viajes en automóvil.

Por otra parte, aunque la relación entre el ingreso y el uso del vehículo es normalmente positiva en su conjunto, hay razones plausibles para la hipótesis de que la relación es más compleja a nivel desagregado, por el nivel de ingresos y con respecto al tipo de vehículos. Los coeficientes para el ingreso son positivos y estadísticamente significativos. Los resultados reportan elasticidades de corto y largo plazo de 0.55 y 0.87, respectivamente. Los coeficientes se ubican relativamente en el rango reportado en estudios recopilatorios, 0.30 (corto plazo) y 0.70 (largo plazo) (Goodwing, *et al.*, 2004). De hecho, se ha encontrado una relación positiva entre el ingreso y el uso de los automóviles, lo que indica que los individuos con mayores ingresos tienden a viajar más y utilizar su coche más en comparación con aquellos con menores ingresos (Giuliano y Dargay, 2006; Dargay y Hanly, 2007).

Los resultados confirman la existencia de tráfico inducido para el caso de España. La red capacidad de las carreteras en España puede conducir a aumentos en el tráfico, los coeficientes muestran valores de 0.066 en el largo plazo y de 0.049 en el corto. Estos valores son inferiores a los obtenidos en otros estudios. Así, por ejemplo Noland (2001) estima un impacto adicional sobre la demanda alrededor del 20% y los trabajos preparatorios para SACTRA (1994), después de realizar una amplia revisión de proyectos de inversión en carretera, concluyen que el tráfico observado supera el predicho en valores que en promedio se sitúan en el 10% para inversiones de mejora y el 16% para nuevas carreteras. No obstante, estos valores promedio dependen en

gran medida de las características de las rutas (*urbanas vs interurbanas*) y de su grado de congestión. En la medida que en España la inversión en la red de carreteras desde el año 1999 ha beneficiado principalmente rutas interurbanas, buena parte de ellas con bajo nivel de tráfico, ello podría explicar el menor valor hallado.

Los resultados para la densidad de la población tienen un impacto negativo y estadísticamente significativo de -0.084, lo cual es consistente con los hallazgos de Hansen (1997); Cervero 2000; Fulton, *et al.* (2000); Noland (2001); Su (2010a). Los cuales confirman que la densidad de la población está asociada con el comportamiento de los viajes por carretera, con una elasticidad aproximada de -0.38 y -0.08 (Cervero y Murakami, 2010; Ewing, *et al.*, 2008, 2014). Sin embargo, la literatura indica que en un esfuerzo por explicar mejor estas relaciones se tendría que incluir otros determinantes urbanos sobre el entorno construido o la forma urbana, ya que la densidad poblacional es una variable intermedia y que a menudo se expresa a por otras variables (Ewing y Cervero, 2010). Por ejemplo, la densidad residencial se emplea a menudo como variable del entorno construido, y se ha encontrado que un aumento de densidad residencial puede reducir significativamente las emisiones del transporte (Hong y Shen, 2013).

La elasticidad eficiencia de los combustibles reporta un valor de -0.270 para el largo plazo, valores similares a los que se reportan en otras investigaciones (Karathodorou, *et al.*, 2010). El consumo de combustible por kilómetro determina, junto con el precio del combustible, el costo de combustible de un viaje. Un coeficiente negativo podría indicar que el aumento del consumo de combustible por kilómetro podría desalentar los viajes en coche. Sin embargo, las regulaciones que obligan a una mayor eficiencia de combustible del vehículo puede provocar un efecto rebote cuando una reducción en el costo monetario de conducir por kilómetro induce más conducción Su (2011, 2014).

Por otra parte, se observa que los valores proyectados por el modelo representan satisfactoriamente a los valores observados de las variaciones en la demanda de gasolina, con un grado de ajuste del 98% y 50% para los modelos de largo y corto plazo, respectivamente. En tanto que el mecanismo de corrección de error es negativo y significativo. Por tanto, los desajustes en la relación de equilibrio son incorporados en la modelación de corto plazo. La velocidad de ajuste del modelo es del 53.9%, para cada año.

Cuadro 3. 5

Estimaciones de los kilómetros recorridos por vehículos ligeros para provincias en España

<i>Vehículos ligeros</i>			
	Largo plazo		Corto plazo
Constante	-5.626 (-11.03)	Constante	0.008 (4.41)
Precio	-0.305 (-10.88)	Δ Precio	-0.299 (-15.26)
Ingreso	0.869 (25.61)	Δ Ingreso	0.546 (10.87)
Carreteras	0.066 (6.29)	Δ Carreteras	0.049 (4.49)
Densidad	-0.084 (1.71)		
Eficiencia	-0.270 (-5.14)		
		Δ vehículos ligeros (-1)	0.066 (2.06)
		ecm (-1)	-0.539 (-14.77)
<i>Efectos fijos provincia</i>	Si		No
<i>Efectos temporales</i>	No		No
<i>R² ajustada</i>	0.9895		0.507
<i>Significancia global (F)</i>	0.00		0.00
<i>Observaciones</i>	672		576
<i>Prueba de Hausman χ^2</i>	18.3 (0.00)		
<i>Número de provincias</i>	48		48

Notas: La distribución asintótica del estadístico t (*en paréntesis*) es una normal estándar con T y N al infinito, y se calcula utilizando los errores estándar asintóticos robustos a heterocedasticidad. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales. Periodo: 1999-2012. R² es el coeficiente de determinación. La *Prueba de Hausman χ^2* : *Efectos fijos vs efectos aleatorios*. Periodo: 1999-2012. Δ : variables en primera diferencia.

III.4.1. La demanda de viajes por carreteras de vehículos pesados

En el Cuadro 3. 6 se presentan los resultados para la demanda de kilómetros recorrido por vehículos pesados. La influencia del precio en el modelo de vehículos pesados es pequeña. Las estimaciones indican que la demanda de tráfico de vehículos pesados es poco sensible al movimiento en precios con un valor de -0.187 en el largo plazo. La elasticidad a corto plazo con respecto al precio es de -0.155. La magnitud de las elasticidades precio de la demanda de tráfico es más baja en camiones (*vehículos pesados*) que en automóviles (*vehículos ligeros*). Un resultado esperado, el costo total asociado al precio del combustible y las distancias recorridas es menor para los camiones que para un vehículo particular. No obstante, un

incremento en el nivel de los precios de los carburantes, en este caso del diesel (combustible con mayor porcentaje de consumo en vehículos pesados) tendrá un escaso efecto sobre las distancias recorridas. La baja elasticidad precio del transporte de mercancías en España puede explicarse por la ausencia de modos de transporte sustitutivos. Tal y como es conocido, más de un 90% del tráfico interior se realiza por carretera. Por ello, solo si se mejora la calidad del ferrocarril, se podría esperar una mayor sensibilidad del transporte de mercancías al precio.

Los resultados también revelan que la demanda por tráfico en camiones es más sensible a la trayectoria de la actividad económica que los vehículos turismos. Un aspecto a considerar en la evaluación de las políticas de transporte es la identificación de las variables clave de la evolución de la demanda de tráfico rodado del transporte pesado. Para ello, en el caso de la variable actividad económica, se estimó incluyendo el PIB de la industria y construcción en los kilómetros recorridos por vehículo pesados. Por cada punto porcentual que crece la actividad económica en las provincias de España, la demanda por autopistas aumenta en 0.972 puntos porcentuales para el corto plazo y 0.922 para el largo plazo, respectivamente. Los resultados considerando la revisión de la literatura para vehículos pesados (camiones) muestran valores relativamente cercanos para el corto plazo (entre 0.5 y 1.3) y para el largo plazo de (0.8 y 1.4) (CBC, 2006; Álvarez, *et al.*, 2007; De Borger y Mulalic, 2012; Saens y Lobos, 2013). El hallazgo empírico típico es que el tráfico por carretera se asocia positivamente con los ingresos con valores menores a la unidad (Graham y Glaister, 2004, Goodwin, *et al.*, 2004).

Con respecto, a los efectos de la capacidad de las carreteras en los kilómetros recorridos de los vehículos pesados. Esta variable tiene un impacto positivo en los camiones, pero no resulta estadísticamente significativa. Desde el punto de vista ambiental, resulta limitada la capacidad de políticas públicas en torno a la creación o ampliación de la red de carreteras y autopistas, ya que no es una política eficaz para la reducción del tráfico y para la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector del transporte por carretera. Esto implica, que las carreteras seguirán aumentando el tráfico inducido y la congestión vehicular y la cantidad de emisiones contaminantes.

Cuadro 3. 6

Estimaciones de los kilómetros recorridos por vehículos pesados para provincias en España

Vehículos pesados

	Largo plazo		Corto plazo
Constante	-5.079 (-14.47)	Constante	-0.003 (-1.32)
Precio	-0.187 (-8.29)	Δ Precio	-0.155 (-6.25)
Ingreso	0.922 (31.69)	Δ Ingreso	0.972 (18.95)
Carreteras	0.018 (2.27)		
		Δ Vehículos pesados (-2)	0.024 (0.91)
		ecm (-1)	-0.566 (-16.59)
<i>Efectos fijos provincia</i>	Si		No
<i>Efectos temporales</i>	No		No
<i>R² ajustada</i>	0.984		0.504
<i>Significancia global (F)</i>	0.00		0.00
<i>Prueba de Hausman χ^2</i>	12.5 (0.00)		
<i>Observaciones</i>	672		576
<i>Número de provincias</i>	48		48

Notas: La distribución asintótica del estadístico t (en paréntesis) es una normal estándar con T y N al infinito, y se calcula utilizando los errores estándar asintóticos robustos a heterocedasticidad. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales. Periodo: 1999-2012. R² es el coeficiente de determinación. La auto-correlación se prueba a través del estadístico de Durbin Watson.

III. 5. Conclusiones e implicaciones de política económica

El uso del automóvil hoy día es un modo muy atractivo de transporte, proporciona rapidez, comodidad, capacidad de carga y privacidad. De hecho, para algunas sociedades el uso de cierto tipo de vehículo es símbolo de estatus social. Sin embargo, existen varios problemas ambientales asociados con el uso del vehículo, por ejemplo, es uno de los principales consumidores de energías fósiles, genera altos índices de contaminación del aire local y también contribuye significativamente al cambio climático. Aunque, existe evidencia de la efectividad de las intervenciones para la reducción del uso del coche es mucho más débil de lo que podría haberse esperado, una forma de hacer frente a estos problemas es tratar de reducir la demanda de viajes a través de la implementación de diversas políticas públicas.

Por ejemplo, se han impulsado estrategias para hacer cambios del comportamiento de los individuos en las distancias recorridas, en el número de viajes, y en el uso de modos de transporte alternativos; se ha incentivado el cambio en el uso de automóviles más eficientes,

cambiar o impulsar modos de transporte más eficientes, viajes con vehículos compartidos y la supresión de viajes. Una reciente revisión de las estrategias para lograr reducciones significativas en el impacto de emisiones contaminantes en el transporte, indica que, un aumento en el uso del transporte público, combinado con una disminución en el uso de los vehículos privados, puede reducir la congestión del tráfico y, más importante, el dióxido de carbono (CO₂).

De igual manera, estrategias de planeación urbana exigen cambios del entorno físico a fin de influir en la demanda de viajes. La integración con las políticas de uso del suelo pueden ser un tanto limitadas dentro de los límites de las ciudades ya existentes. Sin embargo, a medida que las ciudades crecen y se construyen nuevas ciudades, se debe de poner más énfasis en el uso del suelo para un uso de transporte por carretera más sostenible con el fin de reducir la congestión y las emisiones de CO₂.

También, la revisión de la literatura sugiere la construcción de infraestructura adecuada. Se ha argumentado que el aumento o cambio en la capacidad vial contribuye poco en comparación con variables la densidad poblacional, los ingresos y los precios de los carburantes en el crecimiento del tráfico rodado. No obstante, se ha estimado que el crecimiento de los VKT atribuible al aumento de carriles en carreteras produciría un aumento del tráfico y de las toneladas de emisiones de CO₂. El efecto de la construcción y expansión de la red de carreteras fue propuesto como una de las maneras más prometedoras para reducir la congestión del tráfico. Sin embargo, se ha evaluado y se ha constató que la construcción y la ampliación de carreteras, aumentó, en lugar de disminuir, la congestión, y por tanto, ha inducido mayores niveles de demanda de viajes.

Por otra parte, la distancia recorrida ha crecido en los últimos años, y los estilos de vida actuales dependen de los viajes o trayectos para que la gente y las mercancías lleguen a donde se requieran y necesiten. El papel de los kilómetros recorridos de los vehículos en las emisiones de GEI y el consumo de combustibles fósiles es de suma importancia. En consecuencia, la mayoría de las estrategias para abordar el cambio climático o la dependencia energética requerirán reducciones significativas de este sector. El consumo y las emisiones de gases de efecto invernadero (GIE) en el sector transporte son el resultado de tres cuestiones: Tipos de combustible, la eficiencia de combustible del vehículo y los kilómetros recorridos por vehículo (VKT) por tipo de vehículo.

En este sentido, a pesar de que los kilómetros recorridos por vehículos ligeros (turismos) son la mayor fuente de emisiones de sector transporte por carretera, una estrategia de reducción contempla además de vehículos ligeros, vehículos pesados más eficientes (con mayores rendimientos por combustible). Sin embargo, es difícil lograr reducciones a través de los modos de desplazamiento de los vehículos pesados. Mientras que las nuevas normas requerirán reducciones de las emisiones de GEI de camiones pesados, se requerirá mucho más trabajo para lograr reducciones significativas.

Finalmente, un elemento esencial para entender los factores que son importantes para hacer estos ajustes, por ejemplo, es el comportamiento y los hábitos de consumo. En este sentido, una política de cambio climático puede centrarse en la orientación directa de las fuentes de emisiones contaminantes (así por ejemplo, a través de un impuesto sobre el carbono) en lugar de utilizar algún tipo de instrumento o medida de reducción sobre los VKT. El reto principal, es el desarrollo de una solución a los problemas ambientales que surgen de los principales determinantes de las distancias recorridas por los vehículos. Por lo tanto, se requiere la instrumentación de medidas y políticas que disminuyan la demanda de uso del coche. Consideramos que la combinación y la integración de políticas de mercado o regulación pueden conducir a efectos positivos y lograr la sostenibilidad en el transporte.

Referencias

- Álvarez, O., P. Cantos y L. García (2007) "The value of time and transport policies in a parallel road network", *Transport Policy*, 14(5), 366-376.
- Anderson, W. P., P. S. Kanaroglou and E. J. Miller (1996) "Urban form, energy and the environment: A review of issues, evidence and policy", *Urban Studies*, 33(1), 7-35.
- Bagley, M. N. y P. L. Mokhtarian (2002) "The impact of residential neighborhood type on travel behavior: A structural equation modeling approach", *The Annals of Regional Science*, 36(2), 279-297.
- Bartholomew, K. y R. Ewing (2008) "Land use-transportation scenarios and future vehicle travel and land consumption: A metaanalysis", *Journal of the American Planning Association*, 75(1), 1-15.
- Behrens, B. R. y L. A. Kane (2004) "Road capacity change and its impact on traffic in congested networks: evidence and implications", *Development Southern Africa*, 21(4), 587-602.
- Bitzan, D. J. y T. E. Keeler (2011) "Intermodal traffic, regulatory change and carbon energy conservation in US freight transport", *Applied Economics*, 43(27), 3945-3963.
- Boarnet, M. G. (2011) "A broader context for land use and travel behavior, and a research agenda", *Journal of the American Planning Association*, Vol. 77, No. 3, 2011, pp. 197-213.
- Brownstone, D. y T. Golob (2009) "The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption", *Journal of Urban Economics*, 65(1), 91-98.
- Brueckner, J. K. (2000) "Urban sprawl: Diagnosis and remedies", *International Regional Science Review*, 23(2), 160-171.
- Burger, N. E. y D. T. Kaffine (2009) "Gas prices, traffic, and freeway speeds in Los Angeles", *The Review of Economics and Statistics*, 91(3), 652-657.
- Cao, X., P. L. Mokhtarian y S. Handy (2009) "Examining the impacts of residential self-selection on travel behaviour: A focus on empirical findings", *Transport Reviews*, 29(3), 359-395.
- Cervero R (2002) "Induced travel demand: Research design, empirical evidence, and normative policies", *Journal of Planning Literature*, 17(1), 3-20.
- Cervero, R. (2003) "Road expansion, urban growth, and induced travel: A path analysis", *Journal of the American Planning Association*, 69(2), 145-163.
- Cervero, R. y J. Murakami (2010) "Effects of built environment on vehicle miles traveled: Evidence from 370 US urbanized areas", *Environmental Planning*, 42(2), 400-418.
- Cervero, R. y K. Kockelman (1997) "Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199-219.
- Cervero, R. y K. Kockelman (1997) "Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199-219.
- Cervero, R. y M. Hansen (2002) "Induced Travel Demand and Induced Road Investment: A Simultaneous Equation Analysis", *Journal of Transport Economics and Policy*, 36(3), 469-490.
- Chen, C., H. Gong y R. Paaswell (2008) "Role of the built environment on mode choice decisions: Additional evidence on the impact of density", *Transportation*, 35(3), 285-299.
- Contrino, H. y N. McGuckin (2009) "Travel demand in the context of growing diversity", *TR News*, 264, 4-9.
- Coombe, D, J. Bates y M. Dale (1998) "Modelling the traffic impacts of highway capacity reductions", *Traffic Engineering and Control*, 39(7/8), 430-433.
- Crane, R. (2000) "The influence of urban form on travel: an interpretive review", *Journal of Planning Literature*, 15(1), 3-23.
- Creutzig, F., E. McGlynn, J. Minxa y O. Edenhofer (2011) "Climate policies for road transport revisited (I): Evaluation of the current framework", *Energy Policy*, 39(5), 2396-2406.

- Crôtte, A., R. B. Noland y D. J. Graham (2009) "Estimation of Road Traffic Demand Elasticities for Mexico City, Mexico", *Journal of the Transportation Research Board*, 2134(1), 99-105.
- De Borger, B. e I. Mulalic (2012) "The determinants of fuel use in the trucking industry-volume, fleet characteristics and the rebound effect", *Transport Policy*, 24(1), 284-295.
- De Jong, G. y H. F. Gunn (2001) "Recent evidence on car cost and time elasticities of travel demand in Europe", *Journal of Transport Economics and Policy*, 35(2), 137-160.
- Decorla, S. P y H. Cohen (1999) "Estimating induced travel for evaluation of metropolitan highway expansion", *Transportation*, 26(3), 249-262.
- Delsaut, M. (2014) "The effect of fuel price on demands for road and rail travel: An application to the French case", *Transportation Research Procedia*, 1(1), 177-187.
- Ding, C., Y. Wang, B. Xie y C. Liu (2014) "Understanding the role of built environment in reducing vehicle miles traveled accounting for spatial heterogeneity", *Sustainability*, 6, 589-601.
- Downs, A. (1962) "The law of peak-hour expressway congestion", *Traffic Quarterly*, 16(3), 393-409.
- Downs, A. (1992) "*Stuck in Traffic: Coping with Peak-Hour Traffic Congestion*". The Brookings Institution. Washington, D.C.
- Dulal, H. B. y S. Akbar (2013) "Greenhouse gas emission reduction options for cities: Finding the "Coincidence of Agendas" between local priorities and climate change mitigation objectives", *Habitat International*, 38, 100-105.
- Dulal, H. B., G. Brodnig y C. Onoriose (2011) "Climate change mitigation in the transport sector through urban planning: A review", *Habitat International*, 35(3), 494-500.
- Duranton, G. y M. A. Turner (2011) "The fundamental law of road congestion: Evidence from U.S. cities", *American Economic Review*, 101(6), 2616-2652.
- Duranton, G. y M. A. Turner (2011) "The fundamental law of road congestion: Evidence from US Cities", *The American Economic Review*, 101(6), 2616-2652.
- Eriksson, L., A. M. Nordlund y J. Garvill (2010) "Expected car use reduction in response to structural travel demand management measures", *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 13(5), 329-342.
- Eriksson, L., J. Garvill y A. M. Nordlund (2008) "Interrupting habitual car use: The importance of car habit strength and moral motivation for personal car use reduction", *Transportation Research Part F, Traffic Psychology and Behaviour*, 11(1), 10-23.
- Ewing, R. (2008) "Highway-induced development: research results for metropolitan areas", *Journal of the Transportation Research Board*, 2067(1), 101-109.
- Ewing, R. y R. Cervero (2001) "Travel and the built environment", *Transportation Research Record*, 1780, 87-114.
- Ewing, R. y R. Cervero (2010) "Travel and the Built Environment A Meta-Analysis", *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265-294.
- Ewing, R., K. Bartholomew, S. Winkelman, J. Walters y D. Chen (2009) "Growing cooler: The evidence on urban development and climate change", *Renewable Resources Journal*, 25(4), 6-13.
- Ewing, R., K. Bartholomew, S. Winkelman, J. Walters y D. Chen. Growing Cooler (2008) "*The evidence on urban development and climate change*". Urban Land Institute, Washington D.C., 2008.
- Frank, L. D. (1998) "Reducing vehicle emissions through growth management and travel reduction strategies", *Journal of Urban Planning and Development*, 124(1), 11-33.
- Fullerton, D. y D. H. Karney (2010) "Combinations of Instruments to Achieve Low-Carbon Vehicle-Miles". En: OCDE (ed.), *Stimulating Low-Carbon Vehicle Technologies*. Paris: OECD Publishers, 2010.

- Gardner, B. y C. Abraham (2008) "Psychological correlates of car use: A meta-analysis", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(4), 300-311.
- Gärling, T., et al. (2002) "A conceptual analysis of the impact of travel demand management on private car use", *Transport Policy*, 9(1), 59-70.
- Gomez, J. y J. M. Vassallo (2015) "Evolution over time of heavy vehicle volume in toll roads: A dynamic panel data to identify key explanatory variables in Spain", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 282-297.
- Gomez, J., J. M. Vassallo e I. Herraiz (2015) "Explaining light vehicle demand evolution in interurban toll roads: a dynamic panel data analysis in Spain", *Transportation*. 10.1007/s11116-015-9612-3.
- González, R. M. y G. A. Marrero (2012) "Induced road traffic in Spanish regions: A dynamic panel data model", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), 435-445.
- Goodwin P. B. y R. B. Noland (2003) "Building new roads really does create extra traffic: A response to Prakash et al", *Applied Economics*, 35(13), 1451-1457.
- Goodwin, P. B. (1996) "Empirical evidence on induced traffic: A review and synthesis" *Transportation*, 23(1), 35-54.
- Goodwin, P. B. (2007) "Effectiveness of transport policies in reducing car travel". En: Garling, T. y Steg, L., (eds.), *Threats From Car Traffic to the Quality of Urban Life: Problems, Causes and Solutions*. Elsevier, pp. 401-424.
- Graham, D. J. y S. Glaister (2004) "A review of road traffic demand elasticity estimates with respect to price and income", *Transport Reviews*, 24(3), 261-64.
- Graham, J. D. y S. Glaister (2005) "Decomposing the determinants of road traffic demand", *Applied Economics*, 37(1) 19-28.
- Greene, D., S. Chin y R. Gibson (1995) "Aggregate Vehicle Travel Forecasting Model". Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Guerra, E. (2014) "The built environment and car use in Mexico City: Is the relationship changing over time?", *Journal of Planning Education and Research*, 34(4), 394-340.
- Handy, S., X. Cao y P. Mokhtarian (2005) "Causality between built environment and travel behavior", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(6), 427-444.
- He, N. y S. Zhao (2014) "Induced traffic in China: Elasticity models with panel data", *Journal of Urban Planning and Development*, 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000265, 04014046.
- Heanue, K. (1998) "Highway Capacity and Induced Travel: Evidence and Implications", *Transportation Research Circular*, 481(3), 33-45.
- Hills, P. J. (1996) "Whats is induced traffic", *Transportation*, 23(1), 5-16.
- Hong, J. y Q. Shen (2013) "Residential density and transportation emissions: examining the connection by addressing spatial autocorrelation and self-selection", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 22, 75-79.
- Hsu, W. T. y H. Zhang (2014) "The fundamental law of highway congestion revisited: Evidence from national expressways in Japan", *Journal of Urban Economics*, 81, 65-76.
- Hymel, K. M., K. A. Small y K. Van Dender (2010) "Induced demand and rebound effects in road transport", *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(10), 1220-1241.
- Karathodorou, N., D. J. Graham y R. B. Noland (2010) "Estimating the effect of urban density on fuel demand", *Energy Economics*, 32(1), 86-92.
- Kay, A. I., R. B. Noland, C. J. Rodier (2014) "Achieving reductions in greenhouse gases in the US road transportation sector", *Energy Policy*, 69, 536-545.
- Kay, I. A., R. B. Noland y C. J. Rodier (2014) "Achieving reductions in greenhouse gases in the US road transportation sector", *Energy Policy*, 69, 536-545.
- Kumapley, R. K. y J. D. Fricker (1996) "Review of methods for estimating vehicle miles traveled", *Transportation Research Record 1551*. pp. 59-66.

- Kweon, Y. y K. Kockelman (2004) “Nonparametric Regression Estimation of Household VMT”, Presented at the 2004 Annual Meeting of Transportation Research Board.
- Kwon, Y. y J. Lee (2014) “Asymmetric responses of highway travel demand to changes in fuel price: An explanation via fuel price uncertainty”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 63, 56-66.
- Le Vine, S. B. E., Chen y J. Polak (2014) “Does the income elasticity of road traffic depend on the source of income?”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 67, 15-29.
- Lefevre, B. (2010) “Urban transport energy consumption: Determinants and strategies for its reduction”, *Sapiens*, 2(3), 1-17.
- Liddle, B. (2009) “Long-run relationship among transport demand, income, and gasoline price for the US”, *Transportation Research Part D*, 14(2), 73-82.
- Lin, J. y A. Yang (2009) “Structural analysis of how urban form impacts travel demand: Evidence from Taipei”, *Urban Studies*, 46(9), 1951-1967.
- Loukopoulos, P., C. Jakobsson, T. Gärling, C. M. Schneider y S. Fujii (2004) “Car-user responses to travel demand management measures: Goal setting and choice of adaptation alternatives”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(4), 263-280
- Loukopoulos, P., C. Jakobsson, T. Gärling, S. Meland y S. Fujii (2006) “Understanding the process of adaptation to car-use reduction goals”, *Transportation Research Part F*, 9(2), 115-127.
- Luk, J. y S. Hepburn (1993) “New review of Australian travel demand elasticities”. Australian Road Research Board, Victoria.
- Matas, A. y J. Raymond (2003) “Demand elasticity on tolled motorways”, *Journal of Transportation and Statistics*, 6(2/3), 91-105.
- Matas, A., J. L. Raymond y A. Ruiz (2012) “Traffic forecasts under uncertainty and capacity constraints”, *Transportation*, 39(1), 1-17.
- McGuckin, N. y S. Liss (2005) “Aging cars, aging drivers: Important findings from the national household travel survey. *ITE Journal*, 75(9), 30-37.
- Millard, B. A. y L. Schipper (2011) “Are we reaching peak travel?. Trends in passenger transport in eight industrialized countries”, *Transport Reviews*, 31(3), 357-378.
- Næss, P. (2012) “Urban form and travel behavior: Experience from a Nordic context”, *Journal of Transport and Land Use*, 5(2), 21-45.
- Noland, R. B. (2001) “Relationships between highway capacity and induced vehicle travel”, *Transportation Research Part A*, 35(1), 47-72.
- Noland, R. B. (2007) “Transport Planning and Environmental Assessment: Implications of Induced Travel Effects”, *International Journal of Sustainable Transportation*, 1(1), 1-28.
- Noland, R. B. y C. S. Hanson (2013) “How does induced travel affect sustainable transportation policy?”, in: John L. Renne y Billy Fields (eds.), *Transport Beyond Oil: Policy Choices for a Multimodal Future*, Island Press: Washington, DC, pp. 70-85.
- Noland, R. B. y L. L. Lem (2002) “A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and the UK”, *Transportation Research Part D*, 7(1), 1-26.
- Noland, R. B. y W. A. Cowart (2000) “Analysis of metropolitan highway capacity and the growth in vehicle miles of travel”, *Transportation*, vol. 27, no. 4, pp. 363-390.
- Noland, R. y W. Cowart (2000) “Analysis of metropolitan highway capacity and the growth in vehicle miles of travel”, *Transportation* 27(4), 363-390.
- OCDE (2011) “*OECD Economic Surveys: Belgium 2011*”, OECD Publishing.
- Odeck, J., y K. Johansen (2016) “Elasticities of fuel and traffic demand and the direct rebound effects: An econometric estimation in the case of Norway”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 83, 1-13.

- Parthasarathi, P., D. M. Levinson y R. Karamalaputi (2003) "Induced demand: A microscopic perspective", *Urban Studies*, 40(7), 1335-1351.
- Pérez, M. P. (2012) "Energy consumption and emissions from the road transport in Spain: A conceptual approach", *Transport*, 27(4), 383-396.
- Polzin, S., X. Chu y L Toole-Holt (2004) "Forecasts of future vehicle miles of travel in the United States", *Transportation Research Record*, 1895, 147-155.
- Prakash, B. A., E. H. D'A, Oliver IV y K. Balcombe (2001) "Does building new roads really create extra traffic? Some new evidence", *Applied Economics*, 33(12), 1579-1585.
- Proost, S. y K. Van Dender (2011) "What sustainable road transport future? Trends and policy options", *Review of Environmental Economic Policy*, 5(1), 44-65.
- Proost, S. y K. Van Dender (2012) "Energy and environment challenges in the transport sector", *Economics of Transportation*, 1(1), 77-87.
- Rentziou, A., K. Gkritza y R. R. Souleyrette (2012) "VMT, energy consumption, and GHG emissions forecasting for passenger transportation", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), 487-500.
- SACTRA (Standing Advisory Committee for Trunk Road Assessment, 1994) "Trunk roads and the generation of traffic". London: Department of Transport.
- Schuitema, G., L. Steg y C. Vlek (2007) "Are pricing policies effective to change car use?", *IATSS Research*, 31(1), 21-31.
- Southworth, F. (2001) "On the potential impacts of land use change policies on automobile vehicle miles of travel", *Energy Policy*, 29(14), 1271-1283.
- Southworth, F. (2001) "On the potential impacts of land use change policies on automobile vehicle miles of travel", *Energy Policy*, 29(14), 1271-1283.
- Spiller, E., H: Stephens, C. Timmins y A. Smith (2014) "The effect of gasoline taxes and public transit investments on driving patterns", *Environmental and Resource Economics*, 59(4), 633-657.
- Stamps, A. E. III. (1990) "Use of photographs to simulate environments: A meta-analysis", *Perceptual and Motor Skills*, 71(3), 907-913.
- Stamps, A. E. III. (1999) "Demographic effects in environmental aesthetics: A meta-analysis", *Journal of Planning Literature*, 14(2), 155-175.
- Stathopoulos, F. G. y R. B. Noland (2003) "Induced travel and emissions from traffic flow improvement projects", *Journal of the Transportation Research Board*, 1842, 57-63.
- Stead, D. y S. Marshall (2001) "The relationships between urban form and travel patterns: An international review and evaluation", *European Journal of Transport Infrastructure Research*, 1(2), 113-141.
- Su, (2014) "How does fuel economy of vehicles affect urban motor vehicle travel in the USA?", *Energy Efficiency*, 8(2), 339-351.
- Su, Q. (2010) "Travel demand in the U.S. urban areas: A system dynamic panel data approach", *Transportation Research Part A*, 44(2), 100-107.
- Su, Q. (2011) "Induced motor vehicle travel from improved fuel efficiency and road expansion", *Energy Policy*, 39, 7257-7264.
- Su, Q. (2012) "A quantile regression analysis of the rebound effect: Evidence from the 2009 National Household Transportation Survey in the United States", *Energy Policy*, 45, 368-377.
- Taylor, C. J., L. K. Nozick, y A. H. Meyburg (1998) "Selection and evaluation of travel demand management measures", *Transportation Research Record*, 1598(), 49-60.
- Timilsina, G. R. y B. H. Dulal (2009) "Regulatory instruments to control environmental externalities from the transport sector", *European Transport*, 14(41), 80-112.
- Timilsina, G. R. y B. H. Dulal (2011) "Urban road transportation externalities: costs and choice of policy instruments", *World Bank Research Observer*, 26(1), 162-191.

- Tiwari, R., R. Cervero y L. Schipper (2011) "Driving CO₂ reduction by integrating transport and urban design strategies", *Cities*, 28(5), 394-405.
- Tscharaktschiew, S. (2014) "Shedding light on the appropriateness of the (high) gasoline tax level in Germany", *Economics of Transportation*, 3(3), 189-210.
- Walter, J. y R. Ewing (2009) "Measuring the benefits of compact development on vehicle miles and climate change", *Environmental Practice*, 11(03), 196-208.
- Wang, X., A. Khattak e Y. Zhang (2013) "Is Smart Growth Associated with Reductions in Carbon Dioxide Emissions?", *Journal of the Transportation Research Board*, 2375(1), 62-70.
- Wang, X., C. Liu, L. Kostyniuk, Q. Shen y S. Bao (2013) "The influence of street environments on fuel efficiency: insights from naturalistic driving", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(8), 2291-2306
- Wang, Z. y M. Lu (2014) "An empirical study of direct rebound effect for road freight transport in China", *Applied Energy*, 133(15), 274-281.
- Wohlgemuth, N. (1997) "World transport energy demand modelling: Methodology and elasticities", *Energy Policy*, 25(14), 1109-1119.
- Xia, T., M. Nitschke, Y. Zhang, P. Shah, S. Crabb y A. Hansen (2015) "Traffic-related air pollution and health co-benefits of alternative transport in Adelaide, South Australia", *Environment International*, 74, 281-290.
- Zegras, C. (2010) "The built environment and motor vehicle ownership and use: Evidence from Santiago de Chile", *Urban Studies*, 47(8), 1793-1817.
- Zegras, C. (2010) "The built environment and motor vehicle ownership and use: Evidence from Santiago de Chile", *Urban Studies*, 47(8), 1793-1817.
- Zhang, Y. y R. Marshment (2012) "Long-run elasticity of demand for passenger car travel with respect to highway tolls and gasoline prices for long distance trips". CICTP 2012: pp. 3649-3658.
- Zhao, S. y N. He (2011) "Elasticity-based model applies in the forecasting of highway induced traffic", *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 11(3), 1-7.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES DE
POLÍTICAS PÚBLICAS

IV.1. Introducción

Los determinantes de la demanda de combustible y viajes de vehículos han recibido una atención considerable como resultado de la creciente preocupación por el cambio climático y la contaminación del aire local y problemas medioambientales. La comprensión de los determinantes de la demanda combustibles y tráfico por carretera representan un factor clave para el desarrollo de políticas ambientales y de transporte, dado que el consumo de carburantes y los desplazamientos por carretera han contribuido de manera importante al aumento de los gases de efecto invernadero del sector del transporte. Para el caso de España el sector automotor aporta aproximadamente el 23% por ciento de emisiones de CO₂ equivalentes totales. La reducción las emisiones de CO₂ de los vehículos y el consumo óptimo de los carburantes pueden ser abordadas con políticas públicas, por ejemplo, medidas para mejorar la eficiencia energética del sistema de transporte, normativas sobre emisiones de CO₂ por kilómetro, impuestos verdes al consumo de gasolinas, a la compra de autos y a la congestión por contaminación atmosférica por uso de vialidades.

La elección del vehículo y tipo de combustibles son los principales determinantes del nivel de emisión de gases contaminantes. Estudios previos a nivel internacional sobre la demanda de combustibles se han concentrado en el consumo de gasolina, ya que por mucho tiempo fue el principal combustible para la flota de vehículos de pasajeros. Sin embargo, el análisis de la demanda de carburantes debe incluir al transporte de carga. Para el caso de España se han examinado los principales factores determinantes del consumo de gasolina y diesel a través de micro-datos de hogares, por comunidades autónomas y datos agregados a nivel nacional. Los resultados son diversos a consecuencia de las especificaciones y de los distintos métodos de estimación, por lo tanto, las conclusiones que se han obtenido son un tema aún abierto.

Este Capítulo presenta un resumen de las principales contribuciones y destaca los resultados principales de esta tesis. Además proporciona algunas recomendaciones de políticas públicas para futuras investigaciones. En esta tesis se ha centrado en la modelación de la demanda de gasolinas y uso de vehículos a nivel agregado para 48 provincias en España. Esta tesis fue motivada por otros estudios donde se analiza el consumo de gasolinas sin considerar la importancia de especificar modelos separados por carburantes y tipos de vehículos y sus impactos en el medio ambiente. Este capítulo es estructurado como sigue. La siguiente sección presenta las contribuciones de esta tesis a la literatura existente. Un resumen de los resultados

de cada uno de los capítulos de esta tesis se presenta en tercera parte. Finalmente, se presentan las principales implicaciones políticas de los resultados de este estudio.

IV.2. Contribuciones a la literatura existente

El análisis empírico realizado en este trabajo contribuye a la comprensión del comportamiento de la demanda de carburantes y de los patrones del uso del automóvil considerando especificaciones separadas por carburantes (*diesel* y *gasolina*) y por tipo de vehículos (pesados y ligeros) y se pueden utilizar en el diseño de políticas dirigidas a mejorar los patrones de consumo sostenible y la reducción de emisiones de gases de invernadero (*en especial el CO₂*) del transporte por carretera. El documento hace tres contribuciones a la literatura sobre la demanda de combustible y demanda de tráfico por carretera que a continuación se resumen.

En principio, se sintetiza y organiza una amplia literatura sobre los determinantes y las consecuencias ambientales del consumo de gasolinas, a fin de extraer lecciones para una mejor comprensión sobre la sensibilidad de la demanda de gasolinas en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este documento aborda este vacío en la literatura, con la intención de entender plenamente la instrumentación de políticas públicas para la reducción de emisiones contaminantes en el sector transporte.

Por otra parte, la literatura ha discutido y analizado los determinantes de la demanda total de carburantes (gasolina y diesel) o particularmente de la demanda de gasolina. Sin embargo, diferenciar por tipo de combustible y por tipo de vehículo (ligero y pesado) en el análisis de la demanda de combustibles ha recibido poca atención. Existen algunos análisis en España que han incluido la separación entre consumo de gasolina y diesel, pero estos estudios no han incluido estimaciones que permitan la estimación directa por tipo de carburantes y vehículo. Gracias al amplio conjunto de datos que hemos construido, hemos sido capaces de utilizar variables adicionales y de realizar la separación del consumo de carburantes, gasolina y diesel, y también de separarlo por tipo de vehículo, ligero y pesados. De esta manera, generamos nueva evidencia empírica sobre las elasticidades de la demanda de carburantes por tipo de vehículo a corto y largo plazo para las 48 provincias de España utilizando un conjunto de datos que han sido compilados por primera vez específicamente para este análisis.

La demanda de viajes se ha explicado por un gran número de determinantes, incluidos los precios (*de las gasolinas, del costo del combustible por kilometro, de los peajes*), ingresos, eficiencia de los carburantes, estado de la infraestructura vial y características demográficas. Sin embargo, las especificaciones empíricas pocas veces se han justificado diferenciando por tipo de combustibles y tipo de vehículo utilizado, debido principalmente a la disponibilidad de los datos. De esta forma, utilizamos datos de kilómetros recorridos por tipo de vehículos, pesados y ligeros, para estimar las magnitudes de las elasticidades de los factores determinantes, las consecuencias para el medio ambiente y respuestas en términos de políticas públicas.

IV.3 Resultados de los capítulos

El análisis empírico de esta tesis consta de cuantificar los factores que determinan a la demanda de carburantes y viajes por tipo de vehículos para provincias de España. En esta sección se resumen los resultados de cada uno de los capítulos de esta tesis. La primera parte comienza con el capítulo primero sobre la experiencia y el diseño de políticas ambientales a partir de la revisión de la literatura internacional sobre demanda de carburantes. La sección siguiente resume los resultados de la demanda de carburantes. Finalmente, se presenta brevemente el análisis del capítulo sobre el tráfico rodado en España.

El Capítulo I “La demanda de gasolinas: Una revisión de la experiencia y el diseño de políticas ambientales”, proporciona una extensa revisión de estimaciones sobre los determinantes de la demanda de gasolina que incluyen distintas metodologías, incluyendo enfoques y técnicas econométricas. De igual forma, provee distintas políticas públicas ambientales y de transporte que se han aplicado para favorecer un consumo de gasolinas óptimo y con ello menos emisiones de gases contaminantes. A continuación, se extraen algunas conclusiones a partir de la evidencia internacional sintetizada en este estudio.

En primer lugar, las magnitudes de las elasticidades ingreso y precio son diferentes dependiendo del tipo de datos utilizados, de los métodos de estimación aplicados y se modifican a través del tiempo. Otro aspecto que se observa es que las magnitudes son distintas por regiones, países y a nivel local. De hecho, pueden presentar sesgo por variables relevantes omitidas dependiendo del modelo especificado, países incluidos y del período de tiempo considerado. La evidencia disponible indica que la separación del consumo de combustibles puede revelar algunas

características importantes con respecto a la naturaleza estructural del comportamiento del consumidor de combustibles.

Por otra parte, con el objetivo de determinar qué factores afectan sistemáticamente las magnitudes de las elasticidades de la demanda de carburantes se realizó un meta-análisis. Las variables explicativas en el modelo de la meta-regresión incluyen la especificación de la demanda, cobertura geográfica, características de los datos y técnicas de estimación. El valor promedio de las estimaciones de la elasticidad de los precios incluidos en la revisión es -0.146 para el corto plazo y 0.403 para el largo plazo. El valor medio de la elasticidad ingreso de corto y de largo plazo es de 0.358 y 0.929 , respectivamente.

Los resultados de la meta-regresiones muestran que las estimaciones que omiten la información del vehículo reportan elasticidades sustancialmente mayores que los que controlan el número de vehículos. La inclusión de una tendencia tiende a reducir el valor tanto de las elasticidades precio como ingreso. Por ello, a no ser que existan razones fundadas, no resulta aconsejable incluir una tendencia temporal en las estimaciones. También se llega a la conclusión que las magnitudes de las elasticidades precio de la demanda de gasolinas se modifican al incluirse los precios de otros combustibles sustitutos o modos de transporte sustitutos. Esta última conclusión puede haber fomentado el uso de modelos con especificaciones que consideran las características del parque vehicular que se observan en la literatura reciente. También, la meta-regresión informa que los consumidores son claramente más sensibles al precio en los países con menor nivel de desarrollo. Con respecto a las técnicas estimación, el resultado más evidente es que las elasticidades precio e ingreso son significativamente menos elásticas cuando se utiliza mínimos cuadrados ordinarios.

Por otra parte, la revisión de la literatura permite constatar que los instrumentos tributarios (*fiscales*) para la mitigación de emisiones de CO_2 presentan una gran variedad mecanismos que se pueden aplicar donde destacan: Impuestos sobre la compra, propiedad de un vehículo y a los combustibles, subsidios a los vehículos, impuestos verdes, tasas (permisos o derechos) de emisiones contaminantes, sistemas de depósito, contribuciones especiales, recargos o sobreimposición, licencias fiscales, ayudas financieras y beneficios fiscales. La cuestión de interés es que política es capaz de entregar una reducción sustancial de emisiones de CO_2 . La reducción del consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero depende de manera crucial de la respuesta de los consumidores a las variaciones de los determinantes de

la demanda de gasolina, por tanto requiere de medidas de diversa índole. De esta manera, mientras los incentivos económicos pueden seguir teniendo influencia en el control y reducción del consumo de carburantes, se espera que la combinación con medidas de regulación represente un papel aún más importante en el futuro de lo que lo hacen hoy.

El Capítulo II “La demanda de gasolinas en provincias de España: Un análisis con datos panel cointegrado por tipo de vehículo”, emplea datos agregados para 48 provincias de España durante el periodo 1999-2012 para estimar respuestas del consumo de gasolinas distinguiendo por tipos de combustibles y vehículos a cambios en los precios de los carburantes, la actividad económica, la flota vehicular, la red de carreteras y la eficiencia de los combustibles. En términos generales, los resultados muestran que existe una relación de cointegración para todas las especificaciones de la demanda de carburantes. Las estimaciones reportan una relación positiva respecto a la actividad económica, a la flota vehicular y a la red de carreteras, y una negativa con respecto a los precios de los carburantes. Cabe destacar que la variable eficiencia de los carburantes no resultó ser una variable significativa en nuestros modelos. La magnitud de las elasticidades es consistente con las estimaciones reportadas en diversas investigaciones empíricas a nivel internacional y son estimaciones razonables y similares a estimaciones de estudios que se han realizado para España.

En primer lugar encontramos que la elasticidad ingreso estimada para demanda de turismos a gasolina (0.28) es inferior a los resultados hallados en la literatura, mientras que la elasticidad del diesel (1.34) se encuentra por encima. Este hallazgo de la elasticidad ingreso no es realista y destaca que no ha sido posible separar claramente el efecto renta del impacto que ha tenido el proceso de dieselización. La alta correlación entre el parque vehicular y la actividad económica posiblemente hizo que se encontraran tales magnitudes de las elasticidades ingreso. Por lo tanto, no es posible derivar conclusiones acerca de la elasticidad renta por tipo de carburante y será necesario acudir a la ecuación conjunta. La elasticidad ingreso estimada de la demanda de combustibles en turismos es de 1.09, magnitud consistentes con las estimaciones reportadas en diversas investigaciones empíricas a nivel internacional, sobre la sensibilidad del consumo de carburantes (suma de gasolina y diesel) a cambios en el nivel de la actividad económica.

La elasticidad de la demanda de combustible con respecto a los precios de combustible de -0.27 para turismos a diesel, de -0.43 para turismos a gasolina y de -0.33 para turismos (suma de combustibles), lo que indica que un aumento del 10% en el precio se asocia con una reducción

en el consumo de combustible entre un 2.7 y 4.3 por ciento. Estos resultados son relevantes para evaluar el impacto que pudiese tener en las provincias las diferencias fiscales que han recibido el diesel y las gasolinas en el período de estudio. La política de fijar menores impuestos para el diesel que la gasolina que se optó en países de Europa no sólo aumento los vehículos a diesel en el parque total sino además aumento del consumo de diesel de turismos lo que significa impactos ambientales significativos, en particular emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Por lo tanto, para lograr reducciones significativas en el consumo de carburantes es necesaria una política de precios que considere un incremento sustancial. En el corto plazo nuestro análisis revelan que las elasticidades ingreso de la demanda de turismos a diesel y gasolina resultaron en 1.00 y 0.335, respectivamente, mientras que para la suma de carburantes su valor se ubico en 1.010. Por su parte las elasticidades con respecto a los precios resultaron cercanas a cero: -0.050 para turismos a diesel, -0.135 para la suma de carburantes y de -0.236 para turismos a gasolina. Estos resultados muestran que las elasticidades precio son menores a corto plazo lo que significa que los consumidores tienen una mayor capacidad de ajuste en el largo plazo.

Las estimaciones de la demanda de consumo de diesel de camiones para las elasticidades ingreso a corto y largo plazo fue de 0.82 y 0.46, respectivamente. Lo que significa que el transporte de mercancías y pasajeros es sensible a cambios en la trayectoria de la actividad económica. En el caso del precio del diesel en camiones, los resultados muestran valores negativos y significativos de -0.157 y -0.154 para el corto y largo plazos, respectivamente. La elasticidad de la demanda por diesel de los camiones es relativamente más baja que la demanda por gasolina y diesel en turismos. Como resultado, los combustibles por tipo de vehículo deben ser tratados de manera diferente. También se ilustra las emisiones de gases de efecto invernadero (en particular CO₂) del transporte por carretera utilizando los factores de emisión de CO₂ oficiales para los turismos a gasolina y diesel y para el consumo de camiones a diesel. Los resultados muestran una firme tendencia del crecimiento de la participación de emisiones del consumo de diesel frente al de gasolina.

Finalmente, en se presentan los resultados del Capítulo III “La demanda de viajes de vehículos ligeros y pesados: Análisis con datos panel en España”. Gran parte de la literatura no toma en cuenta el papel que juega la separación del tráfico rodado por tipo de vehículo en el consumo de combustible y en las consecuencias medioambientales. Obtenemos elasticidades de corto y largo plazos de la demanda de tráfico rodado por tipo de vehículo. Las elasticidades ingreso

son positivas y estadísticamente significativas, con valores estimados en 0.55 y 0.97 en el corto plazo y 0.87 y 0.92 en el largo plazo para vehículos ligeros y pesados, respectivamente. Lo que implica demandas elásticas respecto al ingreso. Las elasticidades tráfico rodado con respecto a los precios de los combustibles presentan valores negativos y significativos. Las elasticidades para los vehículos ligeros en el corto y largo plazo son -0.299 y -0.305, respectivamente. Mientras que para los vehículos pesados reportan un valor de -0.155 en el corto plazo y a largo plazo de -0.187. Los resultados sugieren que la demanda de combustible de los vehículos pesados y ligeros son inelásticas, aunque la magnitud es más baja en camiones que en automóviles.

Los resultados también muestran que la demanda de tráfico por carretera decrece con la densidad de la población, lo cual confirma que la densidad poblacional está asociada con el comportamiento de los viajes por carretera. La elasticidad eficiencia de los combustibles para los vehículos ligeros reporta un valor de -0.270 para el largo plazo. Lo cual podría indicar que parte de las mejoras en eficiencia se trasladan a un aumento de los kilómetros recorridos y, por consiguiente, se reduce el efecto positivo. La variable eficiencia de los carburantes no resultó significativa para los vehículos pesados. De igual manera, los resultados confirman la existencia de tráfico inducido para el caso de España. Los coeficientes muestran valores de en el largo plazo 0.066 para los vehículos ligeros y de 0.018 para los vehículos pesados. Estos valores son inferiores a los obtenidos en otros estudios. No obstante, estos valores promedio dependen en gran medida de las características de las rutas, urbanas vs interurbanas, y de su grado de congestión.

En suma, los resultados de la magnitud de las elasticidades son estimaciones razonables y similares a estudios que se han realizado para el comportamiento de vehículos ligeros y pesados y cuantitativamente similares a estudios que se han realizado para el caso de España pero con algunas diferencias con respecto al diferente periodo de tiempo, al nivel de agregación, a las variables explicativas y a la distinción por tipo de vehículos. Sin embargo, es importante destacar que los resultados que se han obtenido varían dependiendo de la distinción de viajes por tipo de vehículo y de los determinantes empleados. Sostenemos que esto resulta crucial para considerarse en la formulación de políticas en el medio ambiente.

IV.4. Implicaciones de políticas públicas

El sector transporte es importante de cara al desarrollo de políticas encaminadas a la reducción del consumo de gasolinas y las emisiones contaminantes asociadas. Dada la actual dependencia de los combustibles por el sector transporte en España, necesariamente seguirá emitiendo una cuota importante de emisiones de CO₂. Es necesario estimular medidas e instrumentos que ayuden a revertir las tendencias actuales de consumo energético. De esta manera, en la formulación de políticas económicas, requiere avanzar en la definición de su estrategia sobre cambio climático a fin de reducir efectos negativos irreversibles. Así por ejemplo, instrumentar una estrategia que permita separar el crecimiento económico del consumo de combustibles y de las emisiones de CO₂ asociadas resulta necesaria. Sin embargo, esta medida por sí sola puede ser insuficiente para el cumplimiento de los compromisos medioambientales, requieren de tiempo para que ser efectiva y deben ir acompañadas de cambios de estilo de vida que repercutan en el transporte de viajeros y de mercancías. Existe un mensaje importante, nos enfrentamos a un problema de largo plazo, ahora es el momento de actuar, ajustando el consumo de combustibles fósiles a la infraestructura y tecnologías de vehículos, al aumento de los precios en proporción a los daños ambientales que causan. Así, las políticas en el sector del transporte podrían combinar impuestos o derechos sobre las emisiones de CO₂, para tratar con el cambio climático, basado en los impuestos diferenciados, que tomen en cuenta la contaminación atmosférica, de los motores a diesel y gasolina por tipo de vehículo. La evidencia empírica presentada anteriormente sugiere importantes implicaciones para la política de transporte y medioambiente en las provincias de España.

Una fuerte implicación política con respecto a los precios de los carburantes es que el consumo de carburantes y el tráfico rodado responden de forma significativa a una variación del precio. La aplicación de impuestos a los carburantes puede dar lugar a una reducción del consumo y de la demanda de viajes. Es importante hacer hincapié en que esta tesis explora las respuestas tipo de carburante y vehículo. Por ejemplo, para la demanda de carburantes los turismos y camiones a diesel presentan elasticidades precios menores que los turismos a gasolina. Por su parte, las elasticidades de los precios de combustible de los vehículos pesados y ligeros para el tráfico rodado son bajas, aunque la magnitud es más baja en camiones que en automóviles. Además, si el objetivo de la política es el control de la contaminación de gases contaminantes los precios de los carburantes tendrían que aumentar significativamente. Así, las políticas públicas dirigidas al transporte deben de reconocer la necesidad de vincular los precios al consumo de carburante por tipo de transporte y sus implicaciones en el medio ambiente.

La importancia de las políticas públicas con respecto a la actividad económica muestra que la renta tiene un efecto más que proporcional en el consumo de diesel en turismos, un aumento proporcional en el consumo de carburantes en turismos y poco menos significativo en el consumo de gasolina en turismos. Este estudio no logro separar claramente el efecto renta del impacto que ha tenido el proceso de dieselización. Por lo tanto, las recomendaciones de políticas relativas a la renta sobre el consumo de carburantes de turismos, están fuera del alcance de este estudio. Con respecto a los kilómetros recorridos los resultados muestran respuestas elásticas respecto a la renta. Se ha encontrado una relación positiva entre el ingreso y el uso de los automóviles, lo que indica que los individuos con mayores ingresos tienden a viajar más y utilizar su coche más en comparación con aquellos con menores ingresos. Con el fin de lograr reducciones en el consumo de carburantes y de las respectivas emisiones contaminantes se podría vincular con las estimaciones del tráfico por carretera a través de una política pública que contemple estrategias para hacer cambios del comportamiento de los individuos en las distancias recorridas, en el número de viajes, y en el uso de modos de transporte alternativos; se ha incentivado el cambio en el uso de automóviles más eficientes, cambiar o impulsar modos de transporte más eficientes, viajes con vehículos compartidos y la supresión de viajes. Un aumento en el uso del transporte público, combinado con una disminución en el uso de los vehículos privados puede reducir la congestión del tráfico y del dióxido de carbono (CO₂) de los vehículos ligeros. Sin embargo, es difícil lograr reducciones a través de los modos de desplazamiento de los vehículos pesados. Mientras que las nuevas normas requerirán reducciones de las emisiones de GEI de camiones pesados, se requerirá mucho más trabajo para lograr reducciones significativas.

Las emisiones de carbono del sector de transporte han sido una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero. Diversos instrumentos de política se han diseñado para controlar las emisiones de los vehículos de motor, entre las cuales destacan los impuestos y las regulaciones sobre eficiencia de los vehículos. A pesar de que la mejora de la eficiencia del combustible es capaz de reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ en nuestras estimaciones de demanda de carburantes en turismos y camiones no resulto significativa. No obstante, en las estimaciones de los kilómetros recorridos de vehículos ligeros la eficiencia resulto significativa y con el signo correcto. El coeficiente obtenido indica que un aumento en los rendimientos de las gasolinas podría generar una disminución de los kilómetros recorridos en el consumo, aunque en magnitud relativamente pequeña. Sin embargo, la regulación por sí

sola no puede dar lugar a un sistema de transporte sostenible. Un instrumento de política podría combinar la mejora del rendimiento de los combustibles y un impuesto sobre el carbono. La combinación de estos instrumentos en la literatura empírica ha adquirido importancia en las preocupaciones sobre el cambio climático y para alcanzar los objetivos de reducción de las emisiones de GEI.

Por último, la implicación de política con respecto a la red capacidad de las carreteras es que la mejora en la red de carreteras incentiva la generación de nuevo tráfico, parte del cual corresponde a un cambio modal desde otros modos como el ferrocarril. Esto es, la política de inversión en infraestructuras también tiene efecto en el consumo de carburantes y emisión de gases de efecto invernadero, mejoras de capacidad vial no puede aliviar los problemas de la congestión y de la dependencia del automóvil. En la medida que la inversión favorezca modos de transporte más contaminantes, contrarrestará cualquier política de precios destinada a reducir el uso de los modos más contaminantes.