



Revista mexicana de economía y finanzas

ISSN: 1665-5346

ISSN: 2448-6795

Instituto Mexicano de Ejecutivos de Finanzas, A. C.

Antón Sarabia, Arturo; Hernández Trillo, Fausto  
Internalizando externalidades: el impuesto a la gasolina en Guatemala  
Revista mexicana de economía y finanzas, vol. 14, núm. 1, 2019, Enero-Marzo, pp. 1-20  
Instituto Mexicano de Ejecutivos de Finanzas, A. C.

DOI: <https://doi.org/10.21919/remef.v14i1.356>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423759365001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

## Internalizando externalidades: el impuesto a la gasolina en Guatemala

Arturo Antón Sarabia<sup>1</sup>

Centro de Investigación y Docencia Económicas, México

Fausto Hernández Trillo

Escuela de Ciencias Sociales, ITESM, México

(primera recepción: 19/febrero/2018, última recepción: 19/septiembre/2018,  
aceptado: 4/octubre/2018)

### Resumen

El objetivo de este artículo consiste en estimar el nivel óptimo de impuesto a la gasolina para internalizar los costos provocados por el uso del automóvil en un país en desarrollo como Guatemala. La estimación se lleva a cabo usando la metodología de Parry y Small (2005). Los resultados sugieren un nivel de impuesto óptimo de 27.5 cts. de dólar/litro. Destaca que el 40 % del impuesto está explicado por las externalidades asociadas a la congestión vehicular. El nivel estimado de 27.5 cts. de dólar/litro se encuentra por encima del impuesto en vigor para los dos tipos de gasolina a la venta en Guatemala, por lo cual se recomienda su ajuste. Existe cierta incertidumbre respecto al valor apropiado de algunos parámetros del modelo; sin embargo, el análisis de sensibilidad reporta que los resultados son robustos. El estudio destaca por ofrecer un procedimiento detallado para la estimación de este impuesto utilizando información de un país en desarrollo. Finalmente, se discute la necesidad de implementar políticas públicas para aminorar los efectos adversos del impuesto, especialmente entre los hogares de deciles medios y bajos.

*Clasificación JEL: H21, H23, R48*

*Palabras clave: impuesto a la gasolina, contaminación, congestión, Guatemala*

## Internalizing externalities: Gasoline tax in Guatemala

### Abstract

The objective of this article is to estimate the optimal level of the tax on gasoline to internalize the costs caused by the use of cars in a developing country such as Guatemala. The estimation is done using the methodology by Parry and Small (2005). The results suggest an optimal tax level of USD27.5 cents per liter. Forty percent of the tax is explained by the externalities associated to traffic congestion. The estimated level of USD27.5 cents per liter is above the tax currently imposed for the two types of gasoline sold in Guatemala, thus their adjustment is recommended. There is a degree of uncertainty regarding the proper value of some of the parameters of the model; however, the sensitivity analysis reports that the results are robust. The study stands out among others because it offers a detailed procedure for the estimation of this tax, using information from a developing country. Finally, the need to implement public policies to decrease the adverse effects of the tax, especially among middle and lower decile households.

*JEL Classification: H21, H23, R48*

*Keywords: gasoline tax, pollution, congestion, Guatemala*

<sup>1</sup>Correspondencia: Arturo Antón Sarabia. Dirección: Carretera México-Toluca 3655, Col. Lomas de Santa Fe, C.P. 01210, Ciudad de México. Teléfono: 5727 9800 extensión 2743. Correo electrónico: [arturo.anton@cide.edu](mailto:arturo.anton@cide.edu). Agradecemos los valiosos comentarios de dos dictaminadores anónimos, la asistencia de Kevin Luévano y el apoyo de la CEPAL. Las opiniones aquí vertidas son responsabilidad exclusiva de los autores.

## 1. Introducción

Cada vez existe más evidencia que confirma que el cambio climático es una realidad. Para mitigar sus efectos, los países avanzados (tal vez con la excepción de EE. UU., que ha dado señales encontradas de acuerdo con su ciclo político) han tomado importantes acciones, tanto de manera individual como concertada. Una de las estrategias adoptadas consiste en internalizar las externalidades -negativas- ambientales por medio de una política impositiva “verde”. Así, se han establecido impuestos al carbono y plaguicidas y sobre el consumo de gasolina, entre otros. Los impuestos sobre este último rubro se han aplicado en la mayor parte de los países de Europa. No obstante, estos impuestos no fueron introducidos de manera aislada. Más bien, se incluyeron como parte de una estrategia integral que incluyó, entre otras acciones, el acceso a alternativas eficientes de transporte urbano; acciones complementarias -no tributarias- para mitigar la generación de la contaminación; y el otorgamiento de subsidios a esquemas efectivos de seguridad y protección social. Desde esta perspectiva, la implementación de impuestos “verdes” y, en específico, de impuestos a la gasolina, representa uno de los retos más complejos que enfrentan los países en desarrollo, como es el caso de los países de América Latina.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo cuantificar el nivel adecuado de impuesto a la gasolina para internalizar los costos provocados por el uso del automóvil en países en desarrollo. Para tal efecto, se propone como referencia analizar el caso de Guatemala. Existen tres razones importantes que justifican nuestra elección. En primer lugar, Guatemala es un país representativo de la América Central, región poco estudiada en la literatura. Entre otras cosas, destaca que la capital, Ciudad de Guatemala, concentra el 45 % del total de vehículos en circulación en el país, fenómeno muy particular de América Latina. En segundo lugar, dicho impuesto tiene una historia de más de 25 años en dicho país, el cual se ha mantenido fijo en términos nominales desde el año 2003. Por lo tanto, resulta de interés evaluar cuál sería el nivel adecuado de impuesto hoy en día, tomando en cuenta el incremento vehicular registrado durante estos años y las externalidades asociadas a este fenómeno. Por último, la ley en Guatemala asigna parte de los recursos obtenidos por este impuesto a servicios de transporte público y obras de infraestructura vial. En la medida que estos recursos se destinen a financiar infraestructura para favorecer el uso de transporte público, este tipo de políticas posee un gran potencial para hacer un uso más eficiente de los combustibles fósiles y a la vez mitigar las externalidades asociadas a su consumo.

Para tal efecto, el artículo utiliza la metodología de Parry y Small (2005), la que considera una serie de externalidades negativas causadas por el uso del automóvil, como son los costos por contaminación, congestión y accidentes. De esta manera, el impuesto a la gasolina busca aminorar los efectos adversos de dichas externalidades, a través del incremento en el costo del uso del automóvil. La estimación central sugiere un nivel de impuesto de 27.5 cts. de dólar/litro, el cual aplicaría por igual a los dos tipos de gasolina que se venden en el país (regular y superior). A su vez, el modelo sugiere que el 40 % del impuesto se explica por las externalidades asociadas a la congestión vehicular. Por su parte, las externalidades relacionadas con la contaminación y los accidentes tienen un peso relativamente similar en la composición del impuesto. Debido a la incertidumbre asociada a los parámetros para llevar a cabo dicha estimación, se realiza además un análisis de sensibilidad. En general, dicho análisis arroja niveles óptimos de impuesto menores a 40 cts./litro, aunque mayores al nivel de impuesto de 16.1 cts./litro que se ha cobrado en promedio al consumo de gasolina superior en años recientes.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera. La sección 2 ofrece una breve discusión sobre la utilización de impuestos o subsidios a la gasolina en América Latina. Posteriormente, se describe la situación de este mercado en Guatemala. En las secciones 4 y 5 se presenta el modelo y se detalla su calibración. Los resultados se discuten en la

sección 6 y la última sección contiene las conclusiones.

## 2. El impuesto a la gasolina en América Latina

Como se sabe, el uso del automóvil genera una serie de externalidades negativas sobre la sociedad. Entre las más relevantes se encuentran la contaminación atmosférica (local y global), la congestión y los accidentes. Una de las maneras generalmente utilizadas para corregir dichas externalidades es a través de un impuesto a la gasolina (Krupnick, 1991; y Eskeland, 1994). De acuerdo con la teoría económica, la tasa impositiva debe fijarse de tal manera que sea proporcional al daño social marginal que genera.

Contrario a este principio, en América Latina se ha hecho un uso extensivo de subsidios a los combustibles fósiles (gasolina y diésel). En la región, estos subsidios han sido del 1 % del PIB en promedio durante el periodo 2011-2013 (Di Bella et al., 2015). Para poner este dato en perspectiva, Mendoza (2014) estima que los subsidios otorgados por Venezuela, México, Ecuador, Argentina y Colombia en 2012 representaron el 26 % del monto total de subsidios asignados por un grupo de 59 países alrededor del mundo. Por supuesto, existe una gran heterogeneidad entre las economías de la región: Venezuela y Ecuador otorgan subsidios equivalentes al 7 % del PIB, mientras que en Chile, Costa Rica, Guatemala y Uruguay no existen estos subsidios (Di Bella et al., 2015). Como resultado, los precios promedio de la gasolina y del diésel en América Latina generalmente se ubican por debajo del promedio mundial, inclusive por debajo de regiones en vías de desarrollo como Asia-Pacífico y el África sub-Sahariana (Gómez y Morán, 2013). Esto se explica, se reitera, por una ausencia del tributo, o bien por uno fijado muy debajo del nivel que internaliza la externalidad.

La literatura relacionada con la fijación de un impuesto óptimo a la gasolina en contextos de países o regiones desarrolladas es relativamente amplia (véase, por ejemplo, Bovenberg y Goulder, 1996; Parry y Small, 2005; West y Williams, 2007; Lin y Prince, 2009, entre otros). Por el contrario, la determinación óptima de este impuesto para economías emergentes ha sido menos estudiada. En particular, Parry y Strand (2012) y Antón y Hernández (2014) estiman el nivel del impuesto óptimo en países como Chile y México, respectivamente. Lo que destaca de estos estudios es que los factores que determinan el impuesto óptimo en países desarrollados tienen una importancia relativa distinta en países en desarrollo. Por ejemplo, las externalidades por accidentes de automóvil en Chile son significativamente mayores a las reportadas para países desarrollados (Parry y Strand, 2012). Por esta razón, sería inadecuado extrapolar las estimaciones de países desarrollados a economías emergentes como Guatemala, país que además sufre de tasas de congestión vehicular muy elevadas. Al respecto, cabe destacar que no existen trabajos que estimen el nivel de impuesto óptimo para este país centroamericano.

Una de las razones por las cuales la fijación de un impuesto especial a la gasolina típicamente encuentra una oposición considerable es su posible impacto regresivo. En particular, el impuesto es progresivo en la medida que afecte proporcionalmente más a los hogares de mayores ingresos. Por el contrario, el impuesto es regresivo si afecta fundamentalmente a los hogares de menores ingresos. En este sentido, resulta importante hacer una distinción entre los impactos directos e indirectos del impuesto. El primero de ellos se refiere a la afectación que el impuesto genera a los dueños de vehículos, mientras que el segundo toma en cuenta el efecto del impuesto sobre los precios de otros bienes y servicios, incluyendo el transporte público y de mercancías.

La evidencia para América Latina muestra que existe cierto consenso de que el impuesto a la gasolina es progresivo si sólo se toma en cuenta el impacto directo del mismo. Estos son precisamente los resultados obtenidos por Blackman et al. (2010) para el caso de Costa Rica; Jorrat (2010) y Agostini y Jiménez (2015) para Chile; y Fernández y Vi-

llarreal (2012), y Huesca y López (2016) para México.<sup>2</sup> Desafortunadamente, no existen referencias en la literatura sobre la progresividad de este impuesto tomando en cuenta sus efectos indirectos. La evidencia más cercana al respecto proviene de Barreix et al. (2009) para varios países centroamericanos y del Caribe, y de Blackman et al. (2010) para Costa Rica. En dichos estudios se toma como referencia a los combustibles en general (Barreix et al.) o a la gasolina más el diésel (Blackman et al.). Bajo tales especificaciones, estos autores encuentran que el efecto indirecto de un impuesto a los combustibles es regresivo. Sin embargo, una vez que se toman en cuenta los efectos directos e indirectos, el efecto total es prácticamente nulo. Para el caso particular de Guatemala, Barreix et al. (2009) reportan un efecto total nulo del impuesto a los combustibles. Como se señala en Blackman et al. (2010) y Gómez y Morán (2013), estos resultados sugieren que un impuesto a la gasolina no tendría efectos redistributivos importantes, inclusive una vez tomando en cuenta sus efectos indirectos.

### 3. El mercado de gasolina en Guatemala

Guatemala es una nación importadora neta de gasolinas, y su consumo se ha mantenido relativamente estable durante los últimos dos años. De acuerdo con información de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT), en el país circulan aproximadamente 3.38 millones de vehículos. El departamento que más unidades representa es el de la propia Ciudad de Guatemala con 1.5 millones, seguido de lejos por Quetzaltenango con 230 mil.<sup>3</sup> Cabe destacar que estas cifras incluyen motocicletas y remolques.

Para efectos de este estudio, se descartan los vehículos que utilizan diésel o gas LP, tales como los camiones, cabezales, transporte de carga y tractores. Por lo mismo, es necesario excluirlos del parque vehicular. Con ello, el total de vehículos que utilizan gasolina asciende a 3.065 millones a mediados de 2017 (véase el cuadro 1).

**Cuadro 1.** Parque vehicular que utiliza gasolina

Tipo de vehículo	Número	Proporción
Automóviles	750,031	0.245
Camionetas, Camionetillas y Paneles	401,376	0.131
Grúas	1,085	0.001
Jeep	21,451	0.007
Motocicletas	1,297,219	0.423
Pick Up	593,618	0.193
<b>TOTAL</b>	<b>3,064,780</b>	<b>1</b>

Fuente: SAT, Guatemala. Cifras a junio de 2017.

Con respecto a los precios de las gasolinas, éstos se fijan con base en los precios internacionales del petróleo, el costo de refinación (en el caso de la gasolina importada, dicho costo está incluido en el precio de importación), el costo de distribución y un impuesto. Dicho impuesto se implementó en el año de 1992, como parte de una reforma tributaria más amplia que incluyó el impuesto sobre la renta, el impuesto al valor agregado, aranceles a la importación, papel sellado y timbres fiscales, y un impuesto territorial.

El impuesto a los productos derivados del petróleo se fijó en el Decreto número 38-92 del Congreso de la República. En éste, el artículo 12 apartado “A” establece que son productos afectos a la Ley, y gravados con tasas específicas por galón americano de 3.785

<sup>2</sup>Autores como Barreix et al. (2009), Roca (2010) y Gómez et al. (2012) analizan la progresividad de un impuesto a los combustibles para varios países latinoamericanos. Estos estudios no hacen la distinción entre la gasolina y los demás combustibles. Blackman et al. (2010) reportan que un impuesto al diésel es regresivo en Costa Rica, debido a que los hogares de menores ingresos son los principales usuarios del transporte público.

<sup>3</sup>En Guatemala se entiende por Departamento como la demarcación geográfica delimitada. Equivaldría a un estado federado en México o EE. UU.

litros, los distintos tipos de gasolina detallados en el cuadro 2:<sup>4</sup>

**Cuadro 2.** Impuesto según tipo de gasolina

Tipo de gasolina	Impuesto por galón
Gasolina superior	Q 4.70
Gasolina regular	Q 4.60
Gasolina de aviación	Q 4.70
Diesel y gas oil	Q 1.30

Fuente: Decreto número 38-92 del Congreso de la República.

Un aspecto interesante del gravamen es que, a diferencia de muchos países de Latinoamérica, en Guatemala se puede etiquetar el uso de los recursos recaudados por este concepto. Así, el artículo 23 del Decreto 38-92 indica que lo recaudado por concepto del impuesto será asignado presupuestariamente a municipalidades (10 centavos de quetzal por galón para la municipalidad de Guatemala, y 20 centavos de quetzal por galón al resto de los municipios) para destinarse a servicios de transporte y obras de infraestructura vial. Al mismo tiempo, el artículo 23 asigna 1 quetzal por galón al Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda para la conservación y mantenimiento de las carreteras del país.<sup>5</sup> Esto es una ventaja, puesto que la recaudación puede utilizarse para construir una nueva infraestructura vial favorable al transporte público, entre otras cosas. De hecho, en varias provincias/estados y países desarrollados, la recaudación derivada de reformas fiscales “verdes” o ambientales se utiliza para la mitigación del cambio climático, para subsidiar al transporte masivo, o para complementar el presupuesto general (véase el cuadro 3).

Conviene ahora comparar el nivel de impuesto en Guatemala con respecto al registrado en otros países. Esta comparación se presenta en la gráfica 1. Como se puede apreciar, excluyendo a los EE. UU. que no tienen un impuesto especial sobre las gasolinas, Guatemala es el país que presenta la tasa más baja dentro del grupo de países seleccionados, con una tasa de 28 %, seguido por México con una tasa de 41 %. Como ahí se observa, la tasa de impuestos en los demás países es muy alta, con un promedio de 116 %. Al mismo tiempo, resulta evidente que la tasa de impuesto que internaliza los costos no es homogénea entre países. De hecho, ésta puede variar de acuerdo con características muy particulares de cada nación, entre ellas la edad promedio del parque vehicular, el estado de las carreteras/avenidas, y los reglamentos de tránsito y ambientales.

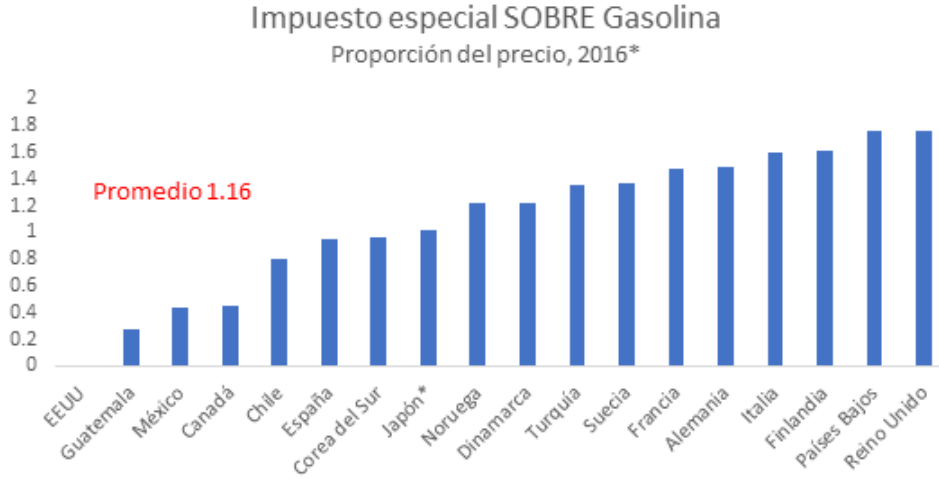
**Cuadro 3.** Destino del ingreso recaudado por reformas fiscales verdes

País o región	Año de introducción	Destino de los ingresos recaudados
Finlandia	1990	Presupuesto gubernamental general, acompañado de reducción en tasa de ISR
Holanda	1990	Reducción de otros impuestos; programas de mitigación de cambio climático
Noruega	1991	Presupuesto gubernamental general
Suecia	1991	Presupuesto gubernamental general
Dinamarca	1992	Presupuesto gubernamental general
Gran Bretaña	2001	Reducción de otros impuestos
Boulder, Co.	2007	Programas de mitigación de cambio climático
Quebec	2007	Programas de mitigación de cambio climático
British Columbia	2008	Reducción de otros impuestos
San Francisco, Ca.	2008	Programas de mitigación de cambio climático
Francia	2009	Reducción de otros impuestos
California	Propuesto	Programas de mitigación de cambio climático

Fuente: Sumner et al. (2009).

<sup>4</sup>El artículo 12 apartado “A” fue adicionado por el artículo 5 del Decreto número 11-2003 del Congreso de la República.

<sup>5</sup>El remanente, aunque no se especifica, se utilizaría para el presupuesto federal.

**Gráfica 1.** Impuestos especiales a la gasolina en el mundo

\*Guatemala y México a precios de marzo de 2017.

Fuente: International Energy Agency.

## 4. El modelo

Una vez descrito el caso de Guatemala respecto a la implementación de un impuesto especial a la gasolina, el siguiente paso es llevar a cabo un planteamiento analítico para la determinación del impuesto óptimo. El análisis se basa en el modelo de Parry y Small (2005). En la primera parte de esta sección se describen los supuestos del modelo. Posteriormente, se detalla la ecuación para determinar el impuesto óptimo.

### 4.1 Supuestos

Considere un modelo estático de economía cerrada con un agente representativo. La utilidad  $U$  de dicho agente puede representarse como sigue:

$$U = u(\psi(C, M, T, G), N) - \varphi(P) - \delta(A), \quad (1)$$

donde  $u(\bullet)$  y  $\psi(\bullet)$  son funciones cuasi-cóncavas, mientras que  $\varphi(\bullet)$  y  $\delta(\bullet)$  son funciones débilmente convexas. En esta expresión,  $C$  es el consumo del bien numerario;  $M$  son los kilómetros viajados por vehículo;  $T$  es el tiempo de manejo;  $G$  es el gasto de gobierno;  $N$  es ocio;  $P$  es la cantidad de polución generada; y  $A$  es el costo externo de los accidentes de tránsito. Todas las variables en (1) se denotan en términos per cápita. Las expresiones  $\varphi(\bullet)$  y  $\delta(\bullet)$  representan la desutilidad generada por la contaminación y los riesgos externos de accidentes de tránsito, respectivamente.

Los viajes en automóvil se “producen” en función del consumo de gasolina ( $F$ ) y de una medida monetaria de otros costos de manejo ( $H$ ). El término  $H$  incluye el precio del vehículo y los costos internos de accidentes de tránsito. Así,  $M$  se puede expresar como:

$$M = M(F, H), \quad (2)$$

donde  $M(F, H)$  es una función homogénea. A su vez, el tiempo de manejo se determina por la siguiente función:

$$T = \pi M = \pi(\bar{M}) M, \quad (3)$$

donde  $\pi$  es el inverso de la velocidad promedio por viaje, y  $\bar{M}$  son los kilómetros manejados per cápita en términos agregados, los cuales son exógenos al agente. En (3),  $\bar{M}$  representa una externalidad negativa, por lo cual  $\pi' > 0$ . Esto significa que un aumento en los kilómetros manejados por vehículo (KMV) genera una mayor congestión.

El uso del automóvil genera dos tipos de contaminantes: dióxido de carbono, denotado por  $P_F$ , y contaminantes locales del aire, representados por  $P_M$ . Estos últimos incluyen hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono, entre otros. El supuesto es que el primer tipo es proporcional al uso de combustible, mientras que el segundo es proporcional a los kilómetros manejados. Estos contaminantes se combinan de forma lineal para determinar la cantidad de contaminación:

$$P = P_F (\bar{F}) + P_M (\bar{M}). \quad (4)$$

Los términos en (4) satisfacen  $P'_F, P'_M > 0$ . En ella,  $\bar{F}$  representa el consumo de combustible per cápita a nivel agregado, el cual es exógeno para el agente. La ecuación (4) supone a su vez que los contaminantes están expresados en términos de las mismas unidades y que la contaminación es externa al agente; esto es, sus propias decisiones no afectan el nivel agregado de contaminación.

Por su parte, los costos externos de accidentes de tránsito,  $A$ , se representan a través de la siguiente función:

$$A = A(\bar{M}) = a(\bar{M}) \bar{M}, \quad (5)$$

donde  $a(\bar{M})$  es el costo externo promedio de accidentes por kilómetro.

Los ingresos del agente provienen exclusivamente del trabajo  $L$ . A su vez, el individuo debe pagar dos impuestos: un impuesto ad-valorem  $t_F$  sobre su consumo de gasolina, y un impuesto  $t_L$  sobre sus ingresos laborales. Sea  $q_F$  el precio al productor de la gasolina. De esta forma, la restricción presupuestal se puede expresar como:

$$C + (q_F + t_F) F + H = I = (1 - t_L) L. \quad (6)$$

En la ecuación (6), el salario se normaliza a 1 como se detalla en el siguiente párrafo. Si  $\bar{L}$  representa la dotación de tiempo del agente, debe ser cierto que  $L + N + T = \bar{L}$ .

En esta economía existe solo un bien, el cual se produce por empresas idénticas bajo un entorno competitivo. La tecnología es de tal forma que el trabajo es el único insumo para producir dicho bien, y se supone lineal en  $L$ . Esto implica que el producto marginal del trabajo sea constante, el cual se puede normalizar de manera conveniente a 1. Con ello, en el óptimo el salario es igual a la unidad.

Finalmente, el gobierno financia un nivel exógeno de gasto  $G$  a través de los impuestos mencionados con anterioridad. De esta manera, el gobierno debe satisfacer la siguiente restricción presupuestal:

$$t_L L + t_F F = G. \quad (7)$$

Dado el nivel de gasto  $G$ , un incremento en el impuesto a la gasolina se puede combinar con una reducción en  $t_L$  para satisfacer la ecuación (7).

## 4.2 El impuesto óptimo a la gasolina

La determinación del impuesto óptimo a la gasolina,  $t_F^*$ , proviene maximizar la utilidad del agente representativo con respecto al impuesto  $t_F$ , sujeta a su restricción presupuestal (6). En este problema, se deben tomar en cuenta los efectos de equilibrio general sobre el impuesto al trabajo, la oferta laboral, el consumo de combustible y las decisiones de manejo. También deben considerarse los efectos de los costos externos por contaminación, congestión y accidentes sobre la utilidad del agente. Los detalles de estos procedimientos se encuentran en Parry y Small (2004).

Como resultado, el impuesto óptimo  $t_F^*$  se determina por la siguiente ecuación:

$$t_F^* = \frac{MEC_F}{1 + ME B_L} + \frac{(1 - \eta_{MI}) \varepsilon_{LL}^c}{\eta_{FF}} \cdot \frac{t_L (q_F + t_F)}{1 - t_L} + E^C [\varepsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI}) \varepsilon_{LL}^c] \frac{\beta M}{F} \cdot \frac{t_L}{1 - t_L}, \quad (8a)$$



donde:

$$MEC_F \equiv E^{P_F} + (E^C + E^A + E^{P_M}) (\beta M/F), \quad (8b)$$

$$\beta \equiv \frac{\eta_{MF}}{\eta_{FF}}, \quad (8c)$$

$$MEB_L \equiv \frac{-t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}}{L + t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}} = \frac{\frac{t_L}{1-t_L} \varepsilon_{LL}}{1 - \frac{t_L}{1-t_L} \varepsilon_{LL}}, \quad (8d)$$

$$E^{P_F} = \varphi' P'_F / \lambda; E^{P_M} = \varphi' P'_M / \lambda; E^C = v \pi' M; E^A = \delta' A' / \lambda, \quad (8e)$$

$$v \equiv 1 - t_L - u_T \lambda. \quad (8f)$$

En estas expresiones, hay varios términos que requieren de explicación. El parámetro  $\eta_{FF}$  es la elasticidad precio de la demanda de gasolina;  $\eta_{MI}$  y  $\eta_{MF}$  representan la elasticidad de la demanda de kilómetros manejados por vehículo (KMV) respecto al ingreso y al precio de la gasolina, respectivamente; y  $\varepsilon_{LL}^c$  y  $\varepsilon_{LL}$  son las elasticidades de la oferta laboral compensada y sin compensar. Por su parte,  $\beta$  es la fracción de la elasticidad precio de la demanda de gasolina debida a una reducción en KMV;  $\lambda$  es la utilidad marginal del ingreso disponible;  $v$  es el valor del tiempo del agente;  $MEC_F$  es el costo marginal externo del consumo de combustible; y  $MEB_L$  es la carga marginal del impuesto al trabajo.<sup>6</sup>

Como se observa en (8a), la fórmula del impuesto óptimo a la gasolina se puede descomponer en tres partes. La primera de ellas está determinada por el impuesto Pigouviano  $MEC_F$  que aparece en la expresión (8b). En la misma, se pueden identificar los costos marginales de las emisiones de carbono ( $E^{P_F}$ ), congestión ( $E^C$ ), accidentes ( $E^A$ ) y contaminación relacionada con los kilómetros manejados ( $E^{P_M}$ ). Estos tres últimos términos se miden en función de kilómetros, y se multiplican a su vez por el factor  $\beta M/F$ , donde  $M/F$  representa la eficiencia en el consumo de combustible. El supuesto  $\beta < 1$  significa que sólo una fracción de la elasticidad precio de la gasolina se debe al cambio en KMV; en dicho caso, el impuesto debería ser menor respecto al caso donde  $\beta = 1$ . El impuesto Pigouviano se divide a su vez por el término  $1 + MEB_L$ , por lo cual  $\frac{MEC_F}{1 + MEB_L}$  se denomina el impuesto Pigouviano ajustado. Este ajuste refleja la idea de que el impuesto a la gasolina tiene una base tributaria más estrecha que el impuesto al trabajo; en consecuencia, dicho impuesto es menos eficiente para incrementar la recaudación (Bovenberg y de Mooij, 1994; Bovenberg y van der Ploeg, 1994). En (8d), se puede observar cómo la expresión  $MEB_L$  depende del tamaño de la distorsión en el mercado laboral, la cual está en función de los parámetros  $t_L$  y  $\varepsilon_{LL}$ .

La segunda parte del lado derecho de la expresión (8a) representa el impuesto de Ramsey. La implicación de que el ocio sea débilmente separable en la función de utilidad (1) es que los viajes en automóvil se convierten en un sustituto relativamente débil (fuerte) del ocio si la elasticidad  $\eta_{MI}$  es menor (mayor) a uno. Si éste es el caso, el segundo término en (8a) indica que la gasolina debe pagar un impuesto, el cual es mayor mientras más inelástica sea la demanda por gasolina. Éste es un resultado ampliamente conocido en la teoría de impuestos óptimos (véase, por ejemplo, Diamond y Mirrlees, 1971, y Sandmo, 1976).

El último término del lado derecho de (8a) se conoce como el efecto congestión sobre la oferta laboral. En específico, esta expresión refleja el efecto de una menor congestión vehicular sobre la oferta laboral, en un contexto donde el trabajo paga un impuesto. Debido a que una disminución en congestión reduce el costo de manejar un automóvil en relación con el ocio, el agente decide consumir menos ocio en favor de un mayor tiempo

<sup>6</sup>De manera más precisa,  $MEB_L$  es el costo en bienestar de un incremento en la tasa de impuesto  $t_L$ , medido en términos del ingreso marginal del gobierno. Este costo es justamente la diferencia entre el salario bruto y el salario neto, multiplicada por el cambio en la oferta laboral. Para mayores detalles, véase Parry y Small (2004).

para manejar. Esto mejora el bienestar del agente, debido a que la oferta de trabajo paga un impuesto.

El siguiente paso consiste en especificar una forma funcional para la eficiencia de combustible,  $M/F$ , donde ésta dependa a su vez del impuesto a la gasolina. Esta expresión viene dada por:

$$\frac{M}{F} = \frac{M^0}{F^0} \left( \frac{q_F + t_F}{q_F + t_F^0} \right)^{-(\eta_{MF} - \eta_{FF})}. \quad (9)$$

El supra índice 0 en (9) indica el valor inicial de la variable en cuestión.

Con ello, las ecuaciones (7), (8) y (9) permiten resolver para el impuesto óptimo  $t_F^*$  mediante métodos numéricos. Nótese que el impuesto al trabajo se puede determinar directamente de la ecuación (7) como sigue:

$$t_L = \alpha_G - \alpha_F \frac{t_F}{q_F}, \quad (10)$$

donde  $\alpha_G \equiv G/L$  y  $\alpha_F \equiv q_F F/L$  representan las fracciones de gasto de gobierno y de consumo de gasolina en términos de la producción.

Finalmente, se puede evaluar el efecto del impuesto óptimo sobre el bienestar per cápita  $W$ . Este efecto, expresado como proporción del gasto inicial en gasolina antes de impuestos, viene dado por:

$$\frac{dW}{dt_F} = (1 + MEB_L) \left[ \frac{\eta_{FF}}{q_F(q_F + t_F^0)} \frac{F}{F^0} \right] (t_F^* - t_F). \quad (11)$$

La ecuación (11) se obtiene después de calcular la derivada total de (1) con respecto a  $t_F$ , y de dividir la expresión resultante entre la utilidad marginal del ingreso  $\lambda$ . La expresión (11) se puede integrar numéricamente sobre  $t_F$  para obtener la ganancia en bienestar de fijar un nivel de impuesto distinto a  $t_F$ .

## 5. Calibración

En la medida de lo posible, los parámetros del modelo se calibran utilizando datos de la economía guatemalteca. En caso contrario, éstos se determinan de acuerdo con los valores reportados en la literatura. A menos que se especifique lo contrario, las cifras monetarias se expresan en dólares americanos para el año 2016. En tales casos, se utiliza un tipo de cambio de Q7.62 por dólar, que equivale al valor promedio de la divisa norteamericana en 2016 de acuerdo con información del Banco de Guatemala.

### a. Eficiencia de combustible inicial (km/litro)

Para calcular la eficiencia en el uso del combustible, se procede de la siguiente manera. Primero, se toma en cuenta la distribución de los vehículos que usan gasolina según su tipo (véase el cuadro 1), con excepción de las motocicletas. Posteriormente, se requieren estimaciones sobre el rendimiento por tipo de vehículo tanto para circulación en ciudad como en carretera. A falta de información para Guatemala, ésta se obtiene del Instituto Nacional de Ecología (INE) de México, la cual es válida para automóviles nuevos. Con base en estos dos insumos, se puede calcular el rendimiento promedio de todo el parque vehicular. Para ello, se toma como supuesto que el 92 % del tiempo de recorrido de los vehículos se realiza en la ciudad, mientras que el otro 8 % restante se hace en carretera.

Con base en lo anterior, se estima un rendimiento promedio de todo el parque vehicular que consume gasolina de 10.54 km/litro. Ahora bien, la edad promedio del parque vehicular de Guatemala es de 10.24 años, de acuerdo con la SAT. El INE en México ha estimado que un vehículo pierde 30 % de su eficiencia después de 9 años. Por ello, considerando que la edad promedio en Guatemala es mayor a esta cifra, el rendimiento para autos estimado anteriormente se ajusta por un factor de 0.7, lo que arroja un rendimiento promedio de 7.37 km/litro.

## b. Daño por contaminación relacionada con distancias (centavos/km)

Un supuesto razonable es que la contaminación del aire es proporcional a la distancia recorrida en automóvil, y que los costos son proporcionales a la cantidad de contaminantes generados (Small y Kazimi, 1995; Parry y Small, 2004). Como se discute en Parry y Small (2004), la estimación de estos daños por contaminación difiere notablemente en diversos estudios para EE. UU. y países europeos. Por ello, los autores proponen un valor puntual de este costo para el escenario base, así como un intervalo.

Hasta donde es de nuestro conocimiento, no existen estimaciones de los daños por contaminación relacionada con distancias para el caso de Guatemala. Por tal motivo, simplemente adoptamos los mismos valores de Parry y Small (2005) y los ajustamos por inflación. Esto resulta en un costo con un valor central de 1.7 centavos de dólar/km, con un intervalo de 0.3 – 8.7.

## c. Daño por contaminación relacionada con gasolina (centavos/litro)

De manera similar al inciso anterior, las estimaciones de los daños ambientales relacionados con la gasolina son controversiales y de distintas magnitudes. Esto se debe, entre otras cosas, a que la evaluación de los efectos del calentamiento global implica considerar un horizonte de tiempo relativamente largo. Al respecto, Parry y Small (2004) encuentran una variación amplia de dichos costos en estimaciones hechas por distintos autores.

Nuevamente, no tenemos conocimiento de alguna estimación de los daños por contaminación relacionados al consumo de gasolina que se haya hecho para Guatemala. Por ello, decidimos trabajar con los mismos costos de Parry y Small (2005). Al actualizar dichos números por inflación, esto resulta en un costo de 2.2 centavos/litro, con un intervalo de 0.1 – 8.8.

## d. Costo externo de congestión (centavos/km)

La estimación de los costos externos por congestión no es sencilla ya que depende de condiciones locales. A su vez, el cálculo del costo marginal de un país depende fundamentalmente de la proporción de tráfico que ocurre en las áreas densamente pobladas, tomando en cuenta la congestión en horas pico. Como se comenta en Parry y Small (2004), no existen muchos estudios a nivel nacional, ya que éstos más bien se concentran en ciudades específicas.

En nuestro caso, adoptamos el método utilizado por Parry y Timilsina (2010). Los autores suponen una forma funcional comúnmente utilizada en modelos de ingeniería de tráfico para calcular el tiempo promedio de viaje de un pasajero en automóvil por kilómetro,  $t^A$ , la cual está dada por:

$$t^A = \alpha \left[ 1 + \gamma \left( \frac{\bar{M}}{\bar{M}^0} \right)^4 \right], \quad (12)$$

donde  $\alpha$  es el tiempo de viaje en automóvil por kilómetro en ausencia de congestión, y  $\gamma$  es un parámetro. Esta especificación significa que la congestión marginal se representa por la expresión  $4\alpha\gamma (\bar{M}/\bar{M}^0)^3$ , que a su vez implica que ésta sea cuatro veces mayor a la congestión promedio  $\alpha\gamma (\bar{M}/\bar{M}^0)^3$ . Para estimar el costo externo de congestión, se debe multiplicar la congestión marginal por el costo del tiempo. Este costo se mide en centavos de dólar por hora.<sup>7</sup>

Para ello, se supone que la velocidad de viaje en automóvil en ausencia de congestión es de 50 km/h., con lo cual  $\alpha = \frac{1}{50} = 0.02$  (Parry y Timilsina, 2010). Hasta donde es de

<sup>7</sup>Véase la expresión (8e). Nótese que el costo marginal de congestión equivale al término  $\pi'M$ .

nuestro conocimiento, no existen estimaciones de la velocidad promedio de automóviles para todo el país.<sup>8</sup> En su defecto, tomamos como referencia la información de Blaser (2000) para la ciudad de Guatemala en 1995. El autor reporta una velocidad promedio para vehículos particulares de 27.9 km/hora. Existe evidencia anecdótica reportada en la prensa electrónica de que la velocidad promedio en dicha ciudad ha disminuido con el paso del tiempo. Desafortunadamente no pudimos encontrar información actualizada al respecto. Por otra parte, es posible que la velocidad promedio en otras ciudades del país actualmente sea mayor a 27.9 km/hora. Por todo ello, decidimos tomar el dato de Blaser (2000), con lo cual  $t^A = \frac{1}{27.9} = 0,036$ . Al igual que Parry y Timilsina (2010), utilizamos el supuesto  $\bar{M} = \bar{M}^0$ , con el cual se puede computar el parámetro  $\gamma$  de (12). Esto implica fijar  $\gamma = 0,79$ .

El siguiente paso consiste en estimar el valor del tiempo en dólares por hora. De acuerdo con información del Instituto Nacional de Estadística, el ingreso laboral mensual promedio de la población en 2016 fue de Q2,131. Este ingreso incluye salarios y ganancias del primer empleo del trabajador. Si se considera un total de 4.3 semanas al mes y que los trabajadores laboran un promedio de 40 horas a la semana, esto resulta en un ingreso de Q12.3 por hora. Al hacer la conversión a dólares, el ingreso promedio es de \$1.6 dólares por hora. Tomando en cuenta la sugerencia de Small (1992), el valor del tiempo se ajusta para que sea equivalente al 50 % del ingreso laboral por hora. Es decir, el valor del tiempo se fija en \$0.8 dólares por hora.

Con ello, se cuenta con la información necesaria para estimar el costo externo por congestión. Siguiendo a Parry y Timilsina (2010), el costo marginal reportado líneas arriba se evalúa en  $\bar{M} = \bar{M}^0$  y se multiplica por el valor del tiempo. Esto resulta en un costo por congestión de 5.1 centavos de dólar por kilómetro. Sin embargo, a sugerencia de Parry y Small (2004), este número debe ajustarse por la elasticidad precio de la gasolina. Estos autores reducen su estimación original en aproximadamente 30 %. Aplicando un procedimiento similar, la estimación final en nuestro caso se reduce a 3.6 centavos de dólar/km.

Para establecer un intervalo, la estimación puntual anterior simplemente se multiplica por un factor de 0.5 y 2. Así, el intervalo propuesto es de 1.8 – 7.2 centavos de dólar/km. Como referencia, Parry y Small (2005) proponen intervalos de 1.3 – 7.8 y de 2.6 – 12.9 para EE. UU. y Reino Unido, respectivamente, una vez que se hace el ajuste a precios de 2016. Los autores justifican su propuesta debido, entre otras cosas, a la mayor densidad poblacional en el Reino Unido. En este sentido, se puede observar que el nivel inferior propuesto para Guatemala se encuentra por encima del nivel inferior para EE. UU. Sin embargo, cabe resaltar que la densidad de población promedio en Guatemala es aproximadamente 4.6 veces la densidad correspondiente en EE. UU. (153 vs. 33 habitantes por km<sup>2</sup>).

e. Costo externo de accidentes (centavos/km)

Para estimar el costo externo de accidentes, se requiere de tres datos: el valor estadístico de la vida (VEV), el costo total por accidentes y el número total de kilómetros recorridos por automóviles.

En cuanto a la primera estimación, Miller (2000) evalúa 68 estudios sobre el VEV en 13 países desarrollados. En términos prácticos, el autor propone estimar el VEV para un país en al menos 120 veces su nivel de PIB per cápita. Sin embargo, como se discute en Cropper y Sahin (2009), existe evidencia de que la razón VEV/PIB per cápita podría

<sup>8</sup>Pérez (2015) reporta una velocidad promedio en Guatemala de 40.1 km/hora para todas las fuentes móviles en ruta. Esto incluye automóviles, camiones, autobuses, motocicletas y vehículos de tres ruedas. Desafortunadamente, el autor no reporta la velocidad promedio de automóviles, que es nuestro objeto de interés.

ser muy alta para países de ingreso medio. Por tal razón, los autores sugieren ajustar dicho número a 80 para este grupo de países. En un estudio relacionado, McMahon y Dahdah (2008) hacen una distinción entre fatalidades y lesiones serias. Con base en una muestra de países desarrollados y en desarrollo, los autores recomiendan utilizar una razón VEV/PIB per cápita de 70 para el caso de fatalidades, con un intervalo de 60 - 80. Para el caso de lesiones serias, los autores sugieren fijar un valor central de 17, con un intervalo de 12 - 24. Puesto que los datos sobre accidentes viales en Guatemala hacen una distinción entre fallecidos y lesionados, decidimos adoptar los números de McMahon y Dahdah (2008).

De acuerdo con información del World Economic Outlook del Fondo Monetario Internacional (FMI), el PIB per cápita en Guatemala fue de US\$4,089 en 2016. Con ello, la estimación central del VEV se estima en US\$286,226 para el caso de fallecimientos, y en US\$69,512 por lesiones.

Por su parte, la Policía Nacional Civil de Guatemala reportó un total de 2,058 fallecidos y 9,802 lesionados en accidentes viales en 2016. Estas cifras toman en cuenta el total del parque vehicular, que incluye automóviles, motocicletas y camiones, entre otros. Al igual que Parry y Small (2005), nuestro objeto de estudio se restringe a los automóviles, pickups, camionetas y microbuses. Desafortunadamente, la información de fallecidos y lesionados no está desglosada por tipo de vehículo. Sin embargo, la misma Policía Nacional Civil reporta que en 45 % de los accidentes viales en 2016 se vieron involucrados automóviles, pickups, camionetas y microbuses. Así, este porcentaje se aplica al total de fallecidos y lesionados. Con ello, el total de fallecidos y lesionados por automóviles y similares se estima en 926 y 4,411 personas en 2016, respectivamente.

Con base en esta información, más las estimaciones sobre el VEV de fallecidos y lesionados, se puede obtener el costo anual total por accidentes de automóvil. Este costo asciende a US\$571.7 millones bajo la estimación central, con un intervalo de US\$443.6 – US\$735.8 millones. Como porcentaje del PIB, estas cifras representan entre 0.6 y 1.1 % en 2016.<sup>9</sup>

La última información requerida es el total de kilómetros recorridos por automóviles al año. Para ello, se necesitan datos sobre los kilómetros recorridos por automóvil en promedio, así como el número total de autos. Lamentablemente, no encontramos datos sobre el primer rubro para Guatemala. En su lugar, decidimos adoptar las estimaciones realizadas para México. Al respecto, Johnson et al. (2009) reportan una distancia promedio de 14,167 km al año por automóvil en 2009. Por su parte, Medina (2012) fija dicho número en 15,606 km al año en 2010. Con base en estos dos reportes, utilizamos un valor intermedio de 14,900 km al año por auto. A su vez, la Policía Nacional Civil de Guatemala refiere un total de 1.8 millones de automóviles, pickups, camionetas y microbuses a diciembre de 2016, con base en información de la SAT. Esto arroja un estimado de 27.1 miles de millones de kilómetros recorridos al año.

Finalmente, el costo externo de accidentes se calcula como el costo total por accidentes de automóvil reportado líneas arriba entre el total de kilómetros recorridos al año. Con ello, el valor central queda en 2.1 centavos de dólar/km, con un intervalo de 1.6 – 2.7. Como referencia, Parry y Small (2005) utilizan un valor central de 2.6 y 2.1 centavos/km para EE. UU. y el Reino Unido, respectivamente, en dólares de 2016. Así, el valor estimado para Guatemala podría parecer alto si se compara con aquéllos

<sup>9</sup>Estos números se encuentran por debajo de las estimaciones reportadas por Bhalla (2013) para una muestra de países latinoamericanos. En su muestra, la estimación más baja corresponde a Argentina (1.5 % del PIB) y la más alta a Paraguay (3.9 % del PIB). Sin embargo, cabe destacar que Bhalla (2013) considera todos los accidentes viales, independientemente del tipo de vehículo. Si nuestros cálculos tomaran en cuenta a todas las clases de vehículos, los costos por accidentes en Guatemala se ubicarían entre 1.4 y 2.4 % del PIB.

para EE. UU. y el Reino Unido. Sin embargo, dicho costo podría ser reflejo de la alta tasa de accidentes viales en países en desarrollo.<sup>10</sup>

f. Elasticidades precio de la gasolina y elasticidad gasto de la demanda por KMV

Las estimaciones para la elasticidad precio de la gasolina son muy diversas, debido entre otras cosas al uso de especificaciones distintas o de diferentes métodos de estimación, o incluso a la agregación de gasolinas no comparables entre sí (Galindo et al., 2015). Con base en la evidencia empírica de 63 estudios distintos, Galindo et al. (2015) reportan un promedio para la elasticidad precio de largo plazo de -0.44. Por su parte, Parry y Small (2005) utilizan un valor de -0.55. Con base en ello, decidimos adoptar un valor intermedio de -0.5 para el escenario central. Debido a que la distribución de las distintas estimaciones referidas en Galindo et al. (2015) tiene un sesgo negativo, los intervalos se fijan en -0.2 y -0.7.

Hasta donde sabemos, no existe información sobre la elasticidad de viajes en vehículo respecto al precio de la gasolina para Guatemala. No obstante, dicha elasticidad se puede aproximar dados los valores para  $\beta$  y la elasticidad precio de la gasolina  $\eta_{FF}$  (véase la ecuación 8c). Para ello, se supone el valor central utilizado por Parry y Small (2005) de  $\beta = 0.4$ . Del párrafo previo, esto implica un valor para  $\eta_{MF}$  de -0.2. Como valores alternativos, en el análisis de sensibilidad consideramos un intervalo para  $\beta$  entre 0.2 y 0.6 (cfr., Parry y Small, 2005).

Para propósitos prácticos, la elasticidad gasto de la demanda por kilómetros manejados por vehículo (KMV) se supone equivalente a su elasticidad ingreso. Al igual que el caso anterior, no conocemos estimaciones sobre esta elasticidad para Guatemala. Como referencia, Parry y Small (2005) emplean valores puntuales de 0.6 y 0.8 en los casos de EE. UU. y el Reino Unido, respectivamente. En ausencia de información, decidimos adoptar un valor intermedio (0.7), más un intervalo entre 0.4 y 1.

g. Elasticidades (compensada y no compensada) de la oferta laboral

Nuevamente, no conocemos estimaciones para estas elasticidades con datos para Guatemala. Por ello, decidimos adoptar los valores empleados por Parry y Small (2005).<sup>11</sup> Para la elasticidad no compensada, se utiliza el valor  $\varepsilon_{LL} = 0.20$  con un intervalo de 0.1 – 0.3. Para la elasticidad compensada, se fija  $\varepsilon_{LL}^c = 0.35$  con un intervalo de 0.25 – 0.50.

h. Impuesto inicial a la gasolina y precio al productor

En Guatemala se venden dos tipos de gasolina: regular y superior. De acuerdo con información del Ministerio de Energía y Minas, durante el periodo 2013-2016 el 45 % del consumo total correspondió a la gasolina regular en promedio, y el restante 55 % a la gasolina superior. Con base en ello, la estimación del impuesto inicial a la gasolina y del precio al productor toman como referencia a la gasolina superior. Una ventaja adicional de adoptar este criterio es que el impuesto óptimo resultante puede compararse más fácilmente con otros referentes internacionales, debido a que la gasolina regular presumiblemente no es consumida en varios países donde existen impuestos a este bien.

<sup>10</sup>WHO (2015) señala que el 90 % de los fallecimientos por accidentes viales a nivel mundial ocurre en países de ingresos medios y bajos, a pesar de que éstos concentran el 82 % de la población mundial y sólo el 54 % del total de vehículos. Asimismo, la tasa de fallecimientos por accidentes viales en estos países es más del doble de aquella registrada en países desarrollados.

<sup>11</sup>En Hernández y Antón (2014) se discuten distintos estudios relacionados con la estimación de elasticidades no compensadas y compensadas de la oferta laboral para un país en desarrollo como México. Como ahí se reporta, dichas estimaciones no son muy distintas de aquellas encontradas para países desarrollados. Para este último caso, véase Blundell y Macurdy (1999).

El gobierno cobra un impuesto especial en todo el país a la distribución de combustibles derivados del petróleo, incluyendo la gasolina. Como se mencionó anteriormente (véase el cuadro 2), para el caso de la gasolina superior el impuesto es de Q4.70/galón. Este monto fue aprobado en el año 2003 y desde entonces se ha mantenido en este nivel. Si se considera el tipo de cambio promedio de Q7.72/dólar para el periodo 2013-2016, esto significa un impuesto de 16.1 centavos de dólar/litro.

Por otro lado, toda la gasolina que se consume en el país es importada. Esto implica que el precio doméstico está en función del precio internacional. Esta información la provee el Ministerio de Energía y Minas. En específico, el Ministerio publica el precio promedio de venta al consumidor final en la Ciudad de Guatemala. Las series son diarias y están disponibles a partir del año 2013.

Al igual que Parry y Small (2004), el precio al productor se calcula como el precio de venta al consumidor final menos el impuesto especial a la gasolina. Para el periodo 2013-2016, el precio promedio al consumidor final de la gasolina superior fue de Q27.8/galón. Después de restarle el impuesto, el precio al productor se estima en Q23.1/galón, que equivale a 79 centavos de dólar/litro.

i. Cociente de gasto de gobierno y de gasto en gasolina a PIB

De acuerdo con información del World Economic Outlook del FMI, el gasto del gobierno general como proporción del PIB promedió 13.6 % durante el periodo 1995-2015. Este es el dato utilizado en nuestra calibración.

Finalmente, para estimar el gasto en gasolina (neto de impuestos especiales) como proporción del PIB, se utilizan las series de precios y consumo de gasolina para el periodo 2013-2016 descritas en el inciso anterior. A su vez, la serie del PIB proviene del Banco de Guatemala. Con base en ello, se estima un gasto en gasolina de 2.0 % del PIB en promedio para dicho periodo.

Resumen de parámetros

El cuadro 4 reporta el valor central y el intervalo de los distintos parámetros del modelo. Estos valores se utilizan a continuación para la determinación del impuesto óptimo.

**Cuadro 4.** Listado de parámetros

Parámetro	Valor central	Intervalo
Eficiencia de combustible inicial: $M^0/F^0$ (km/litro)	7.38	-
Daño por contaminación relacionada con distancias: $E^{PM}$ (ctv. de dólar/km)	1.7	0.3 – 8.7
Daño por contaminación relacionada con gasolina: $E^{PF}$ (ctv. de dólar/litro)	2.2	0.1 – 8.8
Costo externo de congestión: $E^C$ (ctv. de dólar/km)	3.6	1.8 – 7.2
Costo externo de accidentes: $E^A$ (ctv. de dólar/km)	2.1	1.6 – 2.7
Elasticidad precio de la gasolina: $\eta_{FF}$	0.5	0.2 – 0.7
Fracción de elasticidad precio de la gasolina explicada por la reducción en KMV: $\beta$	0.4	0.2 – 0.6
Elasticidad gasto de la demanda por KMV: $\eta_{MI}$	0.7	0.4 – 1.0
Elasticidad no compensada de la oferta laboral: $\varepsilon_{LL}$	0.2	0.1 – 0.3
Elasticidad compensada de la oferta laboral: $\varepsilon_{LL}^c$	0.35	0.25 – 0.50
Impuesto inicial a la gasolina: $t_F^0$ (ctv. de dólar/litro)	16.1	-
Precio productor de gasolina: $q_F$ (ctv. de dólar/litro)	79	-
Gasto público/PIB: $\alpha_G$	0.14	-
Consumo de gasolina/PIB: $\alpha_F$	0.02	-

Fuente: elaboración propia.

Nota: las elasticidades se reportan en valor absoluto.

## 6. Resultados

Los resultados del impuesto óptimo a la gasolina se reportan en el cuadro 5. Como se puede observar, el impuesto óptimo se estima en 27.5 centavos de dólar por litro. Debido a que actualmente se cobra un impuesto de 16.1 cts./litro, esto significa un incremento adicional de 11.4 cts./litro respecto al impuesto vigente.

**Cuadro 5.** Estimación del impuesto óptimo a la gasolina (escenario base)  
 Centavos por litro en dólares de 2016

<b>Componentes del impuesto Pigouviano ajustado</b>	
Eficiencia de combustible, $M/F$ (km/l)	7.6
Costo marginal externo, $MEC_F$	24.8
Contaminación-contribución por gasolina, $E^{PF}$	2.2
Contaminación-contribución por distancia, $(\beta M/F) E^{PM}$	5.2
Contribución por congestión, $(\beta M/F) E^C$	11
Contribución por accidentes, $(\beta M/F) E^A$	6.4
Carga tributaria marginal, $MEB_L$	0.03
Ajuste a $MEC_F$ por la carga tributaria marginal, $MEC_F [(1 + MEB_L)^{-1} - 1]$	-0.7
<b>Componentes del impuesto óptimo</b>	
Impuesto Pigouviano ajustado:	24.1
Contaminación por combustible	2.1
Contaminación por distancia recorrida	5.1
Congestión	10.7
Accidentes	6.2
Impuesto de Ramsey	3.3
Efecto congestión sobre la oferta laboral	0.1
<b>Impuesto óptimo a la gasolina, <math>t_F^*</math></b>	<b>27.5</b>

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro 5 se muestran también los detalles de la estimación del impuesto óptimo. La parte superior del cuadro muestra los componentes del impuesto Pigouviano ajustado. En el primer renglón, aparece la eficiencia de combustible, la cual se calcula de acuerdo con la ecuación (9). Este número se utiliza para la estimación del costo marginal externo. En ausencia de distorsiones en el mercado laboral, dicho costo ilustra cuál habría sido el impuesto a la gasolina (24.8 cts./litro). Pero debido a la presencia de distorsiones, se deben hacer tres ajustes a este número. El primero proviene del hecho de que la base del impuesto a la gasolina es menor a la base del impuesto al trabajo. Sin embargo, la carga tributaria marginal estimada es bastante pequeña (0.03), con lo cual el ajuste al costo marginal externo es de sólo 0.7 cts./litro a la baja. El segundo ajuste se explica por el componente de Ramsey, el cual aparece en la parte inferior del cuadro. Este ajuste le añade 3.3 cts./litro a la estimación del impuesto óptimo. Finalmente, el efecto congestión sobre la oferta laboral también es pequeño y añade sólo 0.1 cts./litro a la estimación. De esta manera, el componente Pigouviano resulta ser el más importante para el cálculo del impuesto óptimo (88 % del mismo).

En el mismo cuadro 5 se reportan los elementos del impuesto Pigouviano ajustado. En él se observa claramente que el costo por congestión es el más importante de ellos, seguido por el costo por accidentes. Entre ambos constituyen el 70 % del costo marginal explicado por las externalidades negativas.

Para complementar el análisis, el cuadro 6 muestra la ganancia en bienestar en función de múltiplos del impuesto óptimo. Debido a que el impuesto en vigor es de 16.1 cts./litro, cualquier impuesto menor a esta cantidad genera una pérdida en bienestar. Esto es exactamente lo que se observa en las primeras tres filas del cuadro. La ganancia en bienestar



bajo el impuesto óptimo es de 0.4 % en términos del gasto en gasolina antes de impuestos. Esta ganancia es relativamente pequeña debido a que, entre otras cosas, ya existe un impuesto a la gasolina (véase la ecuación 11). Como es de esperarse, cualquier impuesto mayor a 27.5 cts./litro genera un bienestar menor e, inclusive, negativo si el impuesto se incrementa en 50 % por encima de su nivel óptimo.

**Cuadro 6.** Efectos sobre el bienestar de tasas de impuesto a la gasolina (respecto a la tasa vigente, expresado como porcentaje del gasto inicial en gasolina antes de impuesto)

Múltiplos de impuesto a la gasolina	Impuesto (centavos/litro)	Cambio en bienestar (% del gasto antes de impuestos)
0	0	-2.5
$0.25t_F^*$	6.9	-1.1
$0.50t_F^*$	13.8	-0.2
$0.75t_F^*$	20.6	0.3
Impuesto óptimo ( $t_F^*$ )	27.5	0.4
$1.25t_F^*$	34.4	0.3
$1.50t_F^*$	41.3	-0.1

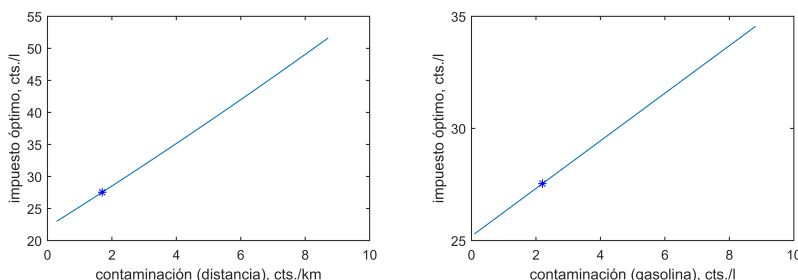
Fuente: elaboración propia.

## Análisis de sensibilidad

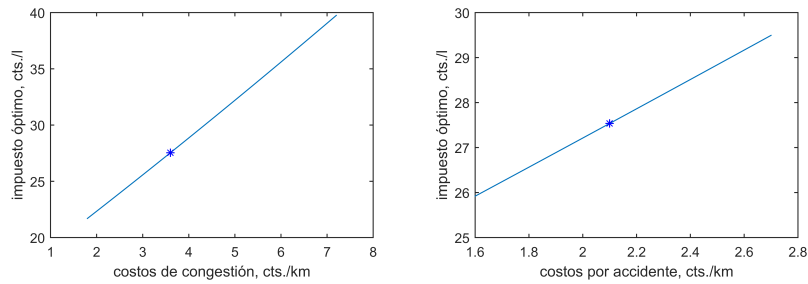
Como se ha destacado en la sección de calibración, no existe evidencia sobre el valor de ciertos parámetros utilizando información sobre Guatemala. En otros casos, la incertidumbre sobre el valor apropiado de ciertos parámetros es bastante amplia, inclusive si se toma en cuenta la evidencia disponible para países desarrollados. Por estas razones, en esta sección ofrecemos un análisis de sensibilidad respecto a los valores de ciertos parámetros, con el objeto de entender la robustez de los resultados mostrados con anterioridad. Para ello, se realiza un ejercicio típico de estática comparativa, donde sólo se cambia el valor de un parámetro a la vez. El intervalo para cada uno de los parámetros de interés se reporta en el cuadro 4.

Los resultados correspondientes se presentan en las gráficas 2a y 2b.<sup>12</sup> Para facilitar la interpretación, el nivel de impuesto óptimo bajo el escenario base aparece como un asterisco en cada gráfica. Con excepción del daño por contaminación relacionada con distancias, el análisis de sensibilidad arroja niveles óptimos de impuesto menores a 40 cts./litro para todos los parámetros. Por otro lado, con excepción de la variación en la fracción de la elasticidad de gasolina por KMV, todas las estimaciones se encuentran por encima del nivel de impuesto vigente de 16.1 cts./litro.

**Gráfica 2a.** Análisis de sensibilidad

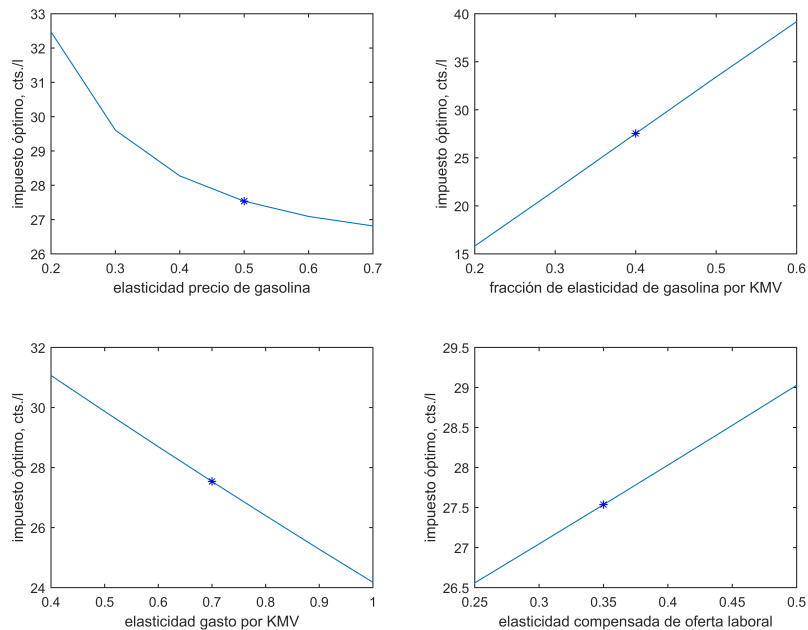


<sup>12</sup>En las gráficas 2a y 2b se decidió no reportar el análisis de sensibilidad para la elasticidad no compensada de la oferta laboral, debido a que el impuesto óptimo varía muy poco ante cambios en este parámetro.



Con base en ello, el análisis de sensibilidad sugiere que el nivel de impuesto en vigor probablemente se encuentra por debajo de su nivel óptimo. Al mismo tiempo, el análisis sugiere que dicho impuesto no debería ubicarse por encima de los 40 cts./litro, a menos que se tenga una certeza razonable de que los costos por contaminación relacionada con distancia se ubican por encima de los 5.5 cts./km.

**Gráfica 2b.** Análisis de sensibilidad



## 7. Comentarios finales

Actualmente existe a nivel internacional un interés creciente por las reformas fiscales ambientales o “verdes”. Estas reformas tienen como objetivo central que los agentes económicos internalicen los costos que ocasionan a otros agentes económicos. Asimismo, como segundo dividendo, éstas buscan contribuir a alcanzar otros objetivos económicos y sociales. Uno de los aspectos más utilizados en estas reformas son los impuestos a las gasolinas y/o a la energía. Por ejemplo, es posible observar que actualmente en prácticamente todos los países desarrollados se aplica algún tipo de impuesto a las externalidades negativas que ocasiona el consumo de gasolinas.

Estas políticas fiscales ambientales tienen su fundamento en el uso de impuestos Pigouvianos, a través de gravámenes equivalentes al daño marginal que generan. Sin embargo, su aplicación es en extremo compleja ya que, por ejemplo, estimar apropiadamente el daño marginal que ocasiona determinada externalidad negativa tiene siempre un alto nivel

de incertidumbre. Asimismo, instrumentar un sistema administrativo que permita imponer el gravamen correspondiente y recolectarlo es en extremo complejo. Finalmente, debe considerarse además que estos impuestos podrían tener efectos colaterales importantes sobre la distribución del ingreso o la competitividad de la economía.

En este artículo se ha utilizado el modelo de Parry y Small (2005) para estimar el nivel de impuesto óptimo a la gasolina en un país en desarrollo como Guatemala. Como se ha comentado, el impuesto a la gasolina constituye un instrumento adecuado para internalizar los costos generados por el uso del automóvil. Una de las ventajas de esta metodología es que permite tomar en cuenta las peculiaridades de cada economía y el hecho de que varias externalidades no sean homogéneas entre países. Por ejemplo, la edad del parque vehicular, la infraestructura vial y la frecuencia de accidentes de automóvil, entre otros factores, son capaces de generar distintos niveles de externalidades.

Las estimaciones realizadas indican que el impuesto óptimo se ubica por encima del monto que se cobra actualmente en Guatemala. En específico, el impuesto óptimo se estima en 27.5 centavos de dólar por litro, mientras que en años recientes aproximadamente se ha cobrado un impuesto de 16.1 cts./litro a la gasolina superior, lo que significaría un incremento adicional de 11.4 cts./litro respecto al impuesto vigente. A manera de comparación, esta estimación se encuentra por debajo del nivel de impuesto óptimo de 50 cts./litro estimado por Antón y Hernández (2014) para el caso de México. Por otro lado, el nivel óptimo de 27.5 cts./litro se encuentra por encima del impuesto que se cobra actualmente en México: a enero de 2018, dicho impuesto (incluyendo el estímulo fiscal del gobierno federal) se ubica entre 15 y 19 cts./litro, según se trate de la gasolina Magna o Premium, respectivamente (AMEGAS, 2018).

Debe destacarse que los resultados obtenidos contienen un alto nivel de incertidumbre y deben, por lo tanto, tomarse con precaución. Las estimaciones se derivan de realizar diversos supuestos y calibrar diversas elasticidades y parámetros, varios de ellos para el caso particular de la economía guatemalteca. Al respecto, la incertidumbre se debe, entre otras cosas, a la falta de consenso sobre el valor adecuado para distintos parámetros del modelo. No obstante, el análisis de sensibilidad llevado a cabo sugiere que el impuesto de 27.5 centavos de dólar por litro es relativamente robusto a valores alternativos de los principales parámetros. En específico, dicho análisis sugiere niveles óptimos de impuesto menores a 40 cts./litro, aunque mayores a los niveles en vigor.

Este impuesto a las gasolinas debe, sin embargo, considerar la economía política de su instrumentación. Esto es, es necesario atender los potenciales efectos colaterales de un aumento en el precio a las gasolinas, en específico, los efectos de primer y segundo orden sobre la distribución del ingreso. En general, la evidencia disponible muestra que en países en desarrollo aún persiste un alto nivel de concentración del consumo de gasolinas en los deciles altos y medios, por lo que el efecto directo del alza en el precio de la gasolina sobre la distribución del ingreso es progresivo (véase Blackman et al., 2010; Jorrat, 2010; Fernández y Villarreal, 2012; Antón y Hernández, 2014; Agostini y Jiménez, 2015; y Huesca y López, 2016). Sin embargo, dicho incremento podría venir acompañado de un aumento en el precio del transporte público, el cual impacta fundamentalmente a los deciles medios y bajos. Este efecto de segundo orden conlleva a generar una fuerte oposición al aumento en el precio de la gasolina y debe, por tanto, compensarse de alguna manera. Esto es, debe considerarse que parte del ingreso derivado del impuesto se utilice, entre otras cosas, a subsidiar el transporte público y/o ofrecer un transporte público moderno y eficiente. Además, debe ponderarse la posibilidad de que estos impuestos ambientales sean reciclados para mejorar los sistemas de protección social, lo cual ayudaría a reducir los efectos negativos del alza en el precio de las gasolinas (al respecto, véase Antón et al., 2016). En este sentido, destaca que en Guatemala parte de la recaudación proveniente de este impuesto sea destinada por ley a servicios de transporte y obras de infraestructura vial, que a su vez podrían incentivar el uso de transporte público. Esto

ofrece lecciones interesantes de política para países como México, donde la experiencia en el manejo de un impuesto explícito al consumo de gasolina sólo tiene poco más de un par de años en vigor.

Por último, debe señalarse que este estudio puede servir como motivación para refinar las estimaciones de distintos parámetros del modelo. En la actualidad, existen países con disponibilidad de grandes bases de datos que permiten caracterizar de manera más precisa los hábitos de manejo, con variables tales como el rendimiento de gasolina en el tiempo o los recorridos promedio en automóvil.<sup>13</sup> En este sentido, se podrían utilizar técnicas econométricas (ver, para esto, Bonilla y Foxon, 2009; y Small y van Dender, 2006, entre otros) o de ciencia de datos (véase la revisión de literatura en Kan et al., 2018) que permitan calibrar mejor el modelo y, en consecuencia, obtener estimaciones más precisas del impuesto óptimo a la gasolina.

## Referencias

- Agostini, C. A., y J. Jiménez (2015). The Distributional Incidence of the Gasoline Tax in Chile. *Energy Policy*, 85, pp. 243-252.
- Antón, A., R. Boyd, A. Elizondo, y M. E. Ibarrarán (2016). Universal Social Insurance for Mexico: Modeling of a Financing Scheme. *Economic Modelling*, 52, pp. 838-850.
- Antón, A., y F. Hernández (2014). Optimal Gasoline Tax in Developing, Oil-Producing Countries: The Case of Mexico. *Energy Policy*, 67, pp. 564-571.
- Asociación Mexicana de Empresarios Gasolineros (2018). *Análisis del impuesto especial sobre producción y servicios -IEPS a partir del 1 de enero de 2018*. Disponible en la página de internet: <https://www.amegas.com.mx/index.php/es/blog/blog-posts>
- Barreix, A., M. Bes, y J. Roca (2009). *Equidad fiscal en Centroamérica, Panamá y República Dominicana*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Bhalla, K. (2013). The Costs of Road Injuries in Latin America 2013. *Reporte Técnico IDB-TN-597*, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Blackman, A., R. Osakwe, y F. Alpizar (2010). Fuel Tax Incidence in Developing Countries: The Case of Costa Rica. *Energy Policy*, 38, pp. 2208-2215.
- Blaser, M. (2000). Dispersión de la contaminación atmosférica causado por el tráfico vehicular: aplicación de un modelo matemático para Guatemala Ciudad y San Salvador. *Manuscrito, Swisscontact*.
- Blundell, R. W., y T. Macurdy (1999). Labor Supply: A Review of Alternative Approaches. En O. Ashenfelter y D. Card (editores), *Handbook of Labor Economics*, 3(A), pp. 1559-1695.
- Bonilla, David, y T. Foxon (2009). Demand for New Car Fuel Economy in the UK, 1970-2005. *Journal of Transport Economics and Policy*, 43(1), pp. 55-83.
- Bovenberg, A. L., y R. A. de Mooij (1994). Environmental Levies and Distortionary Taxation. *American Economic Review*, 84(4), pp. 1085-1089.
- Bovenberg, A. L., y L. H. Goulder (1996). Optimal Environmental Taxation in the Presence of Other Taxes: General-Equilibrium Analyses. *American Economic Review*, 86(4), pp. 985-1000.
- Bovenberg, A. L., y F. van der Ploeg (1994). Environmental Policy, Public Finance, and the Labor Market in a Second-Best World. *Journal of Public Economics*, 55, pp. 349-390.
- Cropper, M. L. y S. Sahin (2009). Valuing Mortality and Morbidity in the Context of Disaster Risks. *Policy Research Working Paper 4832*, Banco Mundial.
- Diamond, P. A., y J. A. Mirrlees (1971). Optimal Taxation and Public Production II: Tax Rules. *American Economic Review*, 61(3) Parte 1, pp. 261-278.
- Di Bella, G., L. Norton, J. Ntamungiro, S. Ogawa, I. Samake, y M. Santoro (2015). Energy Subsidies in Latin America and the Caribbean: Stocktaking and Policy Challenges. *IMF Working Papers 15/30*, Fondo Monetario Internacional.
- Eskeland, G. S. (1994). A Presumptive Pigouvian Tax: Complementing Regulation to Mimic an Emissions Fee. *The World Bank Economic Review*, 4(3), pp. 373-394.
- Fernández, R., y H. J. Villarreal (2012). Impacto distributivo de un impuesto a los precios de la gasolina en México: análisis de equilibrio parcial. *Revista de Administración, Finanzas y Economía*, 6(1), pp. 47-72.
- Galindo, L. M., J. Samaniego, J. E. Alatorre, J. Ferrer Carbonell, 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 de la CEPAL*, 117, pp. 7-25.

<sup>13</sup>Ya existen chips instalados en los automóviles que pueden registrar recorridos en millas o kilómetros.

- Gómez, J. C., M. M. Harriague, y D. Rossignolo (2012). La situación fiscal en Argentina y sus efectos sobre la distribución del ingreso. Una estimación para el año 2008. *Desarrollo Económico*, 52(207/208), pp. 341-382.
- Gómez, J. C., y D. Morán (2013). Política tributaria y protección del medio ambiente: imposición sobre vehículos en América Latina. Serie Macroeconomía del Desarrollo No. 141, *Comisión Económica para América Latina y el Caribe, y Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo*.
- Hernández, F., y A. Antón (2014). El impuesto sobre las gasolinas: una aplicación para Ecuador, El Salvador y México. Documento de Proyecto LC/W.597, *Comisión Económica para América Latina y el Caribe, y Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit*.
- Huesca, L., y A. López (2016). Impuestos ambientales al carbono en México y su progresividad: una revisión analítica. *Economía Informa*, 398, pp. 23-39.
- Johnson, T., C. Alatorre, Z. Romo, y F. Liu (2009). México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono. *Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones, Washington, D. C.*
- Jorrat, Michael (2010). *Equidad fiscal en Chile: un análisis de la incidencia distributiva de los impuestos y el gasto social. En Equidad Fiscal en Brasil Chile, Paraguay y Uruguay, EUROsociAL y Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Kan, Z., L. Tang, M. Kwan, y X. Zhang (2018). Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Using GPS Big Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 566.
- Krupnick, A. J. (1991). Transportation and Urban Air Pollution Policies for Developed and Developing Countries. *Transportation Research Record*, 1312, pp. 90-98.
- Lin, C. Y. C., y L. Prince (2009). The Optimal Gas Tax for California. *Energy Policy*, 37, pp. 5173-5183.
- McMahon, K., y S. Dahdah (2008). The True Cost of Road Crashes: Valuing Life and the Cost of a Serious Injury. *International Road Assessment Programme*.
- Medina, S. (2012). La importancia de la reducción del uso de los automóviles en México. *Manuscrito, Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México (ITDP) y Embajada Británica en México*.
- Mendoza, M. A. (2014). Panorama preliminar de los subsidios y los impuestos a las gasolinas y diésel en los países de América Latina. *Serie Documentos de Proyectos No. 641*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, y German Agency for Technical Cooperation.
- Miller, T. R. (2000). Variations between Countries in Values of Statistical Life. *Journal of Transport Economics and Policy*, 34(2), pp. 169-188.
- Ministerio de Energía y Minas de Guatemala (2017). Información estadística sobre comercialización de combustibles. Disponible en la página de internet: <http://www.mem.gob.gt/estadisticas/direccion-general-de-hidrocarburos/>.
- 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), pp. 1276-1289.
- Parry, I. W. H., y K. A. Small (2004). Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax? *Discussion Paper 02-12*, Resources for the Future.
- Parry, I. W. H., y J. Strand (2012). International Fuel Tax Assessment: An Application to Chile. *Environment and Development Economics*, 17(2), pp. 127-144.
- Parry, I. W. H., y G. R. Timilsina (2010). How Should Passenger Travel in Mexico City Be Priced? *Journal of Urban Economics*, 68, pp. 167-182.
- Pérez Z., A. (2015). Efectos móviles en ruta de Guatemala y los gases de efecto invernadero, año base 2013 (una perspectiva y una aproximación). *Manuscrito, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala*.
- Policía Nacional Civil de Guatemala (2017). *Boletín Estadístico* No. 37, diciembre de 2016.
- Roca, J. (2010). Equidad fiscal en Uruguay: cuánto y cómo modifica el Estado el bienestar de los uruguayos. En *Equidad Fiscal en Brasil Chile, Paraguay y Uruguay, EUROsociAL y Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Sandmo, A. (1976). Optimal Taxation: An Introduction to the Literature. *Journal of Public Economics*, 6(1-2), pp. 37-54.
- Small, K. (1992). Urban Transportation Economics. Volumen 51 de la Serie Fundamentals of Pure and Applied Economics, *Harwood Academic Publishers*.
- Small, K. A., y C. Kazimi (1995). On the Costs of Air Pollution from Motor Vehicles. *Journal of Transport Economics and Policy*, 29, pp. 7-32.
- Small, K. A., y K. van Dender (2006). Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect. *Energy Journal*, 28(1), pp. 25-51.
- Sumner, J., L. Bird, y H. Smith (2009). Carbon Taxes: A Review of Experience and Policy Design Considerations. Reporte Técnico NREL/TP-6A2-47312, *National Renewable Energy Laboratory*.
- West, Sarah 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, 593-617.
- World Health Organization (2015). *Global Status Report on Road Safety 2015*, Ginebra, Suiza.