UNIVERSIDAD DEL CEMA
Buenos Aires
Argentina

Serie

DOCUMENTOS DE TRABAJO

Área: Economía

PÉRDIDAS DE BIENESTAR POR LA IMPOSICIÓN SUBÓPTIMA A LAS GASOLINAS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: TEORÍA Y APLICACIONES

Mariana Conte Grand y Alejandro Rasteletti

Diciembre 2021
Nro. 821

www.cema.edu.ar/publicaciones/doc_trabajo.html
UCEMA: Av. Córdoba 374, C1054AAP Buenos Aires, Argentina
ISSN 1668-4575 (impreso), ISSN 1668-4583 (en línea)
Editor: Jorge M. Streb; asistente editorial: Valeria Dowding <jae@cema.edu.ar>

PÉRDIDAS DE BIENESTAR POR IMPOSICIÓN SUBÓPTIMA EN LOS IMPUESTOS A LAS GASOLINAS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*

Mariana Conte Grand
Universidad del CEMA

Alejandro Rasteletti
Banco Interamericano de Desarrollo

Si bien casi todos los países cuentan con algún tipo de impuesto sobre las gasolinas, las tasas de imposición observadas suelen ser bajas en comparación con los niveles teóricamente óptimos. Este documento repasa la literatura sobre impuestos óptimos a las gasolinas. Por un lado, desarrolla en detalle la modelación de este tipo de impuestos, así como la teoría detrás del cálculo de las pérdidas de bienestar derivadas de no seguir la regla óptima. Una vez repasada la teoría, se recopilan las aplicaciones que hay sobre cálculos de impuestos óptimos a las gasolinas en Latinoamérica y, en base a los modelos conceptuales, se complementan los cálculos faltantes. Al llevar a cabo este enfoque, este trabajo permite que los hacedores de política en esta materia, puedan extrapolar este tipo de resultados a otros países solamente teniendo como datos elasticidades y unos pocos parámetros.

Palabras claves: impuestos, gasolinas, imposición óptima, doble dividendo, Latinoamérica

Códigos JEL: H21, H23

I. INTRODUCCIÓN

La problemática del cambio climático y la volatilidad de los precios del petróleo han agudizado en los últimos años el debate sobre el precio que deben tener los combustibles y, en particular, el tipo de impuestos con los que se los grava.

Lo que se busca con la imposición a las gasolinas es inducir una baja de su consumo de forma tal de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y también la contaminación local. Otros beneficios serían la reducción de la congestión y de los accidentes relacionados con el transporte, que están presentes en todos los países del mundo.

Un efecto indirecto del impuesto a las gasolinas es que genera una recaudación para el gobierno, que puede ser empleada por este para distintos fines. Esa ventaja aparente de los impuestos se suma a que este tipo de instrumentos es superador de medidas más prescriptivas (llamadas de "orden y control") como los programas de verificación vehicular, los estándares de calidad de los combustibles, las restricciones de días o zonas de manejo, y los estándares tecnológicos sobre los vehículos (Russell y Vaughan, 2003).

Está bien establecido en la literatura que la mejor opción a la hora de gravar bienes que generan externalidades es hacerlo exactamente en la fuente del problema. En el caso de la gasolina, lo mejor sería gravar las emisiones que resultan de su uso, subir los peajes en las

* Este documento fue elaborado en el curso de 2020 como insumo para el PROYECTO BID ATN/AC-18114/5/6-RG. Los puntos de vista de los autores son personales y no necesariamente representan la posición de la Universidad del CEMA o del Banco Interamericano de Desarrollo.

horas pico, una imposición a las millas recorridas, o fijar tasas impositivas que varíen según el riesgo de accidente, por ejemplo. En ese sentido, el impuesto a la gasolina es un instrumento pobre, por ejemplo, para combatir la congestión ya que no impacta sobre cuándo y dónde se mueven los vehículos. Pero, los impuestos a las gasolinas tienen varias ventajas respecto de este tipo de medidas lo que hace que su uso sea muy general. En particular, que es mucho más fácil de administrar y al ser ya es un impuesto establecido entre la población, no hay que crearlo, y eso facilita algo su aceptación.

Así y todo, la implementación de impuestos verdes como el de la gasolina requieren un análisis cuidadoso. El objetivo de este documento es exponer en detalle los distintos factores que deben considerarse para diseñar un gravamen de este tipo teniendo en cuenta cuestiones de eficiencia.[1]

De acuerdo con la teoría microeconómica básica, desde los años 20 con los escritos de Pigou hasta bien entrada la década del 90, se sugería que este tipo de impuestos debían tener una tasa igual al daño social marginal que el uso del automóvil genera. Este daño es el resultado de todas las externalidades causadas por los vehículos en los cuales la gasolina se utiliza. Además de los mencionados arriba (contaminación del aire, congestión y accidentes), también hay afectaciones a las rutas, ruido, costos sociales de la disposición de vehículos y ruedas de los mismos, temas de independencia energética, etc. (ver al respecto Parry y Strand, 2011).

En los últimos 25 años, ha habido un cambio de enfoque y está establecido que los impuestos óptimos a bienes que generan externalidades no se fijan solamente en base al daño marginal directo que estas causan. Ello se debe a trabajos que incorporan, no ya una perspectiva de equilibrio parcial, sino de equilibrio general. Los artículos pioneros dentro de esta corriente son Bovenberg y de Mooij (1994), Bovenberg y van der Ploeg (1994), Bovenberg y Goulder (1996, 1997), y Parry (1995). Lo que incorpora esta literatura es un estudio más amplio de las consecuencias de fijar un impuesto a un bien que genera externalidades, como es el de la gasolina. Por un lado, tener claro que los individuos reaccionan al impuesto no solamente bajando su consumo de gasolina sino pasándose a vehículos más eficientes. Si esta adaptación en la conducta no se tiene en cuenta, el impuesto es calculado erróneamente. Pero aún más importante es que el impuesto a las gasolinas no solamente impacta sobre el consumo de la misma y la distancia viajada, sino que afecta indirectamente la oferta de trabajo.

Por lo que se acaba de mencionar, es de esperar que haya diferencias entre el impuesto óptimo (o, lo que es lo mismo, en las externalidades por el uso de combustible y sus interacciones con otros mercados) entre países e incluso entre áreas dentro de un mismo país (Dorval y Barla, 2017). Por ejemplo, en América Latina, las ciudades tienden a tener bastante congestión, malas rutas y tránsito anárquico lo que resulta en una gran probabilidad de accidentes, así como vehículos más antiguos que implican mayores niveles de contaminación, y todo esto afecta el nivel de impuesto a las gasolinas que debe fijarse (Antón-Sarabia y Hernández-Trillo, 2014).

En general, lo más usual en la literatura sobre impuestos óptimos es usar los resultados del modelo desarrollado por Parry y Small (2004) o variaciones del mismo para el análisis y la

[1] En otro documento se discuten los impactos distributivos de este tipo de impuestos, así como las cuestiones de economía política que hacen a su implementación.

calibración empírica del impuesto a las gasolinas. En esa línea, hay trabajos para varios países desarrollados como Estados Unidos (Parry y Small, 2005), el Reino Unido de Gran Bretaña (Parry y Small, 2005) y Japón (Kawase, 2011), y para naciones en desarrollo como China (Lin y Zeng, 2014), e incluso países de la región como México (Antón-Sarabia y Hernández-Trillo 2014; Parry y Timilsina 2010), El Salvador (Hernández-Trillo y Antón-Sarabia, 2014), Ecuador (Hernández-Trillo y Antón-Sarabia, 2014), Guatemala (Antón-Sarabia y Hernández-Trillo, 2019), o Chile (Parry y Strand, 2011). También hay cálculos de cuáles serían los impuestos óptimos a las gasolinas a nivel subnacional, por ejemplo, para California (Lin y Prince, 2009), Ontario y Montreal (Wood, 2015) o Quebec (Dorval y Barla, 2017).

La innovación de este trabajo es, además de repasar conceptualmente la literatura, hacerlo con tal detalle que los cálculos faltantes en algunos de los trabajos puedan completarse y, de manera simple, puedan hacerse nuevos para otros lugares.

Por ello, el trabajo se organiza en las siguientes secciones. En la Sección II se repasa la microeconomía detrás de los conceptos básicos de impuestos pigouvianos en equilibrio parcial y se incorpora la discusión de los efectos de equilibrio general como lo hace la economía ambiental (esto es, teniendo en cuenta un impuesto para resolver las externalidades debidas a la contaminación). Esa perspectiva permite analizar en forma simplificada cómo un impuesto a un bien contaminante como la gasolina puede impactar en la oferta de trabajo. Luego, en la Sección III, se expone el modelo de Parry y Small (2004), que es un modelo de equilibrio general, y es el que se usa en la mayoría de los artículos para definir los impuestos óptimos a la gasolina. A diferencia de los artículos sobre esta temática, aquí se desarrolla el modelo en detalle como para saber de dónde provienen las fórmulas de los trabajos empíricos. La Sección IV replica los hallazgos sobre impuestos óptimos a la gasolina en la literatura en distintos países y estados subnacionales. Se buscó replicar los resultados en detalle para poder en el futuro hacer cálculos similares para más países de la región para los cuales no hay hechos este tipo de cálculos, y también para completar los impactos en el bienestar que faltan en algunos de los trabajos. Finalmente, la Sección V presenta las conclusiones.

II. Teoría de Impuestos Óptimos

II.A. Impuestos en Equilibrio parcial

Hay acuerdo en la teoría económica que cuando hay externalidades, o sea actividades de consumo o producción que afectan a otros agentes indirectamente y no vía el sistema de precios (Laffont, 2018), no fue confiarse en el mecanismo de mercado para que la contaminación sea óptima. Esto ocurre porque los contaminadores no perciben el daño que causan, ya que el mismo no se transmite vía los precios. Los impuestos equivalen a poner un precio sobre la contaminación. Así, si la polución es más costosa de producir, los contaminadores producirían menos de esta.

Esta idea se remonta a principios del siglo 20, cuando el economista inglés Arthur Cecil Pigou propuso poner un precio a la contaminación (Pigou, 1920).[2] Por eso es que este tipo de

[2] Pigou habla de las externalidades causadas por la quema de combustibles fósiles: "from factory chimneys: for this smoke in large towns inflicts a heavy uncharged loss on the community, in injury to buildings and vegetables, expenses for washing clothes and cleaning rooms, expenses for the provision of extra artificial light, and in many

impuestos se denominan impuestos pigouvianos. Hay varias maneras de pensar el impuesto pigouviano que son relevantes en el caso de los impuestos a las gasolinas, ya que en algunas instancias (por ejemplo, en Argentina) se combinan con impuestos al carbono. Por eso, vale la pena exponer la problemática de los impuestos pigouvianos desde dos puntos de vista. Uno es focalizándose en la contaminación propiamente dicha (el carbono, por ejemplo) y la otra es poniendo énfasis en el producto que contamina (aquí, la gasolina).[3]

Impuesto a las emisiones (de carbono) en equilibrio parcial

En el caso del impuesto a las emisiones, estas generan un daño que aumenta a medida que son mayores (*DMaE*, en la Figura 1). Por otro lado, las empresas ahorran por poder emitir y no tener que reducir sus emisiones, por ende, en la Figura 1 puede verse que habría un ahorro adicional de las empresas por emitir (*SmaE*).

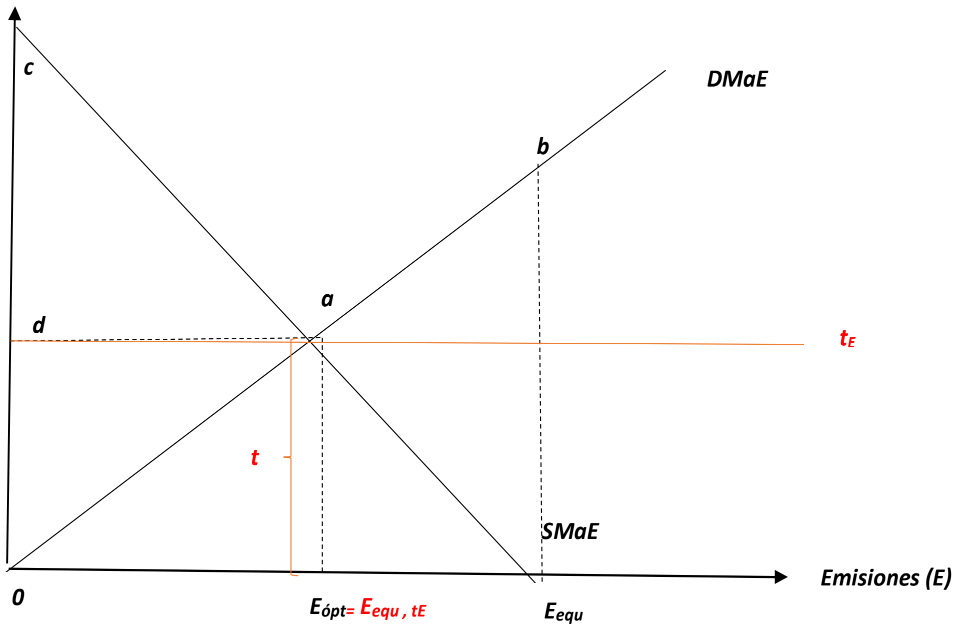
Se supone que, en el equilibrio, los productores van a intentar minimizar costos, o lo que es lo mismo, emitir dónde los ahorros marginales sean cero ($CMaE = -SMaE = 0$). Sin embargo, el óptimo de emisiones requiere que sean tenidos en cuenta los daños que las mismas producen. Entonces, para minimizar los daños y los costos de productores, el regulador fijaría las emisiones dónde el daño marginal sea igual al ahorro marginal (DMaE = $-CMaE = SMaE$). Esto es así ya que si el daño marginal es menor (mayor) que el ahorro que ocurriría por las emisiones se estaría sobre (sub) regulando. Ese cálculo de daños por emitir versus ahorro de costos, puede también hacerse en término de áreas.

La Tabla 1 resume los costos de pasar de E_{equ} a $E_{ópt}$, asi como los daños que se evitarían por ese cambio. Como consecuencia de pasar del equilibrio al óptimo, hay una ganancia de abE_{equ}, que es el resultado de daños que no se producen debido a las menores emisiones (ab$E_{equ}E_{ópt}$) y ahorros que no se hacen ya que las empresas tienen que incurrir en costos para reducir la contaminación (-a$E_{equ}E_{ópt}$).

other ways." (Pigou 2020, p. 186). También se refiere a "Yet again, third parties-this time the public in general-suffer incidental uncharged disservices from resources invested in the running of cars that wear out the surface of the roads." (Pigou 2020, p. 188)

[3] Este tipo de enfoque puede encontrarse en cualquier libro de texto de economía ambiental como, por ejemplo, Kolstad (2011).

Figura 1. Impuesto pigouviano sobre las emisiones (equilibrio parcial)



Fuente: Elaboración propia.
Nota: Se suponen funciones lineales para hacer más fácil el gráfico, pero no necesariamente es así.

Ahora bien, el regulador puede elegir llegar a las emisiones eficientes a través de un impuesto o de otros instrumentos de regulación. Si elige el impuesto, el mismo tiene que ser igual al daño marginal en el óptimo (t_E, tal como puede verse en rojo en la Figura 1). Cuando ese es el impuesto, las empresas comparan lo que les cuesta pagarlo con lo que les cuesta reducir emisiones. O, lo que es lo mismo, eligen las emisiones que minimizan sus costos más el pago por impuestos. En función de ello, las emisiones van a ser tales que $t_E = -CMaE = SMaE$. En esta situación, las empresas emiten $E_{equ,tE}$ y pagan impuestos por hacerlo. Como puede verse en la Tabla 1, el resultado del equilibrio con impuestos es igual al del óptimo en términos del excedente total (*caO*).

Tabla 1. Daños y ahorros con impuesto pigouviano sobre las emisiones (equilibrio parcial)

	Equilibrio (E_{equ})	**Óptimo ($E_{ópt}$)**	**Diferencia (Óptimo - Equilibrio)**	**Equilibrio con impuesto ($E_{equ,tE}$)**
Daños	$-abE_{equ}$	$-0aE_{ópt}$	$+abE_{equ}E_{ópt}$ *(daños evitados)*	$-0aE_{ópt}$
Ahorros	$+cE_{equ}0$	$+caE_{ópt}0$	$-aE_{equ}E_{ópt}$ *(ahorros que no se hacen)*	$+caE_{ópt}0-daE_{ópt}$
Recaudación del regulador	-	-	-	$+daE_{ópt}$
Total	$ca0-abE_{equ}$	$ca0$	abE_{equ}	$ca0$

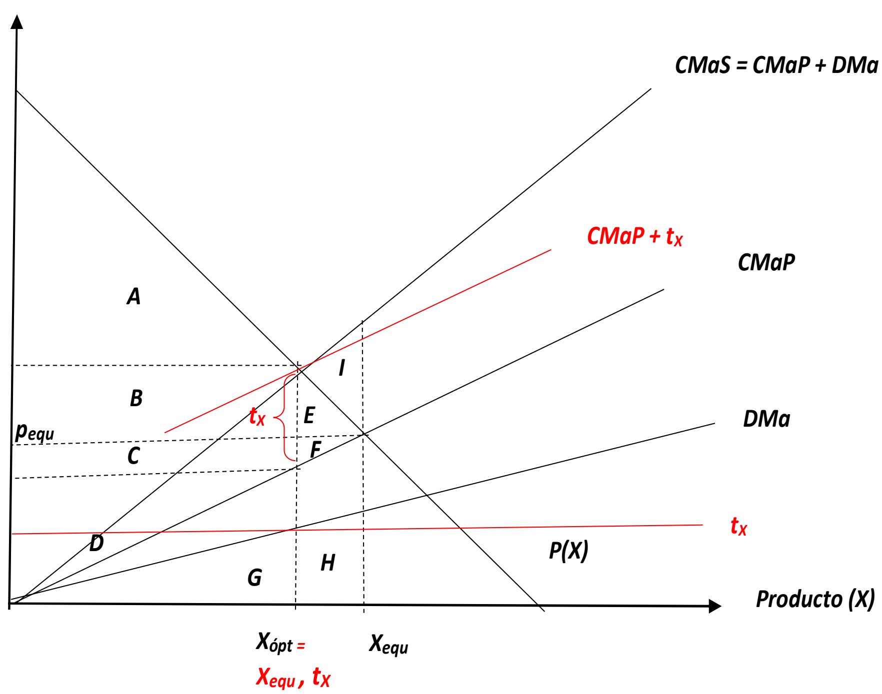
Fuente: Elaboración propia.

Impuesto a un bien contaminante (como la gasolina

Alternativamente, puede pensarse en un bien contaminante como es el caso de la gasolina (que se denominará aquí con la letra *X*). La misma tiene una demanda por parte de los consumidores (*p(X)*) y un costo marginal de producción privado que determina la oferta (*CMaP*). Pero, unidades adicionales del bien generan daños ambientales (*DMa*). Por ello, el costo social es en realidad la suma entre el costo marginal privado y el daño marginal ($CMaS = CMaP + DMa$) La situación entonces es la descripta en la Figura 2.

Como lo muestra la Figura 2 en color negro, con el mercado en equilibrio (esto es, cuando los contaminadores no tienen en cuenta el daño que generan), la cantidad producida (y consumida) de gasolina sería X_{equ} , ya que para esa cantidad la demanda iguala la oferta. Si el daño es tenido en cuenta (internalizado), la cantidad de gasolina que sería eficiente es $X_{ópt.}$ Para ese nivel de gasolina, los costos marginales sociales son iguales a la demanda.

Figura 2. Impuesto pigouviano sobre un producto contaminante (equilibrio parcial)



Fuente: Elaboración propia.
Nota: Se suponen funciones lineales para hacer más fácil el gráfico, pero no necesariamente es así.

Pasar del equilibrio al óptimo tiene que ver con ser eficiente desde el punto de vista social ya que se maximiza la suma de los excedentes. Como describe la Tabla 2, en el equilibrio, el excedente de los consumidores de gasolina es $A+B+E$ (la diferencia entre su disponibilidad a pagar por el producto, expresada por la demanda, y el precio que finalmente pagan, o sea p_{equ}). Este excedente pasa a ser A en el óptimo. Para los productores de gasolina, su excedente es C+D+E en el equilibrio (es la diferencia entre lo que quieren como mínimo recibir por el bien para cubrir sus costos, expresado en la curva de oferta, y el precio que efectivamente reciben). Ese excedente pasa a ser D+B+C en el óptimo. A su vez, los que sufren la externalidad generada por la contaminación resultante de la producción y el consecuente consumo de gasolina, tienen unos daños de G+H en equilibrio, y estos disminuyen a G en el óptimo. En resumen, por pasar del equilibrio al óptimo, el excedente total pasa de $A+B+C+D+E+F-G-H$ a $A+B+C+D-G$. O sea, que la diferencia entre la producción eficiente y la que resultaría si el mercado se autoregula es $H-E-F$. Dado que la diferencia entre el *CMaS* y el *CMaP* es el *DMa*, H es en realidad igual a $E+F+I$. En consecuencia, la ganancia de eficiencia por pasar del equilibrio al óptimo es I. Por eso es que se justifica con seguridad, basándose en argumentos ambientales, poner un impuesto a las gasolinas.

Ahora bien, Pigou (1920) propone un impuesto que no tiene cualquier nivel, sino que debe ser tal que los individuos, al maximizar sus beneficios con el impuesto, lleguen al mismo resultado que llegaría un regulador que quiere imponer el óptimo. Para eso, el impuesto debería ser igual al daño marginal en el óptimo. Así, la cantidad de gasolina en un equilibrio con impuesto es igual a la que es eficiente. Esta nueva situación es descripta en color rojo en la Figura 2. En términos de excedentes, como puede verse en la Tabla 2, esto significa que B+C, que antes quedaban para los productores, ahora son recaudación para el gobierno. Obviamente, el excedente total es el mismo que en el óptimo (esto es: $A+B+C+D-G$).

Tabla 2. Reparto de excedentes con impuesto pigouviano sobre un producto contaminante (equilibrio parcial)

Excedente	*Equilibrio* (X_{equ})	**Óptimo** ($X_{ópt}$)	**Diferencia (Óptimo - Equilibrio)**	**Equilibrio con impuesto** ($X_{equ,tX}$)
Consumidor	$A+B+E$	A	$-B-E$	A
Productor	$C+D+F$	$D+B+C$	$+B-F$	D
Externos	$-G-H$	$-G$	H	$-G$
Regulador	-	-		$B+C$
Total	$A+BC+D+E+F$ $-G-H$	$A+B+C+D-G$	$H-E-F = I$	$A+B+C+D-G$

Fuente: Elaboración propia.

Nótese que un impuesto sobre el producto que genera contaminación puede hacer que baje su producción sin un efecto igual al deseado en las emisiones. Como se mencionó en la introducción de este documento, siempre lo mejor cuando hay un bien que genera distorsiones (como lo son las externalidades) es corregir el problema en ese mercado (Lipsey and Lancaster, 1956). Por ende, si es la contaminación el problema, lo ideal es atacarla a ésta directamente. Así y todo, un impuesto al producto sería equivalente a un impuesto a las emisiones si las emisiones tienen una relación monótona fija con la producción. Solo en ese caso, poner un impuesto al producto es equivalente a poner un impuesto a las emisiones (Mas Colell et al 1995, p. 356).

II.B. Impuestos en Equilibrio general

Durante casi 70 años desde la publicación de Pigou en 1920 hasta fines de los 80s, los análisis económicos sobre impuestos pigouvianos se hicieron en equilibrio parcial. Esto es, se consideraba un solo mercado: el del bien contaminante como es la gasolina o el de las emisiones resultantes como el carbono. Luego surgió una amplia literatura sobre los impactos de dichos impuestos sobre otros mercados, y además sobre el efecto que tendría el uso de la recaudación de los impuestos verdes sobre esos otros mercados. Para dichos análisis es que se comenzaron a usar modelos de equilibrio general.

Debido a la recaudación que los impuestos pigouvianos generan, las reformas fiscales verdes suelen fundamentarse en la obtención de mejoras de origen ambiental, pero también en la ventaja de lograr cierto nivel de recaudación para el regulador. Tullock (1967) fue el primero que argumentó sobre la existencia de ese "doble dividendo". Este último se supone resulta del uso que se pueda hacer de la recaudación del impuesto verde para reducir otros impuestos distorsivos. La reforma impositiva verde consiste en reorientar el sistema de impuestos para poner tasas sobre "males" (como los productos contaminantes) y bajar las tasas sobre "bienes" distorsionados por impuestos previos, manteniendo la recaudación constante. La ganancia extra se supone que vendría de reducir impuestos en mercados que están distorsionados por los mismos. Típicamente se considera que se pueden reducir los impuestos al trabajo con la recaudación resultante del impuesto sobre la gasolina o el carbono.

La hipótesis es que el mercado de trabajo es competitivo y un impuesto al trabajo genera una pérdida de eficiencia ya que resulta en menores niveles de empleo. Los trabajadores reducen la cantidad ofrecida de trabajo al bajar sus remuneraciones debido al impuesto ($w-t_L$), y a su vez, los empleadores bajan la cantidad demandada del mismo. Esto resulta en una pérdida de excedente tanto para el oferente de trabajo como para el demandante. La Figura 3 muestra esta situación. La pérdida de eficiencia está indicada con el triángulo negro.

La idea del "doble dividendo" se describe claramente en Terkla (1984). Se puede decir que la visión "optimista" de los impuestos ambientales duró toda la década de los 80s. Pearce (1991) también instaló fuertemente este tema en el debate de fiscalidad verde, al igual que Oates (1993). En la década de los 90s, el apoyo político originado en la "doble función" de la imposición ambiental originó las reformas correspondientes en varios países, sobre todo de Europa. ¿A quién podía no gustarle poner un impuesto que corrigiera un problema y además tuviera como subproducto aumentar la recaudación?[4]

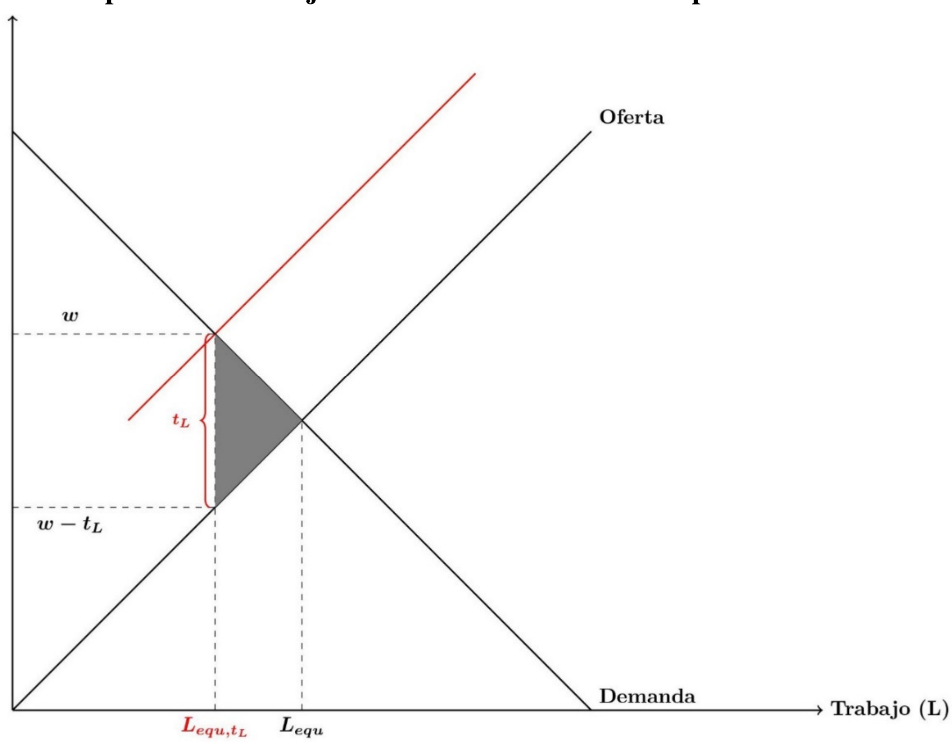
Sin embargo, al mismo tiempo surgió una literatura teórica fundamentada en el principio básico de finanzas públicas según el cual si se hace análisis de una sola política en un solo mercado, es porque no hay distorsiones en los otros mercados o las mejoras que se den en éstos se compensan con las pérdidas (Harberger, 1964). Si ese no es el caso, deben considerarse las consecuencias en los varios mercados. Si se toman en cuenta los efectos de equilibrio general, existe un efecto que contrarresta y relativiza el doble dividendo. Como se detalla a continuación, el problema de los impuestos ambientales es que son un impuesto implícito sobre los factores, que magnifican las distorsiones ya existentes sobre dichos mercados. Por ende,

[4] También han aparecido trabajos empíricos que han comenzado a discutir la teoría del "triple dividendo" (ver van Heerden et al, 2006). Esto es, impuestos ambientales que reduzcan la contaminación, estimulen el crecimiento y también alivien la pobreza. Dicho de otra manera, que los fondos sean utilizados para combatir la marginalidad.

puede darse el caso que el ahorro de costos por usar lo recaudado por el impuesto verde para bajar otros impuestos sea menor que la distorsión inducida por la interacción en el mercado de factores (Goulder 1995; Parry 1995; Bovenberg 1999).

El objetivo principal de esta parte del trabajo es analizar el impuesto a las gasolinas mirado desde esta literatura de equilibrio general. Pero antes debe quedar claro algo anterior, que es nada de esta discusión existiría si la recaudación del impuesto ambiental fuera lo suficientemente grande para financiar todos los gastos públicos, ya que ello permitiría eliminar todas las distorsiones. Si se pudieran eliminar todos los impuestos distorsivos con lo recaudado, se volvería a una situación eficiente o de primer mejor. Pero si la recaudación no es tanta, y solamente se puede reducir un impuesto distorsivo, entonces se está en una situación que no es de primer mejor.

Figura 3. Impuestos al trabajo en un mercado laboral competitivo



Fuente: Elaboración propia.

Esto ocurre porque, como se sabe por el *Teorema del Segundo Mejor*, "into a general equilibrium system a constraint which prevents the attainment of one of the Paretian conditions, the other Paretian conditions, although still attainable, are, in general, no longer desirable." (Lipsey y Lancaster 1956, página 11). Eso significa que poner un impuesto ambiental para resolver la externalidad por la contaminación, aunque sea posible, puede no ser deseable cuando hay impuestos preexistentes en los mercados relacionados (en este caso, el laboral). En caso de decidir hacerlo, vale el "corolario negativo" del Teorema: "… there is no a priori way to judge as between various situations in which some of the Paretian optimum conditions are fulfilled while others are not.” (Lipsey y Lancaster 1956, página 12). Esto significa que cuando se pone un impuesto ambiental y con lo que se recauda se bajan otros impuestos distorsivos, la única manera de saber si aumenta el bienestar es hacer la cuenta en cada caso. Esto es clave para lo que sigue en este trabajo. En las palabras de Parry y Oates (1998, p.11), "We know that anything can happen in a second-best setting.".[5]

En equilibrio general, siguiendo a Goulder (1995), hay 3 componentes de una reforma fiscal verde (además del ahorro de los daños de la externalidad ambiental que se busca reducir, efecto al cual se denomina ***primary benefits o PB,*** y corresponde al área *H* de la Figura 2):

1) **Costo directo (*primary cost o PC*).** Los productores tienen que tomar medidas para reducir sus emisiones (y los consumidores tienen que reducir su consumo de ese bien contaminante) y eso tiene un costo. El efecto *PC* es entonces un costo, y corresponde al área *E + F* de la Figura 2;

2) **Efecto reciclado (*revenue-recycling effect, RR*).** La recaudación del impuesto ambiental (área *B + C* en la Figura 2) se puede usar para bajar impuestos distorsivos pre-existentes (la distorsión inicial corresponde al área sombreada de la Figura 3). Este efecto RR es un beneficio ya que permite, poniendo impuestos a “males” (como la contaminación), dejar de imponer cosas que son “buenas” (como el trabajo o la inversión); y,

3) **Efecto interacción (*tax-interaction effect, TI*).** Este efecto se produce porque el impuesto ambiental aumenta los precios de los bienes y esto reduce la remuneración real de los factores (por lo que grava implícitamente las rentas del trabajo) y por ende desplaza la oferta laboral (y su correlato, la demanda de ocio). Dado que los factores a su vez tienen impuestos, el impuesto ambiental actúa como una imposición indirecta a los factores, la cual distorsiona aún más dichos mercados, con el consecuente potencial efecto negativo que eso tiene. Por ende, *TI* es un costo.

Los efectos *PB* y *PC* son los únicos visibles desde una perspectiva de equilibrio parcial, mientras que los efectos *RR* y *TI,* se comprenden adoptando una postura de equilibrio general. Así, un impuesto a las gasolinas tiene un primer dividendo (ambiental) porque los beneficios de corregir la externalidad son mayores que los costos directos o sea $W_A = PB - PC > 0$ (eso es $H\text{-}E\text{-}F=I > 0$ en la Figura 2). Y, habría también un segundo dividendo (no ambiental) si se diera que el efecto neto sobre el bienestar del efecto reciclado y el efecto interacción es positivo ($W_{NA} = RR – TI > 0$). Este último dividendo surge de un análisis sobre otros mercados y en ese sentido es de equilibrio general. Para que ambos dividendos se dieran, sería necesario que $WA > 0$ y $WNA > 0$.

Pero, existe una larga discusión sobre el predominio de una u otra fuerza. En este debate se distingue entre la hipótesis del “doble dividendo débil” y la hipótesis del “doble dividendo fuerte”. La primera postula que usar los ingresos tributarios recaudados con el impuesto ambiental para reducir impuestos distorsivos (como impuestos al trabajo o a las ventas) es

[5] Baumos y Oates (1998), sobre esa base, tratan de averiguar bajo qué condiciones se daría el doble dividendo y bajo cuáles no. Goulder y Parry (2000) siguen esta línea y afirman que “…the presence or absence of the double dividend depends on the nature of the prior tax system and how revenues are recycled.”. Esto se verá con más claridad en las próximas páginas de este documento.

mejor que devolver a los ciudadanos lo recaudado en “sumas fijas”. Esto es que impuestos verdes con reciclaje son mejores. Esta hipótesis no es nada controversial desde el punto de vista teórico. Es clara porque, con reciclado, se ahorraría la pérdida social que crean los impuestos en mercados no distorsionados. Esta política es neutral desde el punto de vista de los ingresos tributarios. En términos de la notación recién introducida, estaría pasando que $PB - PC + RR > PB - PC$. Esto significa simplemente que lo que postula hipótesis del doble dividendo débil es que éste existe porque RR > 0.

Tabla 3. Síntesis de los conceptos para pensar el “doble dividendo”

A. DIFERENCIA ENTRE EFECTOS DE EQUILIBRIO PARCIAL Y DE EQUILIBRIO GENERAL

Equilibrio parcial	*Efectos de Equilibrio general*
Primary benefit, PB (costos ahorrados por los “externos” al corregir la externalidad)	***Revenue-recycling effect, RR*** (ahorros por reducir otros impuestos en mercados con fallas)
Primary cost, PC (costos de reducir la contaminación para los privados)	***Tax-interaction effect, TI*** (costos de efecto indirectos en los mercados de factores)

B. LOS DIVIDENDOS

Primer dividendo: Dividendo Ambiental	*Segundo dividendo: Dividendo No Ambiental*	*Doble dividendo:*
$W_A = PB - PC > 0$	$W_{NA} = RR - TI > 0$	$W_A > 0,\ W_{NA} > 0$

C. LAS HIPÓTESIS

Hipótesis “débil“	*Hipótesis “fuerte”:*	*Hipótesis “intermedia”*
$PB - PC + RR > PB - PC$ *o* $RR > 0$	pasa el test “fiscal”, mira los costos económicos brutos, independientemente de la mejora ambiental (PB) $RR - TI - PC > 0$ *o* $RR > PC + TI$	$RR > TI$

Fuente: Elaboración propia.

La segunda hipótesis (la del “doble dividendo fuerte”) no es tan fácil de verificar porque requiere que el efecto neto de la reforma fiscal verde (sin considerar los beneficios de corregir la externalidad como tal) sea positivo. La preocupación por asegurar que debe darse este efecto para decidir llevar adelante reformas fiscales verdes tiene que ver con que los beneficios ambientales son generalmente bastante inciertos dadas las dificultades inherentes a la valuación económica de los mismos. Por eso, se busca saber si los impuestos “cierran” desde el punto de vista de los costos medidos en términos de la actividad económica. Además, si ese no es el caso, de la misma manera que la política fiscal puede afectar la calidad ambiental imperante, la política ambiental puede afectar la salud fiscal y eso debe tenerse en cuenta. Por ende, para que se verifique la hipótesis del doble dividendo fuerte, debe darse que el efecto reciclado sea mayor que la suma de los efectos directo y de interacción (RR > CP + TI). Esto es, se requiere un efecto neto fiscal positivo (RR – TI – CP >0) independientemente de los beneficios ambientales.[6] La ventaja de este argumento más "fiscalista" es que si se le puede mostrar a la gente que los costos en la economía de introducir impuestos ambientales son negativos (hay beneficios en términos de bienestar), aceptarían la medida fácilmente porque comprenderían, que si además tienen beneficios ambientales, los impuestos son una mejora segura. Los impuestos en esas circunstancias serían lo que en la jerga se conoce como estrategias "win-win" porque producen una doble ganancia. Justamente, dan una ganancia ambiental y una ganancia fiscal en el sentido de proveer incentivos al empleo y a la producción, no en el sentido recaudatorio puro. La Tabla 3 sintetiza la discusión del doble dividendo y sus hipótesis.

En numerosas simulaciones numéricas (ver Bovenberg y de Mooj 1994, Parry 1995 y Bovenberg y Goulder 1997) se encuentra que no solamente el efecto reciclado no compensa la suma de los otros dos, sino que ni siquiera compensa el efecto interacción sólo (esto es, RR < TI, entonces, RR - TI – CP < 0, por ende, no se da la hipótesis fuerte). Al aumentar los costos de producción, los impuestos ambientales tienen un efecto sobre la actividad económica que no es compensado por el efecto de reciclado. En el caso en que el impuesto elegido para reciclar fuese el trabajo, lo que sucede es que la reducción de los impuestos laborales vía reciclado no compensa los efectos negativos que el impuesto ambiental impone sobre la oferta de trabajo de manera indirecta.[7] En ese caso, los impuestos ambientales analizados desde una perspectiva de equilibrio general no se pueden justificar en sí mismos sin recurrir a los beneficios relacionados con la externalidad ambiental.

Goulder y Williams (2003) analizan con precisión cuánto se subestiman los costos si no se considera el impacto vía el efecto interacción en el mercado laboral (esto es, la carga excedente que acontece en el mercado laboral, debido al impuesto sobre el bien). Pero, lo que ocurre es que el resultado final en términos de bienestar depende de cada situación (como en todas circunstancias en que se está en un mundo del segundo mejor). Más precisamente, la existencia del "doble dividendo fuerte" depende de la naturaleza del sistema impositivo previo al establecimiento de impuestos ambientales y de cómo los mismos son reciclados. Por eso, para saber qué efecto prima, deberían estudiarse las políticas impositivas usando un modelo de equilibrio general para cada caso puntual. Los mismos Goulder y Parry repasan distintos trabajos en los que se encuentra que, el doble dividendo fuerte no ocurre siempre.[8] De todas formas, que no se dé el doble dividendo fuerte no significa que no debe haber impuestos

[6] Se verifica la hipótesis del doble dividendo "intermedia" cuando el efecto reciclado es mayor al efecto interacción (RR - TI > 0). Esto significa que una reforma impositiva ambiental es menos costosa en una situación de segundo mejor que en una de primer mejor. Ver al respecto Parry y Bento (2000) y Parry y Williams (2004).

[7] Además, esta literatura teórica debate generalmente el caso en que lo recaudado por impuestos ambientales solamente se recicla en otros impuestos. Pero, aunque hay que reconocer que esta vía se eligió en varias de las experiencias europeas, también es cierto que en muchos otros casos (en Europa, pero también en otros países) los fondos se han usado para dirigirlos a obras que mitiguen la contaminación. Esto ha sido especialmente así en las experiencias en países en desarrollo (ver Prust, 2005).

[8] La hipótesis fuerte es válida, por ejemplo, cuando (Goulder and Parry, 2000): El bien contaminante es un sustituto débil del ocio o si el ocio y bien son complementos (esto hace a un bajo TI) o si la calidad ambiental es un bien sustitutivo del ocio (si la mejora en el medio ambiente inducida por el impuesto tiene un efecto positivo en la salud de la población, que lleve a ésta a aumentar la cantidad ofrecida de trabajo: aunque esto puede no ocurrir mucho ya que mayores mejoras en salud se producen en parte en personas bastante adultas que no trabajan), por ejemplo.

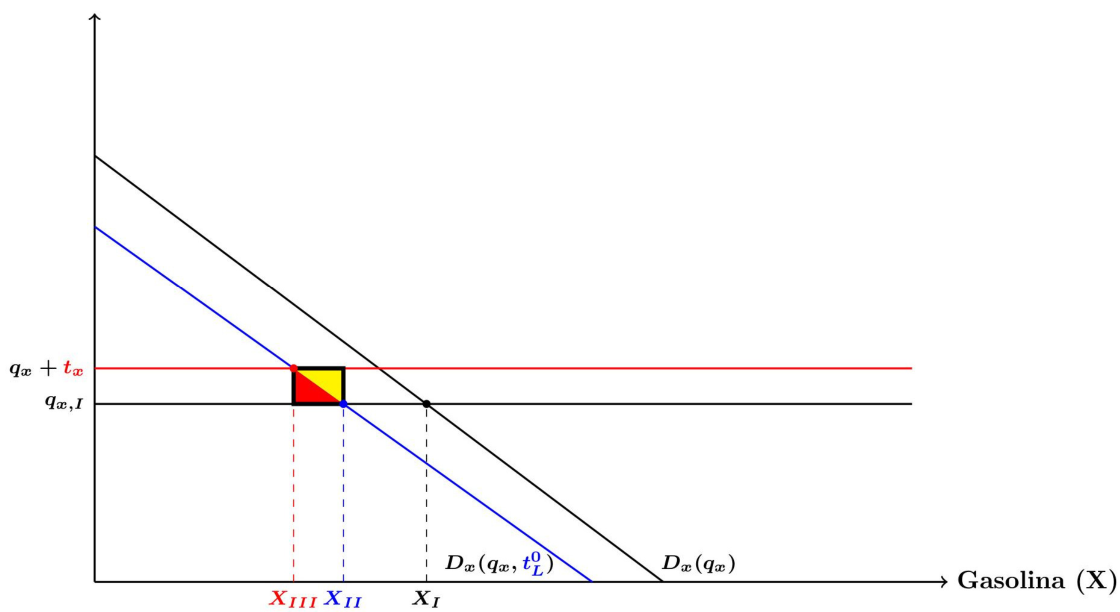
ambientales, sino que los mismos solo pueden ser justificados en términos de bienestar teniendo en cuenta la ganancia que deviene para los que sufren la externalidad.

Como consecuencia de ello, el impuesto óptimo que considera todos los efectos debería ser menor al pigouviano (ver Bovenberg y Goulder, 1996). Este hecho se verá con más detalle en la sección siguiente de este documento.

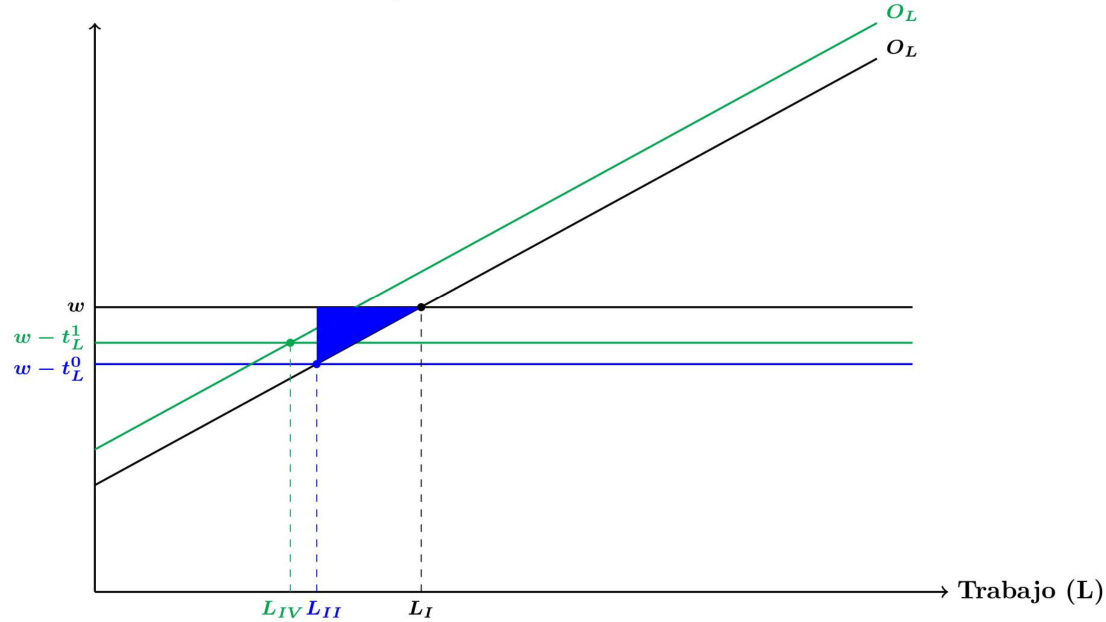
Antes de discutir las magnitudes relativas que pueden tener cada uno de estos efectos, vale la pena hacer algunas figuras simples que permitan captar con más contundencia qué significan cada uno de ellos. La Figura 4 resume la interrelación entre el mercado de la gasolina, el mercado del factor trabajo y el ocio. Para simplificar, en el lado de la oferta se supone que empresas perfectamente competitivas producen cualquier cantidad de gasolina a un precio al productor dado (que se denominará aquí q_F, para hacer la transición al modelo que se detalla en la próxima Sección) y que para eso demandan el factor trabajo pagando un salario w. Suponer una oferta perfectamente elástica implica ignorar el impacto de los impuestos en el precio del productor. Esta hipótesis se mantiene a lo largo de todo el documento, y es lo usual en la literatura.

Figura 4. Interacción entre mercado del bien y mercado de trabajo

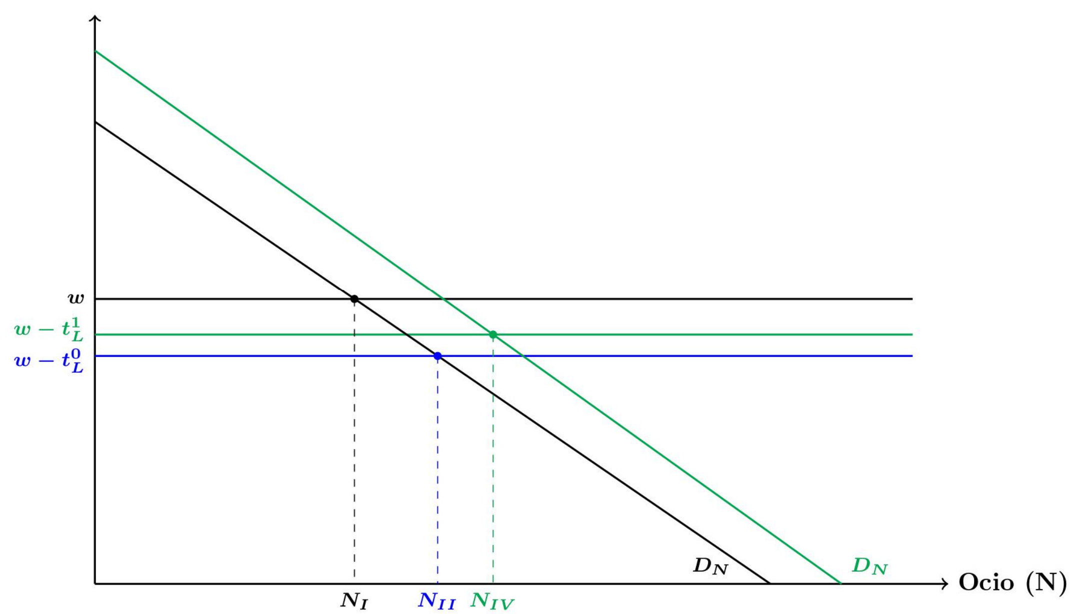
Panel A. Mercado de la gasolina.



Panel B. Mercado de trabajo.



Panel C. Ocio.



Todas las figuras comienzan en una situación *I*, en la cual no hay ningún impuesto. Las líneas en ese caso son de color negro. Luego, pasan a una situación *II*, que es con un impuesto al trabajo t_L^0. La misma se muestra en color celeste. Dicho impuesto causa que la cantidad ofrecida de trabajo baje y la cantidad demandada de ocio suba. Eso implica una pérdida del excedente del trabajador igual al triángulo turquesa. A su vez, dado que el salario neto es menor que el bruto, eso baja la demanda de la gasolina ya que el ingreso disponible del trabajador es menor.

En la situación II, es que el gobierno sabe que la producción y el consecuente consumo del bien X (la gasolina), genera un Daño Marginal, entonces decide fijar un impuesto igual a dicho daño como manera de resolver dicha externalidad. La situación resultante (III) se marca en color rojo. Como consecuencia de t_x, la cantidad demandada de gasolina se reduce ya que justamente ese es el efecto buscado con el impuesto al bien contaminante. Como consecuencia de dicho impuesto, cae el excedente del consumidor, pero parte de dicha área no es pérdida social sino transferencia ya que el gobierno recauda $t_X \cdot X$ con el impuesto. La pérdida neta para el consumidor de gasolina es el área sombreada en rojo. Por otro lado, los que sufren la externalidad, ahorran daños por el área con borde negro, que es la diferencia de la gasolina que no se produce por el daño marginal que esta genera. Entonces, la ganancia social neta en el mercado de la gasolina por ponerle un impuesto es el área amarilla en la Figura 4 (esto es *PB-PC* en base a la notación de la Tabla 3).

Ahora, habiendo recaudado $t_X \cdot X_{III}$, el regulador decide volcar dichos recursos a bajar el impuesto al trabajo con la idea de reducir la pérdida generada por el mismo (esto es, el área turquesa en el Panel B de la Figura 4). Hace la cuenta y fija t_L^1 tal que $t_L^1 = \frac{G}{L} - t_X \cdot \frac{X_{III}}{L}$. Lo que intenta aplicar el regulador es la regla de Ramsey (1927) para minimizar los costos de las distorsiones que se hacen a los mercados con el objetivo de financiar cierto nivel de gasto público. En términos de la Figura 4, esto significa que se va a establecer t_L^1 tal que el área $t_X \cdot X_{III}$ sea igual a $t_L^0 \cdot L_{II} - t_L^1 \cdot L$. Pero, en la medida en que, debido a t_X, sube p_x, baja el salario real para el trabajador. La consecuencia de ello es que baja la oferta de trabajo y aumenta la demanda de ocio. Esa nueva situación se marca en color verde en la Figura 4. Eso significa que la cantidad de trabajo L en $t_L^0 \cdot L_{II} - t_L^1 \cdot L$ va a depender del desplazamiento de la oferta de trabajo, así como de la reacción de dicha curva al cambio del salario neto. Esto puede verse bien en la Figura 4, ya que cómo termina siendo el efecto final sobre el factor trabajo que se termina utilizando depende al menos de la elasticidad de la oferta de trabajo y su desplazamiento ante cambios en el ingreso disponible. En la Sección siguiente, se podrá ver con más detalle esta cuestión para el impuesto a las gasolinas.

Antes de pasar a analizar con más detalle el impuesto a la gasolina, vale la pena también decir que, a pesar de toda la teoría, la manera de fijar impuestos ambientales en base a análisis de costos y beneficios muchas veces en la práctica no se efectiviza. Esto se debe a que es difícil y costoso estimar los beneficios económicos de la calidad ambiental ya que tienen que ver con disponibilidad a pagar por la misma por parte de personas. Sin embargo, los costos de reducir la contaminación sí son usualmente estimables en base a parámetros ingenieriles. Por ello, es usual encontrar que la tasa ambiental está diseñada en base a un análisis no de costo-beneficio sino de costo-efectividad. La efectividad de costos consiste en tratar de minimizar los costos de cumplimentar una meta específica (Baumol and Oates 1971 llaman este procedimiento*: pricing and standards procedure*). Lo que se busca es minimizar el costo de cumplir con determinado estándar. Es claramente una política de segundo mejor. Estas ideas de estándares agregados mínimos o de seguridad o "razonables", han sido la regla en la realidad de los impuestos ambientales (ver Bluffstone, 2003). Concretamente, el regulador fija un estándar de calidad ambiental y establece un impuesto unitario por la diferencia entre el nivel real y el estándar. En la práctica, generalmente es un proceso de "prueba y error".

Como se mencionó más arriba, hay trabajos sobre la fijación de impuestos a la gasolina de forma eficiente para varios países. Se empezó por los casos de Estados Unidos, Europa, y Japón, ya luego se incluyó el estudio en algunos países en desarrollo como Guatemala, México, Chile, Costa Rica, o China. También hay trabajos a nivel subnacional, por ejemplo, para California, Ontario o Montreal. Es importante estudiar los impuestos óptimos para la región Latinoamericana y los países que la forman, ya que no es correcto extrapolar valores de otros países debido a que, como se verá en esta sección, los impuestos dependen de factores que son locales, como los tiempos de viaje, la cantidad y tipo de accidentes en rutas y la valorización local de las externalidades.

La gran mayoría de las publicaciones sobre imposición óptima a la gasolina sigue el esquema presentado en el artículo de Parry y Small (2004).[9] Parten de las fórmulas derivadas en dicho artículo y simplemente reemplazan los parámetros por los relevantes para el caso que se analiza. Por eso, se expone primero aquí en qué consiste el modelo de PS y se hacen todos los pasos para derivar el resultado que allí se obtiene, que es del que parten los trabajos de impuestos óptimos a la gasolina. Se considera importante hacer toda la derivación para saber exactamente de dónde provienen cada uno de los resultados. Este es uno de los aportes de este documento ya que, como se verá más abajo, llegar a la fórmula del impuesto lleva bastantes pasos. Pero, solamente sabiendo cómo se deriva la misma, puede pensarse en introducir modificaciones en el modelado. Un ejemplo en ese sentido sería introducir más externalidades. Para simplificar la lectura del texto, se plantea el modelo y las fórmulas que se utilizan para derivar el impuesto eficiente, mientras que la derivación completa se incluye en un Anexo.

III. PLANTEO DEL MODELO DE PARRY Y SMALL (2004)

Concretamente, PS considera una economía cerrada, estática, con un agente representativo. Dicho agente maximiza utilidad de forma tal de elegir su consumo de un bien privado (*C*), la distancia viajada por vehículo (*M*, que se suele llamar *VMT* en esta literatura: *vehicle-miles traveled o KMV* por kilómetros viajados por vehículo), el tiempo que se está manejando (*T*), el ocio (*N*), el consumo de combustible (*F*) y costos adicionales de viajar, como el precio del vehículo y otros costos que estén asociados al viaje para los individuos (*H*). Todas las variables están expresadas en términos per cápita.

También hay cuestiones que no dependen de un agente en particular: el nivel de contaminación del aire generada por el vehículo (*P*) y los accidentes (*A*), siendo *A* el número de accidentes sumados de acuerdo a factores que indican su severidad. Por otro lado, el gobierno debe hacer cierto gasto dado (*G*) para financiar bienes públicos.[10] Tanto *P* como *A* generan desutilidad al agente.

Concretamente, en términos matemáticos, la utilidad puede escribirse como:

$$U = U[\psi(C, M, T, G), N] - \theta(P) - \delta(A)$$

Se supone por simplicidad, para que las condiciones de primer orden de problema sean suficientes para la existencia de un máximo, que las funciones $U(\quad)$ y $\psi()$ son cuasi-cóncavas

[9] De acá en más, se referirá a este trabajo como PS.

[10] Se considera que la infraestructura en rutas es fija.

y, $\varphi()$ y $\delta()$ son convexas y representan los costos externos de la contaminación y de los accidentes.

La distancia viajada por vehículo (M) se genera en base al consumo de gasolina (*F*) y de otros costos de manejo (H), y dicha relación es una función homogénea y se expresa matemáticamente como:

$$M = M(F, H)$$

El agente representativo maximiza, entonces, su utilidad sujeta a una restricción presupuestaria: le pagan *w* por trabajar y paga un impuesto al trabajo de t_L y un impuesto de t_F por el consumo de gasolina, la cual compra a un productor cuyo precio de oferta es q_F:

$$(w - t_L) \cdot L = p_c C + (q_F + t_F) \cdot F + H$$

Se supone en un mundo en el que solamente hay impuestos a las naftas y al trabajo y no hay otros esquemas de regulación.

Para simplificar, se supone $p_c = 1$, considerando así a C como el bien numerario. El individuo representativo también está limitado por cierta cantidad de tiempo ($\bar{L}$), que puede usar en trabajar (*L*), ociar (*N*) y manejar (*T*):

$$\bar{L} = L + N + T$$

Luego, hay tres externalidades, cuya generación no depende de un agente en particular sino del conjunto de la sociedad, y por ende los agentes las toman como dadas (no piensan que pueden influir en ellas).

La congestión es la primera externalidad en el modelo. Se expresa a través del tiempo de manejo (*T*), que depende de π, que es la inversa de la velocidad de viaje. Ese π varía con $\bar{M}$, que es la distancia agregada manejada promedio per cápita, y por ende es exógena al agente. Entonces, $\pi' > 0$, lo cual significa que un aumento de los kilómetros o millas manejadas por vehículo genera una mayor congestión. Matemáticamente, esto se expresa como:

$$T = \pi(\bar{M}) \cdot M$$

Luego, el uso del automóvil genera un segundo tipo de externalidades: contaminación global (P_F: dióxido de carbono que surge por la quema de la gasolina) y una contaminación local (P_M: hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y otros). El primer tipo de contaminación es proporcional al uso de combustible mientras que el segundo tiene relación con la distancia manejada. Tanto P'_F como P'_M son positivas ya que a mayor combustible utilizado promedio ($\bar{F}$) y mayor distancia promedio recorrida por vehículo ($\bar{M}$), mayor es la contaminación que se genera. Ambos, $\bar{F}$ y $\bar{M}$, no depende de un individuo particular sino del conjunto. Se supone que ambos tipos de polución se suman para determinar la cantidad total de contaminación. Concretamente:

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

En tercer lugar, hay costos externos del consumo de combustibles en automóviles que tienen que ver con los accidentes (*A*) que estos puedan generar. Los mismos dependen de la distancia que se recorra con los vehículos. Específicamente, se supone que $\alpha(\bar{M})$ es el daño promedio por accidentes y depende de la distancia recorrida:

$$A = A(\bar{M}) = \alpha(\bar{M}) \cdot \bar{M}$$

El lado de la producción es simple: se supone que empresas competitivas producen los bienes con tecnologías de rendimientos constantes a escala, usando un solo factor, que es el trabajo. La tecnología se supone lineal en L, por lo que el valor de la productividad marginal del trabajo, que determina la demanda de trabajo, y el salario resultante, es *w=1*.

Finalmente, se supone que el gasto del gobierno (G) se financia enteramente con impuestos *ad-valorem* a la gasolina y al trabajo, por lo cual:

$$G = t_L \cdot L + t_F \cdot F$$

Esto significa que mayores ingresos por un aumento del impuesto a la gasolina pueden financiar reducciones en la tasa del impuesto al trabajo según esta ecuación.

Para derivar el modelo de Parry y Small (2004), que es la base de la gran mayoría de los trabajos sobre determinación del impuesto óptimo a la gasolina, en primer lugar se parte de la resolución del problema de un agente económico representativo de la economía, que elige cuánto consumir de C, cuanto ociar (N), la distancia a manejar con su vehículo (M), el consumo de combustible (F) y otros gastos asociados a su automóvil (H), de forma tal de maximizar su utilidad sujeto a su restricción presupuestaria y de tiempo. En segundo lugar, se plantea el problema de óptimo, en el cual un regulador considera las externalidades que surgen del uso de la gasolina en los vehículos. Esto es, externalidades en términos de contaminación del aire global y local, congestión y accidentes que devienen de dicho uso. En tercer lugar, en base al planteo del regulador, él elige el impuesto a las gasolinas óptimo, que deviene de la maximización de la utilidad indirecta del consumidor representativo, considerando las externalidades. Luego, en base a dicho impuesto óptimo, puede calcularse la mejora de bienestar que resulta de la imposición, así como los cambios que resultan de la misma en las variables relevantes (el impuesto laboral, la oferta de trabajo, el ocio resultante, el consumo de combustible y las decisiones de manejo).

Como se mencionó más arriba, la derivación completa del modelo se hace en un Anexo de este documento. De resolver el modelo resultan unas pocas fórmulas que se usan en las aplicaciones empíricas sobre el impuesto óptimo a la gasolina.

Primero, hacen falta tres ecuaciones para derivar el impuesto óptimo:

$$t_F^* = \overbrace{\frac{\overbrace{E^P F + (E^C + E^A + E^P M) \cdot \frac{\beta}{\alpha_{FM}}}^{MEC_F}}{1 + \underbrace{\frac{-t_L \cdot \frac{\partial L}{\partial t_L}}{L + t_L \cdot \frac{\partial L}{\partial t_L}}}_{MEB_L}}}^{Imp.\ Pigou\ Ajust.} + \overbrace{\frac{(1-\eta_{MI}) \cdot \varepsilon_{LL}^c}{\eta_{FF}} \cdot \frac{t_L \cdot (q_F + t_F)}{1 - t_L}}^{Imp.Ramsey} \overbrace{\frac{\beta}{\alpha_{FM}} \cdot E^c \cdot \{\varepsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI}) \cdot \varepsilon_{LL}^c\} \cdot \frac{t_L}{1 - t_L}}^{Efecto\ Feedback\ Congestion} \quad (1)$$

$$\boxed{t_L = \alpha_G - \frac{t_F}{q_F} \alpha_F} \quad (2)$$

$$\boxed{\frac{M}{F} = \frac{M^0}{F^0} \left(\frac{q_F + t_F}{q_F + t_F^0} \right)^{-(\eta_{MF} - \eta_{FF})}} \quad (3)$$

Como puede verse en (1), MEC_F es el daño marginal por el uso de combustible. El mismo tiene varios componentes: E^{P_F}; E^C; E^A; E^{P_M}, que son respectivamente los costos que el consumo de gasolinas implica en términos de emisiones de carbono, congestión, accidentes, y contaminación local; $\beta = \frac{\eta_{MF}}{\eta_{FF}}$ donde η_{FF} es la elasticidad-precio de la demanda de gasolina y η_{MF} es la elasticidad de VMT respecto al precio de la gasolina; $\alpha_{FM} = \frac{F}{M}$. Los tres últimos términos E están expresados por kilómetro, y por eso se encuentran divididos por $\alpha_{FM} = \frac{F}{M}$ (eso significada que algo expresado en términos de M, se multiplica por M/F, para pasar a estar en unidades de combustible o F). Estos últimos términos también están multiplicados por β, que es la fracción de la elasticidad de demanda de gasolina cuando se reducen los KVV.[11]

Sin embargo, contrariamente a la idea pigouviana de que el impuesto debe ser igual al daño marginal, en esta fórmula se muestra claramente que el daño marginal debe ser ajustado (dividido) por (1+MEB_L). MEB_Les la pérdida de bienestar por la imposición indirecta al trabajo, que resulta de poner un impuesto a las gasolinas, la cual está determinada por la interacción entre la tasa del impuesto (t_L) y la elasticidad de la oferta laboral sin compensar (ε_{LL}). La intuición es que un ajuste el impuesto a la gasolina, que tiene una base imponible chica en relación al impuesto al trabajo, no permite compensar todo el impuesto sino parte, y ese cambio distorsiona el mercado laboral.

El segundo componente del impuesto es el de Ramsey (Sandmo 1975; Deaton 1981). Ocurre cuando el ocio en la función de utilidad es separable débilmente de los kilómetros viajados. Eso significa que $\eta_{MI} < 1$, dónde η_{MI} es la elasticidad de la distancia viajada por vehículo (*VMT*) respecto al ingreso disponible, ε_{LL}^{c} es la elasticidad precio compensada de la oferta de trabajo. Este componente incluye lo que en la literatura de economía ambiental se denomina Efecto Reciclado y Efecto Interacción, que se repasó en la Sección anterior de este documento. El primero refleja las ganancias de eficiencia que surgen de usar los ingresos del impuesto a las gasolinas para reducir los impuestos (distorsivos) al trabajo, mientras que el segundo es la pérdida de eficiencia porque de la imposición a las gasolinas resulta una baja del salario real de los trabajadores, que conduce a una disminución en la oferta de trabajo. Cuando más débil es esa relación, más se pueden gravar las gasolinas, tal como lo sugiere la regla de Ramsey (1927). La misma establece que, cuando hay restricciones de financiamiento, y entonces hay que distorsionar algunos mercados que son competitivos para conseguirlo, la manera de hacerlo de forma "cuasi-óptima" es gravar más los bienes cuya demanda es más inelástica (eso es lo que ocurre generalmente cuando un bien tiene pocos sustitutos).

El tercer componente es el relacionado con el efecto positivo de que al aumentar el impuesto a los combustibles se reduce la congestión y eso implica más tiempo para el trabajo

[11] Si la eficiencia de los combustibles es fija, el uso de combustibles cambia en proporción al KVV, entonces $\beta = \frac{\eta_{MF}}{\eta_{FF}} = 1$. Sin embargo, generalmente, solo una parte de la respuesta a cambios de precios viene por modificaciones en KVV, con lo cual $\beta < 1$. La otra parte es por ajustes en el tipo de vehículos. Ante aumentos del precio de los combustibles, las personas ajustan comprando vehículos más eficientes. Eso hay que considerarlo para no sobreestimar el impuesto.

y para el ocio (Parry y Bento, 2001). Esto genera más bienestar, por lo cual va en la dirección de poder gravar más a las gasolinas. El tamaño de este efecto depende en parte de la ε_{LL} elasticidad precio de la oferta de trabajo. Nótese que la contaminación y los accidentes están puestos en forma separable en la utilidad, con lo cual no es de esperar un efecto feedback de estos. Esta hipótesis hace que no haya efectos sobre la oferta de trabajo relacionados con cambios en la salud (y, por ende, en la oferta de trabajo) significativos cuando se modifican los niveles de contaminación y la ocurrencia de accidentes.

Sin embargo, como queda claro de observar la fórmula (1), el impuesto, además de estar a la izquierda de la expresión, también está a la derecha. Esto ocurre porque tanto $t_L(t_F)$ como $\alpha_{FM}(t_F)$ son endógenos. Por eso, además de (2), hay que considerar que partiendo de la restricción del gobierno:

$$t_L L + t_F F = G$$

$$t_L = \frac{G}{L} - t_F \frac{F}{L}$$

$$\boxed{t_L = \alpha_G - \frac{t_F}{q_F}\alpha_F} \text{ con } \alpha_G = \frac{G}{L} \text{ y } \alpha_F = q_L \frac{F}{L}$$

Nótese que como la función de producción se supone lineal α_G y α_F también son la fracción del gasto del gobierno y la fracción de gasto en combustible en relación a la producción.
Luego, $\alpha_{FM}(t_F)$ se puede aproximar por una fórmula de elasticidad constante:

$$\boxed{\frac{M}{F} = \frac{M^0}{F^0}\left(\frac{q_F + t_F}{q_F + t_F^0}\right)^{-(\eta_{MF} - \eta_{FF})}} \qquad (3)$$

La eficiencia de combustible inicial ($\boxed{\frac{M^0}{F^0}}$) depende de la eficiencia de cada vehículo que compone el parque vehicular, la cual está relacionada con el tipo de vehículo y la edad de los mismos. En última instancia, también depende del mantenimiento de los vehículos, pero ese dato no es fácil de captar.

En este trabajo, se ha usado el método *GRG non linear* del complemento *Solver* en Excel para encontrar el impuesto a la gasolina óptimo (t_F^*) usando las ecuaciones (1) a (3). Se hace para poder replicar los resultados de los trabajos empíricos revisados. Teniendo el impuesto a las gasolinas óptimo, en base a (2), se obtiene el impuesto al trabajo (t_L) asociado, que permite que se financie el gasto del gobierno. Acompaña a este documento un archivo Excel que permite hacer estos cálculos en base a los datos que alimentan las fórmulas (ver Tabla 4).

En segundo lugar, para calcular el cambio en el bienestar desde el impuesto vigente en cada caso al impuesto óptimo y al impuesto que solamente considere el daño marginal (sin ajustes de equilibrio general), se usa la ecuación:

$$\boxed{\frac{1}{q_F^0 F^0}\frac{1}{\lambda}\frac{dV}{dt_F} = (1 + MEB_L)\left(\frac{\eta_{FF}}{q_F(q_F + t_F)}\frac{F}{F^0}\right)(t_F^* - t_F)} \qquad (4)$$

donde $F^0 = (q_F + t_F^0)^{-\eta_{FF}}$, $M^0 = (q_F + t_F^0)^{-\eta_{MF}}$, y $F = (q_F + t_F)^{-\eta_{FF}}$.
Los cambios en el bienestar requieren integrar (4). Dado que la integral de esta ecuación no cuenta con una forma analítica simple, esta literatura emplea simulaciones numéricas para resolverla. En este documento, para replicar los resultados de los trabajos empíricos, se emplea

una versión de prueba del complemento *ExcelWorks*. En particular, se usa la función matemática @*QUADF* que resuelve integrales definidas de forma numérica.

En tercer lugar, para estimar los cambios que resultan en las variables relevantes (el consumo de gasolina F, la distancia viajada por vehículo M, la eficiencia del vehículo M/F, y en el factor trabajo L) por modificar el impuesto desde el vigente al óptimo se usan las siguientes ecuaciones:

$$\Delta F = F - F^0 = (q_F + t_F)^{-\eta_{FF}} - (q_F + t_F^0)^{-\eta_{FF}}$$

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

$$\Delta\frac{M}{F} = \frac{M}{F} - \frac{M^0}{F^0} = \frac{M^0}{F^0}\left[\left(\frac{q_F + t_F}{q_F + t_F^0}\right)^{-(\eta_{MF}-\eta_{FF})} - 1\right]$$

$$t_L\frac{dL}{dt_F} = F\frac{\eta_{FF}}{p_F}\left[MEB_L(t_F^* - t_F) + t_F^* - MEC_F\right] \quad (5)$$

Todos los cálculos requieren, entonces, de los datos que se sintetizan en la Tabla 4. Como se verá en la siguiente Sección, los trabajos empíricos eligen los valores que más se aproximen a la situación local que se analiza.

Tabla 4. Datos necesarios para el cálculo del impuesto óptimo a las gasolinas y sus consecuencias

Concepto	**Notación**	**Fórmula (cuando corresponde)**	**Unidades**
Eficiencia inicial del combustible	Mo/Fo		u distancia/u combustible
Precio productor de la gasolina	q_F		\$/u combustible
Impuesto inicial a la gasolina	t_F^o		\$/u combustible
Elasticidad precio de la demanda de gasolina	η_{FF}	$-\frac{\partial F}{\partial t_F}\cdot\frac{p_F}{F}$	Definida como positiva
Proporción de la elasticidad precio de la gasolina explicada por una reducción en *KMV*	β	$\beta = \frac{\eta_{MF}}{\eta_{FF}}$, η_{MF} es la elasticidad de la demanda de KMV con respecto al precio de la gasolina $(-\frac{\partial M}{\partial t_F}\cdot\frac{p_F}{F})$	Definida como positiva
Elasticidad de la demanda de KMV respecto de ingreso disponible	η_{MI}	$\frac{\partial M}{\partial I}\cdot\frac{I}{M}$	Definida como positiva
Elasticidad de L respecto de tL	ε_{LL}	$-\frac{\partial L}{\partial t_L}\cdot\frac{(w - t_L)}{L}$	Definida como positiva
Elasticidad compensada de L respecto de tL	ε^C_{LL}	$-\frac{\partial L^c}{\partial t_L}\cdot\frac{(w - t_L)}{L}$	Definida como positiva
Daños por contaminación global	E^{PF}		\$/u combustible
Daños por contaminación local	E^{PM}		\$/u distancia
Daños por congestión	E^C		\$/u distancia
Daños por accidentes	E^A		\$/u distancia
Participación del gasto público en el PBI	αG	$\frac{G}{C}$	Fracción
Participación del gasto en combustible en el PBI	αF	$q_F\cdot\frac{F}{C}$	Fracción

Fuente: Elaboración propia.

IV. APLICACIONES EMPÍRICAS DE LA TEORÍA DE IMPUESTOS ÓPTIMOS A LAS GASOLINAS

Como se mencionó en la introducción, hay varios trabajos sobre aplicación de la teoría de la imposición óptima en distintas regiones y países. La mayoría sigue estrictamente el modelo de Parry y Small (2004), y el resto lo sigue con algunas modificaciones.

IV.A. Trabajos sobre impuestos óptimos a nivel nacional que siguen el marco conceptual de Parry y Small (2004)

Se sintetizan a continuación los hallazgos de estos artículos. Para simplificar la exposición, la Tabla 5 muestra los datos que se usan para los cálculos y la Tabla 6 muestra la réplica de los cálculos usando la metodología que se describió y los datos de la Tabla 5.[12] Más precisamente, la Tabla 6 resume los impuestos óptimos que los autores calculan en base a los mismos así como otras cuestiones relevantes (los cambios de bienestar que se lograrían por pasar del impuesto vigente al óptimo y al que resultaría de ignorar los efectos de equilibrio general, la contribución de las distintas externalidades al daño marginal, y las distintas partes del impuesto). Los resultados solamente difieren en centésimas o milésimas de los reportados por los autores.

Tabla 5. Datos usados por autores que emplean la metodología de Parry y Small (2004) para calcular el impuesto óptimo y sus impactos

Trabajo	**Parry y Small (2005)**	**Parry y Small (2005)**	**Kawase (2011)**	**ASHT (2014)**	**HTAS (2014)**	**HTAS (2014)**	**HTAS (2014)**	**ASHT (2019)**
Unidades	**Millas Galones $US de 2000**	**Millas Galones $US de 2000**	**Km. Litro Yenes**	**Millas Galones $US de 2011**	**Km. Litro $US de 2011**	**Km. Litro $US de 2011**	**Km. Litro $US de 2011**	**Km. Litro $US de 2006**
Datos	**Estados Unidos**	**Reino Unido**	**Japon**	**México**	**México**	**El Salvador**	**Ecuador**	**Guatemala**
Mo/Fo	**20**	30	9.4	18.2	7.75	7.35	6.65	7.38
$\mathbf{q_F}$	**0.94**	1.01	47.53	2.52	0.665	1.08	0.395	0.79
$\mathbf{t_F^o}$	**0.4**	2.8	53.8	-0.18	-0.0475	0.11	0	0.161
η_{FF}	0.55	0.55	0.2	0.55	0.5	0.5	0.45	0.5
β	0.4	0.4	1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
η_{MI}	0.6	0.8	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
ε_{LL}	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ε^C_{LL}	0.35	0.35	0.25	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
E^{PF}	0.06	0.06	19	0.182	0.048	0.048	0.048	0.022
E^{PM}	0.02	0.02	1.1	0.055	0.034	0.031	0.034	0.017
E^C	0.035	0.07	7	0.05	0.031	0.018	0.021	0.036
E^A	0.03	0.024	2.5	0.064	0.04	0.007	0.006	0.021
αG	0.35	0.45	0.24	0.2	0.22	0.214	0.389	0.14
αF	0.012	0.009	0.005	0.024	0.028	0.033	0.0186	0.02

Fuente: Elaboración propia.
Nota: ASHT es por Antón Sarabia y Hernández Trillo, mientras que HTAS son los mismos autores en el orden inverso.

[12] Como puede verse en la Tabla 5, en general se toman datos locales, salvo cuando no los hay, en cuyo caso se suelen se tomar los valores de los parámetros de Parry y Small (2005) y eso ocurre en varias oportunidades para algunos parámetros como las elasticidades de la oferta de trabajo.

Tabla 6. Cálculos del impuesto óptimo y del que solamente considera el daño marginal (en equilibrio parcial) y no las interacciones resultantes del análisis de equilibrio general

Trabajo	Parry y Small (2005)	Parry y Small (2005)	Kawase (2011)	ASHT (2014)	HTAS (2014)	HTAS (2014)	HTAS (2014)	ASHT (2019)
Unidades	*Millas*	*Millas*	*Km.*	*Millas*	*Km.*	*Km.*	*Km.*	*Km.*
	Galones	*Galones*	*Litro*	*Galones*	*Litro*	*Litro*	*Litro*	*Litro*
	$US de 2000	*$US de 2000*	*Yenes*	*$US de 2011*	*$US de 2011*	*$US de 2011*	*$US de 2011*	*$US de 2006*
Datos	**Estados Unidos**	**Reino Unido**	**Japon**	**Mexico**	**México**	**El Salvador**	**Ecuador**	**Guatemala**
Cálculos impuestos								
E^{PF}	0.06	0.06	19.00	0.18	0.05	0.05	0.05	0.02
$E^{PM}*\beta*M/F$	0.18	0.20	10.34	0.49	0.13	0.09	0.11	0.05
$E^{C}*\beta*M/F$	0.32	0.72	65.80	0.45	0.12	0.06	0.07	0.11
$E^{A}*\beta*M/F$	0.27	0.25	23.50	0.57	0.15	0.02	0.02	0.06
$\mathbf{MEC_F}$	**0.83**	**1.23**	**118.64**	**1.70**	**0.44**	**0.22**	**0.24**	**0.25**
$E^{PFajustado}$	0.05	0.05	18.45	0.17	0.046	0.046	0.042	0.02
$E^{PMajustado}$	0.16	0.17	10.04	0.47	0.12	0.09	0.09	0.05
$E^{cajustado}$	0.28	0.60	63.89	0.43	0.11	0.05	0.06	0.11
$E^{aajustado}$	0.24	0.21	22.82	0.55	0.14	0.02	0.02	0.06
$MEC_F^{ajustado}$	0.74	1.04	115.20	1.62	0.418	0.21	0.21	0.24
Ramsey	0.25	0.23	27.63	0.25	0.060	0.07	0.10	0.03
Congestion	0.01	0.07	0.00	0.01	0.003	0.00	0.00	0.00
$\mathbf{t^*_F}$	**1.01**	**1.34**	**142.82**	**1.9**	**0.48**	**0.28**	**0.31**	**0.28**
t_L	0.34	0.44	0.22	0.18	0.20	0.21	0.37	0.13
M/F	22.62	25.58	9.40	22.41	9.33	7.66	7.78	7.64
$\mathbf{t^*_{naïve}}$	**1.76**	**3.48**	**118.64**	**3.26**	**0.9**	**0.5**	**0.5**	**0.00**
$\mathbf{MEB_L}$	**1.11**	**1.18**	**1.03**	**1.05**	**1.05**	**1.05**	**1.14**	**1.03**
Cambio bienestar como % gasto en combustible en relación a tFo								
t^*_F	7.3%	23%	13%	15%	12.8%	0.6%	11.8%	0.4%
$t^*_{naïve}$	1.8%	-17%	12%	13%	11%	0.1%	10%	-1.6%
Contribuciones de externalidades al MEC_F								
Contaminación global	*7.2%*	*4.9%*	16.0%	10.7%	10.9%	21.9%	20.2%	8.9%
Contaminación loca	21.8%	16.7%	8.7%	29.1%	28.8%	43.3%	44.5%	20.9%
Congestión	38.2%	58.4%	55.5%	26.4%	26.3%	25.1%	27.5%	44.3%
Accidentes	32.7%	20.0%	19.8%	33.8%	33.9%	9.8%	7.9%	25.9%
Contribuciones de las tres partes del impuesto óptimo								
Externalidades	74%	77%	81%	86%	87%	73%	67%	87%
Impuesto de Ramsey	25%	17%	19%	13%	12%	26%	32%	12%
Feedback de congestión	1.0%	5.4%	0.0%	0.3%	0.6%	0.5%	1.2%	0.6%

Fuente: Elaboración propia.

Notas: ASHT es por Antón Sarabia y Hernández Trillo, mientras que HTAS son los mismos autores en el orden inverso. Las cifras en rojo son resultados calculados para este documento ya que los autores no las reportan. t_{naive} *corresponde a sumar los daños con β=1 (ningún impacto por cambio de precios).*

Parry y Small (2005) evalúan cuán cerca de la fórmula (2) están los impuestos a las gasolinas en el Reino Unido y en Estados Unidos. Para eso, toman valores de los distintos parámetros en ambos países y estiman el impuesto óptimo (t_F^*). Su conclusión es que el impuesto a las gasolinas que había en el momento de ese estudio era $US 0,4/galón en Estados Unidos y $US 2,8/galón en el Reino Unido, mientras que el impuesto que correspondería al tener en cuenta las externalidades y los efectos indirectos de la imposición serían $US 1,01/galón y $US 1,34/galón respectivamente. Si se fijara la tasa impositiva solamente basándose en el costo marginal, los valores serían $US 1,76/galón y $US 3,84/galón. También se encuentra que pasar del impuesto inicial al óptimo conlleva una ganancia de bienestar de 7,4% del gasto en combustibles previo a su fijación correcta en Estados Unidos y de 22,7% en Reino Unido, mientras que cambiar el impuesto a las gasolinas de la tasa inicial a una que considera solamente el daño marginal e ignora las interacciones, implicaría una ganancia mínima (1,8%) en Estados Unidos y una pérdida (17,9%) en el Reino Unido. Los mayores daños resultantes del uso de vehículos propulsados a gasolina son los causados por la congestión y los menores son los resultantes de los gases de efecto invernadero emitidos, tanto para los Estados Unidos como para el Reino Unido.

También para un país desarrollado como es Japón, Kawase (2011) calcula el impuesto óptimo a la gasolina usando la misma metodología de Parry y Small (2004). Los autores encuentran que el impuesto pigouviano debería ser ¥118.3/litro de gasolina mientras que el impuesto de segundo mejor sería ¥142.4/litro de gasolina, en contraposición a la tasa de ¥53.8/litro de gasolina. O sea que el impuesto que considere externalidades e interacciones debería ser 2.7 veces el vigente en el momento del estudio realizado por Kawase. En el caso de Japón, las mayores externalidades por conducir un vehículo también estarían dadas por la congestión. El impuesto de Ramsey en Japón es mayor en Japón que en Estados Unidos y el Reino Unido y eso se debe a que la elasticidad precio de la demanda de gasolina es mucho menor en el primer país que en los otros dos (0,2 versus 0,55 según la Tabla 5). Nótese que, en el caso de Japón, se supone que no hay mejoras de eficiencia inducidas por el impuesto a las gasolinas (β=1), si dicha hipótesis se cambiara, seguramente variarían los resultados, tal como el mismo autor lo admite.

Para México, un país de la región latinoamericana, hay al menos dos trabajos sobre impuestos óptimos a la gasolina: uno es el de Antón-Sarabia y Hernández-Trillo (2014) y otro el de Parry y Timilsina (2010). En el primer caso, se sigue el mismo esquema de Parry y Small (2004), mientras que, en el segundo, se trabaja con un modelo más sofisticado, que incluye distintos tipos de vehículos (autos, microbuses, buses y trenes). Los resultados de la Tabla 6 refieren al primero de los trabajos. En él, se encuentra que, el impuesto a fijar si se consideran los daños marginales y las interacciones es de $US 1,90/galón mientras que, al momento del trabajo, se subsidiaba la gasolina en $US 0,18/galón. De aplicarse dicho impuesto, el bienestar mejoraría 15%. Este trabajo es de los pocos que, además de fijarse en el cambio en el bienestar que induciría pasar a un impuesto como del discutido en el modelo de Parry y Small (2004), también calcula los cambios que ello implicaría en el consumo de combustibles, la eficiencia (M/F), el impuesto al trabajo y la oferta de trabajo. Se pudo replicar usando las ecuaciones de la Sección anterior de este documento, tanto el cambio de bienestar como el de consumo de combustible, que se estima bajaría 29% si se pasara a un impuesto de $US 1,90/galón en vez de un subsidio o, lo que es lo mismo, un impuesto de - $US 0,18/galón. Parry y Timilsina (2010), por su parte, calculan que sería deseable fijar un impuesto a la gasolina de $US 2,72/galón.

Para México, pero también para El Salvador y Ecuador, Hernández-Trillo y Antón Saravia (2014) hacen este mismo tipo de cálculos. Una de las virtudes de dicho trabajo para CEPAL es que detallan más que otros la manera de calcular los daños de las externalidades. Los autores encuentran que los impuestos a las gasolinas en dichos países son de -0,18, -0,0475, y 0,11 dólares por litro respectivamente. O sea, que tanto México como El Salvador subsidian a las gasolinas. Sin embargo, si se fijara un impuesto pigouviano puro (sin ningún ajuste), esas tasas impositivas deberían ser 0,44, 0,22 y 0,24 respectivamente. Si se consideran las externalidades, la restricción financiera del gobierno y los efectos de equilibrio general, los impuestos a la gasolina deberían fijarse en 0,48 $US/litro en México, 0,28 $US/litro en el Salvador y 0.31 $US/litro en Ecuador. Queda claro que subsidiar las gasolinas está lejos de ser la política óptima. Habría ganancias de bienestar por aplicar el impuesto óptimo que, en relación al gasto en el impuesto inicial, serían de 12,9% en México, 0,6% en El Salvador y 11,8% en Ecuador. Nótese que, en todos los casos el efecto congestión es relativamente bajo, mientras que el debido a la contaminación local es bastante alto.

Para Guatemala, otro país de la región, Antón-Sarabia y Hernández-Trillo (2019), estiman el impuesto óptimo en $US 0,275 dólares por litro. Como el impuesto vigente era $US 0,161/litro, el impuesto casi debería duplicarse (aumentaría 11,4 centavos por litro respecto al impuesto existente). En ausencia de distorsiones en el mercado laboral, el impuesto a la gasolina tendría que haber sido $US 0,248/litro). Pero, por las distorsiones que dicho impuesto genera, se hacen los tres ajustes que aparecen en base al modelo descripto: el primero baja la tasa impositiva 0,7 centavos/litro a la baja; el segundo ajuste (el componente de Ramsey) aumenta la tasa en 3,3 centavos/litro; y el efecto congestión y añade 0,1 centavos/litro a la estimación. Como en el resto de los casos, como puede verse en la Tabla 6, el componente Pigouviano es el más importante en el impuesto óptimo (74% o más del mismo). La ganancia en bienestar de pasar a poner un impuesto que considere externalidades e interacciones es de 0.4 % en términos del gasto en gasolina antes de impuestos. Pasar a un impuesto pigouviano que no considere las interacciones sería nocivo, aunque menos que en el caso del Reino Unido. En Guatemala, llevaría a una pérdida del bienestar del 1,6%, no del 17% como en el país europeo.

IV.B. Otras estimaciones de impuestos óptimos

A nivel subnacional, hay también varios trabajos: para el Estado de California en Estados Unidos (Lin y Prince, 2009); y para Canadá, específicamente Ontario y Toronto (Wood, 2015), así como para Montreal y Quebec (Dorval y Barla, 2017).

Lin y Prince (2009) amplían el modelo de Parry y Small (2004) para agregar la dependencia del petróleo como externalidad. De acuerdo con su análisis el impuesto óptimo a las gasolinas para el Estado de California debe ser $US 1,37/galón, tres veces el impuesto al momento de hacer el trabajo. El mismo tiene un componente Pigouviano de

$0.85/gal, el componente de la externalidad por congestión de requiere sumar $0.27, y a él le siguen en el siguiente orden los componentes de seguridad energética, externalidades por accidentes, contaminación local y global. El componente de Ramsey es $0.52 del impuesto.

Wood (2015) para Ontario y Toronto en Canadá también usan el modelo de Parry y Small (2004), pero le agregan a la restricción presupuestaria del gobierno un impuesto de suma fija. Como resultado de su análisis, sugieren un impuesto para el área de Toronto de 40,57 centavos de dólar canadiense por litro, lo que es mucho mayor que la tasa que estaba vigente (24,7 centavos/litro). Esas cifras para Ontario son 28,51 centavos/litro, apenas más alta que la que regía (24,7 centavos/litro). También para Canadá, pero en Quebec, Dorval y Barla (2017), siguiendo los lineamientos de Parry y Small (2014), pero modelando un poco distinto el flujo de tránsito, encuentran que, para la región metropolitana de Quebec, el impuesto óptimo debería ser 0,72 dólares canadienses de 2013/litro cuando es 0,65/litro: Y, debería ser $0,28/litro en el resto de la provincia. Como actualmente es de $0,292/litro, está muy cerca del óptimo.

Hay también otros trabajos que calculan impuestos óptimos para otros países o regiones. No se reportan en las Tablas 5 y 6 ya que usan modelos levemente diferentes, por lo que cambia la fórmula impositiva. El trabajo de Lin y Seng (2014) para China, por ejemplo, no considera el efecto feedback (interacción) de la congestión sobre la oferta laboral. Usando el componente pigouviano ajustado y el de Ramsey, los autores recomiendan un impuesto óptimo de $US 1,58/galón, 2,65 veces el vigente al momento de la elaboración de su trabajo. Tscharaktschiew (2014) para Alemania usa un modelo similar, pero agrega externalidades por ruido, permite la sustitución de vehículos ante un aumento del impuesto a los combustibles y la interacción del mismo con un impuesto al consumo y un impuesto al trabajo. Los autores concluyen que, en Alemania, que tiene altos niveles de impuestos a los combustibles (0,65 euros por litro), debería subirlos un 48% (hasta 0,96 euros por litro) si considerara todas las externalidades que causan los vehículos, así como las interacciones con el resto de la estructura impositiva.

Hay algunos otros artículos importantes para citar. Ese es el caso de Parry y Strand (2011), que calculan los impuestos óptimos para vehículos de pasajeros y camiones diésel en Chile. Además de considerar dos tipos de vehículos, usan un modelo que se extiende a externalidades por ruido y por daño a las rutas causados por los medios de transporte, pero no incorpora efectos interacción con el resto del sistema impositivo. Encuentran que el impuesto óptimo a la gasolina debería ser de $US 2.35/galón (son dólares de 2006), 60% más que el impuesto vigente al momento.

V. Conclusiones

El principal motivo que fundamenta la alta imposición a las gasolinas es la baja elasticidad de la demanda de combustible, lo que permite recaudar fácilmente. Con respecto a los motivos medioambientales, estos también alientan mayores niveles de imposición sobre combustibles. Sin embargo, el documento resalta que los impuestos a los combustibles no son un instrumento idóneo para atacar todas las diferentes externalidades que tienen alguna relación con el consumo de combustibles. También resalta la importancia de tomar en consideración los efectos de equilibrio general, que tienden a mitigar los argumentos de doble dividendo frecuentemente utilizados. Esto es, el efecto que el mayor precio final de combustibles podría tener en el comportamiento de otros mercados.

Sin embargo, el documento resalta que los impuestos a los combustibles no son un instrumento idóneo para atacar todas las diferentes externalidades que tienen alguna relación con el consumo de combustibles. También resalta la importancia de tomar en consideración los efectos de equilibrio general, que tienden a mitigar los argumentos de doble dividendo frecuentemente utilizados.

Casi todos los países del mundo cuentan con algún tipo de impuesto sobre los combustibles fósiles, pero en general las tasas impositivas son demasiado bajas en relación al óptimo. Esto es particularmente cierto en países de menores ingresos, donde es frecuente observar subsidios a los combustibles, con los efectos indeseables que ello tiene en las finanzas públicas.

Este trabajo detalla la derivación de impuestos óptimos a las gasolinas en base a unos pocos inputs, así como las consecuencias en el bienestar de fijar tasas subóptimas. En este sentido, brinda una herramienta útil para los hacedores de política que quieran comparar los impuestos vigentes con los que deberían fijarse si se tuviera en consideración cuestiones de eficiencia. Los cálculos pueden hacerse todos en planillas de cálculo.

Referencias

Antón Sarabia Arturo y Fausto Hernández Trillo, 2019. "Internalizando externalidades: El impuesto a la gasolina en Guatemala," Remef - Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF (The Mexican Journal of Economics and Finance), Instituto Mexicano de Ejecutivos de Finanzas, IMEF, 14(1): 1-20.

Antón Sarabia, Arturo y Fausto Hernández Trillo, 2014. "Optimal gasoline tax in developing, oil-producing countries: The case of Mexico," Energy Policy, 67(C): 564-571.

Baumol W.J. and W.E. Oates (1971), “The use of standards and process for protection of the environment”, Swedish Journal of Economics, 73: 42-54, March.

Bluffstone R.A. (2003), “Environmental Taxes in Developing and Transition Economies”, Public Finance and Management, Vol. 3, No.1.

Bovenberg A.L. (1999), “Environmental Taxation and the Double Dividend: An updated Reader´s Guide”, International Tax and Public Finance, 6: pp. 421-424.

Bovenberg A.L. and F. van der Ploeg (1994), “Environmental Plicy, Publica Finance and the Labor Market in a Second-Best World”, Journal of Public Economics, 55, pp. 349-70.

Bovenberg A.L. and L. H. Goulder (1996), “Optimal Environmental Taxation in the Presence of other Taxes: general Equilibrium Analyses”, American Economic Review, September.

Bovenberg A.L. and L. H. Goulder (1997), “Costs of Environmentally Motivated Taxes in the Presence of other taxes: General Equilibrium Analyses”, National Tax Journal, 50(1), March.

Bovenberg A.L. and R. A. de Mooij (1994), “Environmental Levies and Distortionary Taxation”, American Economic Review, 84(4), 1085-9.

Deaton, A. 1981. “Optimal Taxes and the Structure of Preferences.” Econometrica 49 (5): 1245-1260.

Dorval J. y P. Barla (2017). “Does Quebec Have the Right Gasoline Tac? An Empirical Investigation”. Canadian Public Policy.

Goulder L. H. y I. W. H. Parry (2008), "Instrument Choice in Environmental Policy," Review of Environmental Economics and Policy, Oxford University Press for Association of Environmental and Resource Economists, vol. 2(2), pages 152-174, Summer.

Goulder L.H. (1995), “Environmental Taxation and the Double Dividend: A Reader´s Guide”, International Tax and Public Finance, 6: pp. 157-183.

Goulder L.H. and I.W.H. Parry (2000), “Green Tax Reform and the Double-Dividend”, Resources for the Future.

Goulder L.H. y Roberton C. Williams III, (2003). "The Substantial Bias from Ignoring General Equilibrium Effects in Estimating Excess Burden, and a Practical Solution," Journal of Political Economy, University of Chicago Press, vol. 111(4), pages 898-927, August.

Harberger A. (1964), “Principles of Efficiency: the Measurement of Waste”, American Economic Review, Vol. 54, No. 3, pp.58-76.

Hernández Trillo, Fausto y Antón Sarabia, Arturo, 2014. "El impuesto sobre las gasolinas: una aplicación para el Ecuador, El Salvador y México," Documentos de Proyectos 597, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Kawase Akihiro, 2011. "Gasoline Tax Rates from the Perspective of Optimal Taxation Theory," Japanese Economy, Taylor & Francis Journals, vol. 38(4), pages 3-27.

Kolstad Charles, Intermediate Environmental Economics, Oxford University Press (2011). [international version of Environmental Economics, 2nd Ed].

Laffont J. J. (2018). Externalities. The New Palgrave Dictionary of Economics. 2018 Edition | Editors: Macmillan Publishers Ltd.

Layard, P; y Walters, A Microeconomic Theory Ed. Mc Graw- Hill 1978 (WL).

Lin Lawell, C.-Y. Cynthia & Zeng, Jieyin. (2014). The Optimal Gasoline Tax for China. Theoretical Economics Letters. 04: 270-278.

Lin, C.-Y. Cynthia y Prince, Lea, 2009. "The optimal gas tax for California," Energy Policy, 37(12): 5173-5183.

Lipsey R.G. and K. Lancaster (1956), “The General Theory of Second Best”, The Review of Economic Studies, Vol. 24, No. 1., 1956 - 1957, pp. 11-32.

Mas-Colell, Andreu; Whinston, Michael D.; Green, Jerry R. (1995). Microeconomic Theory. Oxford University Press.

Oates (1993), “Pollution Charges as Source of Public Revenue” en Herbert Giersch (ed), Economic Progress and Environmental Concerns, Berlin: Springer-Berlag, pp.135 - 52.

Parry I.W.H. (1995), “Pollution Taxes and Revenue Recycling”, Journal of Environmental Economics and Management, 29, pp. 64-77.

Parry, Ian & Bento, Antonio. (2001). Revenue Recycling and the Welfare Effects of Road Pricing. The Scandinavian Journal of Economics. 103. 645 - 671.

Parry, Ian & Oates, Wallace. (1998). Policy Analysis in a Second-Best World. Resources For the Future, Discussion Papers.

Parry, Ian W. H. and Small, Kenneth A. 2004. “Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax?” Resources for the Future, Discussion Paper: No. 02-12, revised 2004

Parry, Ian W. H. and Strand, Jon, International Fuel Tax Assessment: An Application to Chile (July 2011). IMF Working Paper No. 11/168.

Parry, Ian W. H. y Williams, R. (2004). The Death of the Pigovian Tax: Comment. Land Economics, 80(4), 575-581.

Parry, Ian W.H. y Timilsina, Govinda R., 2010. "How should passenger travel in Mexico City be priced?," Journal of Urban Economics, 68(2): 167-182.

Parry, Ian y Small, Kenneth. (2005). Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax?. American Economic Review. 95 (4): 1277-1289.

Pearce D. (1991), “The role of carbon taxes in adjusting to global warming”, The Economic Journal, Vol. 101, pp.938-948.

Pigou A.C. (1920) The Economics of Welfare Mc Millan, First Edition. London.

Prust, Jim, 2005. "Impuestos ambientales en los países en desarrollo," Libros de la CEPAL, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), number 2434.

Ramsey, F. P. (1927). "A Contribution to the Theory of Taxation". The Economic Journal. 37 (145): 47–61.

Russell, C., & Vaughan, W.J. (2003). The choice of pollution control policy instruments in developing countries: arguments, evidence and suggestions. in T.H. Tietenberg and H. Folmer (eds.) International Yearbook of Environmental and Resource Economics, Vol VII, Cheltenham, U.K.

Sandmo, Agnar. (1975). “Optimal Taxation in the Presence of Externalities”. Swedish Journal of Economics 77, pp. 86–98.

Terkla D. (1984), “The efficiency value of effluent tax revenues”, Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 11, pp. 107-23.

Tscharaktschiew, Stefan. 2014. Shedding light on the appropriateness of the (high) gasoline tax level in Germany, Economics of Transportation, 3(3):189-210,

Tullock, Gordon. (1967). “Excess Benefit”. Water Resources Research 3, 643–644.

Van Heerden J., R. Gerlagh, J. Blignaut, M. Horridge, S. Hess, R. Mabugu and M. Chitiga (2006), “Searching for triple dividends in South Africa: fighting CO2 pollution and poverty while promoting growth”, The Energy Journal, Vol. 27, No. 2.

Wood Joel, 2015. "Is It Time to Raise the Gas Tax? Optimal Gasoline Taxes for Ontario and Toronto," Canadian Public Policy, University of Toronto Press, 41(3): 179-190.

Anexo. Derivación del impuesto óptimo a la gasolina según el modelo de Parry y Small (2004)

En este Anexo se derivan el modelo de Parry y Small (2004) planteado en el documento. Para ello, se hacen una serie de pasos:

- En primer lugar, se parte de la resolución del problema de un agente económico representativo de la economía, que elige cuánto consumir de C, cuanto ociar (N), la distancia a manejar con su vehículo (M), el consumo de combustible (F) y otros gastos asociados a su automóvil (H), de forma tal de maximizar su utilidad sujeto a su restricción presupuestaria y de tiempo.
- En segundo lugar, se plantea el problema de óptimo, en el cual un regulador considera las externalidades que surgen del uso de la gasolina en los vehículos. Esto es, externalidades en términos de contaminación del aire global y local, congestión y accidentes que devienen de dicho uso.
- En tercer lugar, en base al planteo del regulador, él elige el impuesto a las gasolinas óptimo, que deviene de la maximización de la utilidad indirecta del consumidor representativo, considerando las externalidades.
- En cuarto lugar, en base a dicho impuesto óptimo, puede calcularse la mejora de bienestar que resulta de la imposición.
- Finalmente, en quinto lugar, se computan los cambios que resultan de la misma en las variables relevantes (el impuesto laboral, la oferta de trabajo, el ocio resultante, el consumo de combustible y las decisiones de manejo).

A.1. Resolución del problema del consumidor representativo

El consumidor maximiza utilidad dada su restricción presupuestaria y de tiempo, y elige C, N, M, F y H. El Lagrangiano es entonces:

$$\begin{gathered}\mathcal{L} = U[\psi(C, M, T, G), N] - \theta(P) - \delta(A) \\ +\mu[M(F, H) - M] \\ +\lambda[(w - t_L)(\bar{L} - N - \pi \cdot M) - C - (q_F + t_F)F - H]\end{gathered}$$

De allí, surgen las siguientes condiciones de primer orden:

$$C; \quad \frac{\partial U}{\partial \psi}\frac{\partial \psi}{\partial C} - \lambda = 0 \qquad (1)$$

$$N; \quad \frac{\partial U}{\partial \psi}\frac{\partial \psi}{\partial N} - \lambda(w - t_L) = 0 \qquad (2)$$

$$M; \quad \frac{\partial U}{\partial \psi}\frac{\partial \psi}{\partial M} + \frac{\partial U}{\partial \psi}\frac{\partial \psi}{\partial T}\pi - \mu - \lambda(w - t_L)\pi = 0 \qquad (3)$$

$$F; \quad \mu\frac{\partial M}{\partial F} - \lambda(q_F + t_F) = 0 \qquad (4)$$

$$H; \quad \mu\frac{\partial M}{\partial H} - \lambda = 0 \qquad (5)$$

De (1), puede deducirse que: $\boxed{\frac{U_C}{\lambda} = 1}$

De (2) surge que $\boxed{\frac{U_N}{\lambda} = w - t_L}$

Despejando y multiplicando (4) por F y (5) por H, queda:

$$F\lambda(q_F + t_F) = F\mu\frac{\partial M}{\partial F}$$
$$H\lambda = H\mu\frac{\partial M}{\partial H}$$

Y, sumando ambas miembro a miembro, se obtiene:

$$(q_F + t_F)F + H = \frac{\mu}{\lambda}\left[\frac{\partial M}{\partial F}F + \frac{\partial M}{\partial H}H\right] \qquad (6)$$

Dividiendo (6) por M y usando el Teorema de Euler, según el cual M = $\left[\frac{\partial M}{\partial F}F + \frac{\partial M}{\partial H}H\right]$, resulta:

$$\boxed{\frac{\mu}{\lambda} = (q_F + t_F)\frac{F}{M} + \frac{H}{M}} \qquad (7)$$

Reexpresando (3):

$$U_M + U_T\pi - \mu - \lambda(w - t_L)\pi = 0$$
$$\frac{U_M}{\lambda} = \frac{\mu}{\lambda} + \pi\left[w - t_L - \frac{U_T}{\lambda}\right]$$

Luego, introduciendo la ecuación (7) en $\frac{\mu}{\lambda}$, resulta:

$$\frac{U_M}{\lambda} = (q_F + t_F)\frac{F}{M} + \frac{H}{M} + \pi\left[w - t_L - \frac{U_T}{\lambda}\right] \longrightarrow \boxed{\frac{U_M}{\lambda} = p_M}$$

Esta última ecuación indica que el individuo elige los kilómetros que va a viajar en su vehículo (*M*) igualando el valor que estos tienen (en términos de utilidad) con el costo de los mismos (esto es, lo que le cuesta la gasolina más los otros gastos por viajar en el automóvil, y a eso se le suma el costo de oportunidad del tiempo manejando, el cual está valuado en $v = w - t_L - \frac{U_T}{\lambda}$).[13]

Combinando las condiciones de primer orden con las restricciones del problema del agente representativo, resultan las siguientes demandas:[14]

$$C(p_M, t_L) \qquad M(p_M, t_L) \qquad L(p_M, t_F) \qquad F = \alpha_{FM}(t_F)M(p_M, t_L)$$
$$H = \alpha_{HM}(t_F)\, M(p_M, t_L), \text{ con } p_M(t_F, \pi, t_L)$$

Reemplazando estas demandas en el problema, se obtiene la utilidad indirecta del agente representativo.

A.2. Incorporación de la restricción presupuestaria del gobierno y de las externalidades dentro del problema

El regulador elige el impuesto a las gasolinas (t_F) que maximice la utilidad social considerando las externalidades y que el impuesto a las gasolinas no solamente impacta sobre el consumo de la misma, sobre la distancia viajada, sino que cambia el impuesto al trabajo y por eso afecta la oferta del mismo.

Partiendo de la restricción del gobierno $t_L L + t_F F = G$, con G constante, queda claro que t_L también va a depender de t_F. Efectivamente, diferenciando totalmente la restricción de gasto del gobierno respecto a t_F resulta:

$$L\frac{dt_L}{dt_F} + t_L\frac{dL}{dt_F} + F + t_F\frac{dF}{dt_F} = 0$$

Reacomodando esta expresión, puede verse que:

$$\frac{dt_L}{dt_F} = -\frac{F + t_F\frac{dF}{dt_F} + t_L\frac{dL}{dt_F}}{L}$$

Considerando esto en la función de utilidad indirecta, y sabiendo que T, P y A dependen de toda la sociedad, lo que para el consumidor era exógeno ($\bar{F}$ y $\bar{M}$), deja de serlo en el problema de óptimo social.
Entonces, ahora, la utilidad indirecta es:

[13] Nótese que, si el individuo percibe algo de utilidad viajando (si $U_T > 0$), el valor del tiempo es menos que el salario neto.

[14] Nótese que, por la homogeneidad de *M*, las fracciones de *H* y *F* respecto a *M* solo dependen de los precios, y como todos están dados, salvo t_F, solo son función de t_F.

$$V = U\left[\psi\left(C, M, \underbrace{\pi(M)M}_{=T}, G\right), N\right] - \theta(P_F F + P_M M) - \delta[A(M)]$$
$$+\mu[M(F,H) - M]$$
$$+\lambda[(w - t_L)(\bar{L} - N - \pi(M)m) - C - (q_F + t_F)F - H]$$

El regulador elige el impuesto a las gasolinas (t_F) que maximice la utilidad social. Entonces, tiene que hacer $\frac{dV}{dt_F} = 0$.
La derivada es:

$$\frac{dV}{dt_F} = U_C\frac{dC}{dt_F} + U_M\frac{dM}{dt_F} + U_T\pi'\frac{dM}{dt_F}M + U_T\pi\frac{dM}{dt_F} + U_G\frac{dG}{dt_F} + U_N\frac{dN}{dt_F}$$
$$-\phi' p_F\frac{dF}{dt_F} - \phi' p_M\frac{dM}{dt_F} - \delta' A'\frac{dM}{dt_F} + \mu\frac{\partial M}{\partial F}\frac{dF}{dt_F} - \mu\frac{d\mu}{dt_F} + \mu\frac{\partial M}{\partial H}\frac{dH}{dt_F}$$
$$-\lambda\frac{dt_L}{dt_F}L + \lambda(w - t_L)\left[-\frac{dN}{dt_F} - \pi'\frac{dM}{dt_F}M - \pi\frac{dM}{dt_F}\right] - \lambda\frac{dC}{dt_F} - \lambda F - \lambda(q_F + t_F)\frac{dF}{dt_F} - \lambda\frac{dH}{dt_F}$$

Dado que el gasto es constante, $\frac{dG}{dt_F} = 0$. Luego, se simplifican varios términos usando las condiciones de primer orden:

- $U_C\frac{dC}{dt_F}$ con $-\lambda\frac{dC}{dt_F}$ ya que por la condición de primer orden de C: $U_C = \lambda$
- $+U_N\frac{dN}{dt_F}$ con $\lambda(w - t_L)(-\frac{dN}{dt_F})$ ya que por la condición de primer orden de N: $U_N = \lambda(w - t_L)$
- $\mu\frac{\partial M}{\partial H}\frac{dH}{dt_F}$ con $-\lambda\frac{dH}{dt_F}$ ya que por la condición de primer orden de H: $\mu\frac{\partial M}{\partial H} = \lambda$.

Haciendo factor común en la expresión simplificada, resulta:

$$\frac{dV}{dt_F} = \frac{dM}{dt_F}[U_M + U_T\pi' M + U_T\pi - \phi' p_M' - \delta' A' - \mu - \lambda(w - t_L)\pi' M - \lambda(w - t_L)\pi]$$
$$+\frac{dF}{dt_F}\left[-\phi' p_F + \mu\frac{\partial M}{\partial F} - \lambda(q_F + t_F)\right] - \lambda\frac{dt_L}{dt_F}L - \lambda F$$

Como de las últimas tres condiciones del agente representativo se concluyó que $\frac{U_M}{\lambda} = \frac{\mu}{\lambda} + \pi\left[w - t_L - \frac{U_T}{\lambda}\right]$, pueden simplificarse los siguientes términos: $U_M, +U_T\pi$ con $-\mu$ $-\lambda(w - t_L)\pi$. Luego, por la condición de primer orden de F, se vio que $\mu\frac{\partial M}{\partial F} = \lambda(q_F + t_F)$. Eso permite que también se simplifique $+\mu\frac{\partial M}{\partial F}$ con $-\lambda(q_F + t_F)$.

Luego, con la fórmula que queda, sumando y restando $\lambda t_F\frac{dF}{dt_F}$, dividiendo todo por λ, y teniendo en cuenta lo que resultaba de la restricción presupuestaria del gobierno ($\frac{dt_L}{dt_F}L = -F + t_F\frac{dF}{dt_F} + t_L\frac{dL}{dt_F}$) puede concluirse que:

$$\frac{1}{\lambda}\frac{\partial V}{\partial t_F} = -\frac{dM}{dt_F}\left[\frac{\phi' p_M'}{\lambda} + \frac{\delta' A'}{\lambda} + \left(w - t_L - \frac{U_T}{\lambda}\right)\pi' M\right] - \frac{dF}{dt_F}\left[\frac{\phi' p_F'}{\lambda} - t_F\right] + t_L\frac{dL}{dt_F} \qquad (8)$$

Antes de igualar a cero la expresión (8), conviene trabajar un poco más el último término ($t_L\frac{dL}{dt_F}$), que es justamente el que expresa la interacción entre el impuesto a los combustibles y el mercado laboral. Para ello, se parte de la oferta de trabajo $L[p_M(t_F, \pi, t_L), t_L]$, la cual se deriva respecto al impuesto a la gasolina y resulta:

$$\frac{dL}{dt_F} = \frac{\partial L}{\partial t_F} + \frac{\partial L}{\partial \pi}\frac{d\pi}{dt_F} + \frac{\partial L}{\partial t_L}\frac{dt_L}{dt_F} \qquad (9)$$

Poniendo (9) en la restricción del gobierno:

$$\frac{dt_L}{dt_F} = -\frac{F + t_F\frac{dF}{dt_F} + t_L\left[\frac{\partial L}{\partial t_F} + \frac{\partial L}{\partial \pi}\frac{d\pi}{dt_F}\right]}{L + t_L\frac{dL}{dt_L}} \qquad (10)$$

Remplazando (10) en (9) y multiplicando por t_L, resulta:

$$t_L \frac{dL}{dt_F} = t_L \frac{\partial L}{\partial t_F} + t_L \frac{\partial L}{\partial \pi} \frac{d\pi}{dt_F} + t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}\left(-\frac{F + t_F \frac{dF}{dt_F} + t_L \frac{\partial L}{\partial t_F} + t_L \frac{\partial L}{\partial \pi} \frac{\partial \pi}{\partial t_F}}{L + t_L \frac{dL}{dt_L}}\right) \quad (11)$$

Haciendo denominador común en (11), resulta:

$$t_L \frac{dL}{dt_F} = \frac{t_L \frac{\partial L}{\partial t_F}\left(L + t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}\right) + t_L \frac{\partial L}{\partial \pi} \frac{\partial \pi}{\partial t_F}\left(L + t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}\right) - t_L \frac{\partial L}{\partial t_L} F - t_L \frac{\partial L}{\partial t_L} t_F \frac{\partial F}{\partial t_F} - t_L \frac{\partial L}{\partial t_L} t_L \frac{\partial L}{\partial t_F} - t_L \frac{\partial L}{\partial t_L} t_L \frac{\partial L}{\partial \pi} \frac{\partial \pi}{\partial t_F}}{L + t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}}$$

Simplificando $+t_L \frac{\partial L}{\partial \pi} \frac{\partial \pi}{\partial t_F} t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}$ con $-t_L \frac{\partial L}{\partial t_L} t_L \frac{\partial L}{\partial \pi} \frac{\partial \pi}{\partial t_F}$, y $t_L \frac{\partial L}{\partial t_F} t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}$ con $-t_L \frac{\partial L}{\partial t_L} t_L \frac{\partial L}{\partial t_F}$, reordenando la expresión, surge que:

$$t_L \frac{dL}{dt_F} = \frac{-t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}}{l + t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}} t_F \frac{\partial F}{\partial t_F} + \frac{t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}\left(\frac{\partial L}{\partial t_F} L - \frac{\partial L}{\partial t_L} F + L \frac{\partial L}{\partial \pi} \frac{\partial \pi}{\partial t_F}\right)}{\left(L + t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}\right) \frac{\partial L}{\partial t_L}} \quad (11´)$$

Ahora puede definirse a MEB_L, que lleva esas siglas por ser la carga marginal del impuesto al trabajo (en inglés, el *marginal excess burden of labor taxation):*

$$MEB_L = \frac{-t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}}{L + t_L \frac{\partial L}{\partial t_L}}$$

MEB_L es el costo en términos de bienestar de un aumento en t_L (el numerador) medido en términos de ingreso marginal del gobierno (el denominador).

Ahora bien, dividiendo y multiplicando numerador y denominador por $(w - t_L)$ y dividiendo cada uno de ellos por L, resulta la misma expresión, ahora escrita con elasticidades.

$$MEB_L = \frac{-t_L \frac{\partial L}{\partial t_L} \frac{(w - t_L)}{(w - t_L)} \frac{1}{L}}{L + t_L \frac{\partial L}{\partial t_L} \frac{(w - t_L)}{(w - t_L)} \frac{1}{L}} \quad = \frac{t_L \varepsilon_{LL}}{1 - t_L(1 + \varepsilon_{LL})}$$

Donde ε_{LL} es la elasticidad de la oferta laboral ante cambios en el impuesto al trabajo. Más concretamente:

$$\varepsilon_{LL} = -\frac{\partial L}{\partial t_L} \frac{(w - t_L)}{L}$$

Volviendo a (11´), esta se puede reescribir como:

$$t_L \frac{dL}{dt_F} = MEB_L t_F \frac{\partial F}{\partial t_F} - \frac{MEB_L}{\frac{\partial L}{\partial t_L}} \underbrace{\left[\underbrace{\frac{\partial L}{\partial t_F} L - \frac{\partial L}{\partial t_L} F}_{(A)} + \underbrace{L \frac{\partial L}{\partial \pi} \frac{\partial \pi}{\partial t_F}}_{(B)}\right]}_{(C)} \quad (12)$$

Recordando que:

$$p_M = (q_F + t_F) \frac{F}{M} + \frac{H}{M} + \pi \left[w - t_L - \frac{U_T}{\lambda}\right]$$

Y también que:

$C(p_M, t_L)$ $\quad$ $M(p_M, t_L)$ $\quad$ $L(p_M, t_F)$ $\quad$ $F = \alpha_{FM}(t_F) M(p_M, t_L)$

$H = \alpha_{HM}(t_F)\, M(p_M, t_L)$ $\quad$ $p_M(t_F, \pi, t_L)$

Y que derivando estas expresiones pueden encontrarse algunos de los términos de (C) en (12). Específicamente:

$$\frac{\partial L}{\partial t_F} = \frac{\partial L}{\partial p_M} \underbrace{\alpha_{FM}}_{\frac{\partial p_M}{\partial t_F}} \qquad \frac{\partial L}{\partial \pi} = \frac{\partial L}{\partial p_M} \underbrace{v}_{\frac{\partial p_M}{\partial t_\pi}} \qquad \frac{d\pi}{dt_F} = \pi' \frac{dM}{dt_F} \quad (13)$$

Luego, por la ecuación de Slutzky en *L*:

$$\frac{\partial L}{\partial p_M} = \frac{\partial L^c}{\partial p_M} - \frac{\partial L}{\partial I} M \qquad \frac{\partial L}{\partial t_L} = \frac{\partial L^c}{\partial t_L} - \frac{\partial L}{\partial I} L \quad (14)$$

Por simetría de la matriz de Slutzky:
$\frac{\partial L^c}{\partial p_M} = \frac{\partial M^c}{\partial t_L}$ (15)

De Layard y Walters (1978, pág 166)
$\frac{\partial M^c}{\partial t_L} = \frac{\partial M}{\partial I}(w - t_L)\frac{\partial L^c}{\partial t_L}$ (16)

Sabiendo además que:

- El ingreso del consumidor representativo está dado por: $I = (w - t_L)L$
- El daño que una mayor distancia recorrida por los vehículos genera en términos de congestión es: $E^c = v\pi' M$
- Y que la elasticidad de la demanda de distancia recorrida respecto al ingreso es: $\eta_{MI} = \frac{\partial M}{\partial I}\frac{I}{M}$,

se puede probar que:
$\frac{\partial L}{\partial t_F}L - \frac{\partial L}{\partial t_L}F = F\frac{\partial L^c}{\partial t_L}\left(\frac{\partial M}{\partial I}\frac{I}{M} - 1\right)v$ (A)
$L\frac{\partial L}{\partial \pi}\frac{\partial \pi}{\partial t_F} = \left(\frac{\partial M}{\partial I}\frac{I}{M}\frac{\partial L^c}{\partial t_L} - \frac{\partial L}{\partial I}L\right)v\pi' M\frac{dM}{dt_F}$ (B)

Concretamente, para deducir (A):
De la primera ecuación (13) se sabe que: $\frac{\partial L}{\partial t_F} = \frac{\partial L}{\partial p_M}\frac{F}{M}$
Despejando: $M\frac{\partial L}{\partial t_F} = \frac{\partial L}{\partial p_M}F$
Usando (15) y (16), surge que: $M\frac{\partial L}{\partial t_F} = \left(\frac{\partial L^c}{\partial p_M} - \frac{\partial L}{\partial I}M\right)F$
Dividiendo todo por M: $\frac{M}{M}\frac{\partial L}{\partial t_F} = \left[\frac{\partial M}{\partial I}(w - t_L)\frac{\partial L^c}{\partial t_L}\frac{1}{M} - \frac{\partial L}{\partial I}\frac{M}{M}\right)F$
Multiplicando todo por L: $L\frac{\partial L}{\partial t_F} = \frac{\partial M}{\partial I}(w - t_L)L\frac{\partial L^c}{\partial t_L}\frac{F}{M} - \left(\frac{\partial L^c}{\partial t_L}\frac{1}{L} - \frac{\partial L}{\partial t_L}\frac{1}{L}\right)FL$
Usando la definición del ingreso del agente, haciendo factor común y despejando, se obtiene:
$$\frac{\partial L}{\partial t_F}L - \frac{\partial L}{\partial t_L}F = F\frac{\partial L^c}{\partial t_L}\left(\frac{\partial M}{\partial I}\frac{I}{M} - 1\right)$$

A su vez, para deducir (B):
De la segunda ecuación de (13), surge que: $\frac{\partial L}{\partial p_M} = \frac{\partial L}{\partial \pi}\frac{1}{v}$
De la segunda ecuación (14) y de la (15), esta expresión se puede reescribir como: $\frac{\partial M^c}{\partial t_L} - \frac{\partial L}{\partial I}M = \frac{\partial L}{\partial \pi}\frac{1}{v}$
Considerando la ecuación (16), esto se puede reescribir como: $\frac{\partial M}{\partial I}(w - t_L)\frac{\partial L^c}{\partial t_L} - \frac{\partial L}{\partial I}M = \frac{\partial L}{\partial \pi}\frac{1}{v}$
Pasando v al término de la izquierda y multiplicando todo por L y dividiendo todo por M, se puede llegar a: $v\left[\frac{\partial M}{\partial I}\frac{(w-t_L)}{M}L\frac{\partial L^c}{\partial t_L} - \frac{\partial L}{\partial I}\frac{M}{M}L\right] = \frac{\partial L}{\partial \pi}\frac{L}{M}$
Luego, se simplifica y se multiplican ambos lados por $\frac{\partial \pi}{\partial t_F}$, para llegar a:
$$vM\left[\frac{\partial M}{\partial I}\frac{I}{M}\frac{\partial L^c}{\partial t_L} - \frac{\partial L}{\partial I}L\right]\frac{\partial \pi}{\partial t_F} = L\frac{\partial L}{\partial \pi}\frac{\partial \pi}{\partial t_F}$$
Usando la tercera expresión de (13), esta fórmula queda como:
$$v\pi' M\frac{dM}{dt_F}\left[\frac{\partial M}{\partial I}\frac{I}{M}\frac{\partial L^c}{\partial t_L} - \frac{\partial L}{\partial I}L\right] = L\frac{\partial L}{\partial \pi}\frac{\partial \pi}{\partial t_F}$$

Ahora, antes de remplazando (A) y (B) en (12), se definen tres tipos de elasticidades de la oferta de trabajo, y la ecuación de Slutsky en forma de elasticidades, como para luego poder simplificar (12).
Las elasticidades son: la elasticidad compensada ante cambios en el impuesto al trabajo ($\epsilon_{LL}^c = -\frac{\partial L^c}{\partial t_L}\frac{(w-t_L)}{L}$) y la elasticidad de la oferta laboral respecto al ingreso disponible ($\eta_{LI} = \frac{\partial L}{\partial I}\frac{I}{L}$). La ecuación de Slutsky en términos de elasticidades surge de tomar la derivada de L con respecto a t_L y multiplicar y dividir todo por $(w - t_L)$ y L. De allí:

$$\frac{\partial L}{\partial t_L}\frac{(w-t_L)}{L}=\frac{\partial L^c}{\partial t_L}\frac{(w-t_L)}{L}-\frac{\partial L}{\partial I}\frac{L(w-t_L)}{L}$$

O, lo que es lo mismo:
$\epsilon_{LL}=\epsilon_{LL}^c-\eta_{LI}$ (17)

Ahora sí, volviendo a (12), remplazando (A) y (B), usando la definición de η_{MI}, multiplicando y dividiendo por $\frac{(w-t_L)}{L}$, queda:

$$t_L\frac{dL}{dt_F}=MEB_L t_F\frac{\partial F}{\partial t_F}-\frac{MEB_L}{\frac{\partial L}{\partial t_L}\frac{(w-t_L)}{L}}\left\{\frac{w-t_L}{L}F\frac{\partial L^c}{\partial t_L}(\eta_{MI}-1)+\underbrace{\frac{(w-t_L)}{L}\left[v\pi' M\frac{dM}{dt_f}\left(\frac{\partial M}{\partial I}\frac{I}{M}\frac{\partial L^c}{\partial t_L}-\frac{\partial L}{\partial I}L\right)\right]}_{\text{D}}\right\} \quad (18)$$

Trabajando D distribuyendo dentro del paréntesis, queda:

$$\eta_{MI}\frac{\partial L^c}{\partial t_L}\frac{(w-t_L)}{L}-\frac{\partial L}{\partial I}\frac{L}{L}(w-t_L)$$
$$\eta_{MI}\epsilon_{LL}^c-\eta_{LI}$$

Usando Slutzky con elasticidades (ecuación (17)), se sabe que:

$$\eta_{MI}\epsilon_{LL}^c+(\epsilon_{LL}-\epsilon_{LL}^c)\Rightarrow\epsilon_{LL}-\epsilon_{LL}^c(1-\eta_{MI})$$

Con ese resultado, reescribiendo la ecuación (8), resulta que:

$$\frac{1}{\lambda}\frac{\partial V}{\partial t_F}=\left(\frac{\phi' p_F'}{\lambda}-t_F\right)\left(-\frac{dF}{dt_F}\right)+\left[\frac{\phi' p_M'}{\lambda}+\frac{\delta' A'}{\lambda}+v\pi' M\right]\left(-\frac{\partial M}{\partial t_F}\right)+MEB_L t_F\frac{\partial F}{\partial t_F}$$
$$-\frac{MEB_L}{\epsilon_{LL}}\{\epsilon_{LL}^c F(\eta_{MI}-1)+E^c\frac{dM}{dt_F}[\epsilon_{LL}-(1-\eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]\}$$

A.3. Deducción de la fórmula del impuesto óptimo

Para encontrar t_f que maximiza el bienestar, debe hacerse $\frac{1}{\lambda}\frac{\partial V}{\partial t_F}=0$. Para seguir expresando el resultado lo más posible en términos de elasticidades (esto, como se mencionó más arriba, se hace con miras en la aplicación práctica de la fórmula), se divide toda la expresión anterior por $\frac{\partial F}{\partial t_F}$, y queda:

$$\left(\frac{\phi' p_F'}{\lambda}-t_F\right)\left(-\frac{\frac{dF}{dt_F}}{\frac{\partial F}{\partial t_F}}\right)+\left[\frac{\phi' p_M'}{\lambda}+\frac{\delta' A'}{\lambda}+v\pi' M\right]\left(-\frac{\frac{\partial M}{\partial t_F}}{\frac{\partial F}{\partial t_F}}\right)+MEB_L t_F\frac{\frac{\partial F}{\partial t_F}}{\frac{\partial F}{\partial t_F}}-\frac{\frac{MEB_L}{\epsilon_{LL}}}{\frac{\partial F}{\partial t_F}}\{\epsilon_{LL}^c F(\eta_{MI}-1)$$
$$+E^c\frac{dM}{dt_F}[\epsilon_{LL}-(1-\eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]\}=0$$

Poniendo factor común a t_F y usando la elasticidad de la demanda de gasolina respecto a su impuesto ($\eta_{FF}=-\frac{dF}{dt_F}\frac{p_F}{F}$), y multiplicando el tercer término por surge p_F que:

$$t_F(1+MEB_L)=\frac{\phi' p_F'}{\lambda}+\left(\frac{\phi' p_M'}{\lambda}+\frac{\delta' A'}{\lambda}+v\pi' M\right)\frac{\left(\frac{\partial M}{\partial t_F}\right)}{\left(\frac{\partial F}{\partial t_F}\right)}$$
$$-\frac{MEB_L}{\epsilon_{LL}}\frac{1}{\frac{\partial F}{\partial t_f}\frac{p_F}{F}}[\epsilon_{LL}^c(\eta_{MI}-1)p_F]$$

$$+\frac{MEB_L}{\epsilon_{LL}}\frac{\left(\frac{\partial M}{\partial t_F}\right)}{\left(\frac{\partial F}{\partial t_F}\right)}E^c[\epsilon_{LL}-(1-\eta_{MI})\epsilon_{LL}^c] \quad (19)$$

Ahora hay que recordar la definición de MEB_L:

$$MEB_L=\frac{t_L\epsilon_{LL}}{1-t_L(1+\epsilon_{LL})}=\frac{t_{LL}\epsilon_{LL}}{1-t_{LL}-t_L\epsilon_{LL}}$$

Hay que reacomodar, pero antes derivar $\frac{\partial M}{\partial t_F}$ en base a $F = \alpha_{FM}(t_F)M(t_F, \pi, t_L; t_L)$, entonces derivando y multiplicando todo por $\frac{(q_F+t_F)}{F}$, surge que:

$$\frac{(q_F + t_F)}{F}\frac{dF}{dt_F} = \frac{F}{M}\frac{(q_F + t_F)}{F} + \alpha_{FM}M\frac{(q_F + t_F)}{F}$$

Usando que $\eta_{MF} = -\frac{\partial M}{\partial t_F}\frac{(q_f+t_F)}{M}$ y $\eta_{FF} = \frac{\partial F}{\partial t_F}\frac{(q_F+t_F)}{M}$

Se crea $\beta = \frac{\left(\frac{dM}{dt_F}\right)}{\left(\frac{\partial F}{\partial t_F}\right)}\frac{F}{M} = \frac{\left(\frac{dM}{dt_F}\right)}{\left(\frac{\partial F}{\partial t_F}\right)}\frac{\frac{(q_F+t_F)}{M}}{\frac{(q_F+t_F)}{F}} = \frac{\eta_{MF}}{\eta_{FF}}$. Es la fracción de la elasticidad por una baja en la distancia viajada ante t_F.

Ahora, se puede reemplazar $\frac{\beta}{\alpha_{FM}} = \frac{\left(\frac{\partial M}{\partial t_F}\right)}{\left(\frac{\partial F}{\partial t_F}\right)}$ en el segundo término de la ecuación (19). Reordenando la misma, resulta que:

$$t_F = \frac{1}{1 + MEB_L}\left[\frac{\phi' p_F'}{\lambda} + \left(\frac{\phi' p_M'}{\lambda} + \frac{\delta' A'}{\lambda} + v\pi' M\right)\frac{\beta}{\alpha_{FM}}\right] + \frac{(1-\eta_{MI})\epsilon_{LL}^c}{\eta_{FF}}\frac{p_F}{\epsilon_{LL}}\underbrace{\frac{t_L}{1-t_L}\epsilon_{LL}}_{\frac{MEB_L}{1+MEB_L}}$$

$$+\frac{t_L\epsilon_{LL}}{(1-t_L)}\frac{1}{\epsilon_{LL}}\frac{\left(\frac{\partial M}{\partial t_F}\right)}{\left(\frac{\partial F}{\partial t_F}\right)}E^c[\epsilon_{LL} - (1-\eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]$$

El último término puede simplificarse como:

$\frac{\beta}{\alpha_{FM}}E^c[\epsilon_{LL} - (1-\eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]\frac{t_L}{1-t_L}$

Entonces, el impuesto óptimo (que tiene en cuenta las externalidades y la restricción del gobierno) es:

$$t_F^* = \frac{\overbrace{\overbrace{E^{P_F} + (E^C + E^A + E^{P_M})\cdot\frac{\beta}{\alpha_{FM}}}^{MEC_F}}^{Imp.\ Pigou\ Ajust.}}{1 + \underbrace{\frac{-t_L\cdot\frac{\partial L}{\partial t_L}}{L + t_L\cdot\frac{\partial L}{\partial t_L}}}_{MEB_L}} + \overbrace{\frac{(1-\eta_{MI})\cdot\varepsilon_{LL}^c}{\eta_{FF}}\cdot\frac{t_L\cdot(q_F+t_F)}{1-t_L}}^{Imp.Ramsey} + \overbrace{\frac{\beta}{\alpha_{FM}}\cdot E^c\cdot\{\varepsilon_{LL} - (1-\eta_{MI})\cdot\varepsilon_{LL}^c\}\cdot\frac{t_L}{1-t_L}}^{Efecto\ Feedback\ Congestion} \quad (20)$$

Esta es justamente la fórmula que aplican todos los trabajos revisados sobre impuestos óptimos a la gasolina.

Como puede verse en (20), MEC_F es el daño marginal por el uso de combustible. El mismo tiene varios componentes: E^{P_F}; E^C; E^A; E^{P_M}, que son respectivamente los costos que el consumo de gasolinas implica en términos de emisiones de carbono, congestión, accidentes, y contaminación local.[15] Donde, $E^{P_F} = \frac{\theta'\cdot p_F'}{\lambda}$; $E^{P_M} = \frac{\theta'\cdot p_M'}{\lambda}$; $E^A = \frac{\delta'\cdot A'}{\lambda}$; $E^C = v\cdot\pi'\cdot M$; $v = w - t_L - \frac{U_T}{\lambda}$[16] y además $\beta = \frac{\eta_{MF}}{\eta_{FF}}$ donde η_{FF} es la elasticidad-precio de la demanda de gasolina y η_{MF} es la elasticidad de *VMT* respecto al precio de la gasolina; $\alpha_{FM} = \frac{F}{M}$. Los tres últimos términos E están expresados por kilómetro, y por eso se encuentran

[15] Una buena explicación sobre la manera en que se estiman esos costos puede verse en Hernández Trillo y Antón Sarabia (2014).

[16] La v incluye el costo de oportunidad del trabajo perdido y la utilidad por el tiempo de viaje, por lo cual el valor del tiempo puede ser menor que el salario neto de impuestos cuando la utilidad marginal de tiempo de viaje es positiva.

divididos por $\alpha_{FM} = \frac{F}{M}$ (eso significada que algo expresado en términos de M, se multiplica por M/F, para pasar a estar en unidades de combustible o F). Estos últimos términos también están multiplicados por β, que es la fracción de la elasticidad de demanda de gasolina cuando se reducen los KVV.[17] Sin embargo, contrariamente a la idea pigouviana de que el impuesto debe ser igual al daño marginal, en esta fórmula se muestra claramente que el daño marginal debe ser ajustado (dividido) por (1+MEB_L). MEB_Les la pérdida de bienestar por la imposición indirecta al trabajo, que resulta de poner un impuesto a las gasolinas, la cual está determinada por la interacción entre la tasa del impuesto (t_L) y la elasticidad de la oferta laboral sin compensar (ε_{LL}). La intuición es que un ajuste el impuesto a la gasolina, que tiene una base imponible chica en relación al impuesto al trabajo, no permite compensar todo el impuesto sino parte, y ese cambio distorsiona el mercado laboral.

El segundo componente del impuesto es el de Ramsey (Sandmo 1976; Deaton 1981). Ocurre cuando el ocio en la función de utilidad es separable débilmente de los kilómetros viajados. Eso significa que $\eta_{MI} < 1$, dónde η_{MI} es la elasticidad de la distancia viajada por vehículo (*VMT*) respecto al ingreso disponible, ε_{LL}^c es la elasticidad precio compensada de la oferta de trabajo. Este componente incluye lo que en la literatura de economía ambiental se denomina Efecto Reciclado y Efecto Interacción, que se repasó en la Sección anterior de este documento. El primero refleja las ganancias de eficiencia que surgen de usar los ingresos del impuesto a las gasolinas para reducir los impuestos (distorsivos) al trabajo, mientras que el segundo es la pérdida de eficiencia porque de la imposición a las gasolinas resulta una baja del salario real de los trabajadores, que conduce a una disminución en la oferta de trabajo. Cuando más débil es esa relación, más se pueden gravar las gasolinas, tal como lo sugiere la regla de Ramsey (1927). La misma establece que, cuando hay restricciones de financiamiento, y entonces hay que distorsionar algunos mercados que son competitivos para conseguirlo, la manera de hacerlo de forma "cuasi-optima" es gravar más los bienes cuya demanda es más inelástica (eso es lo que ocurre generalmente cuando un bien tiene pocos sustitutos).

El tercer componente es el relacionado con efecto positivo de que al aumentar el impuesto a los combustibles se reduce la congestión y eso implica más tiempo para el trabajo y para el ocio (Parry y Bento, 2001). Esto genera más bienestar, por lo cual va en la dirección de poder gravar más a las gasolinas. El tamaño de este efecto depende en parte de la ε_{LL} elasticidad precio de la oferta de trabajo.

Nótese que la contaminación y los accidentes están puestos en forma separable en la utilidad, con lo cual no es de esperar un efecto feedback de estos. Esta hipótesis hace que no haya efectos sobre la oferta de trabajo relacionados con cambios en la salud (y, por ende, en la oferta de trabajo) significativos cuando se modifican los niveles de contaminación y la ocurrencia de accidentes.

Pero, como queda claro de observar la fórmula (20), el impuesto, además de estar a la izquierda de la expresión, también está a la derecha. Esto ocurre porque tanto $t_L(t_F)$ como $\alpha_{FM}(t_F)$ son endógenos. Por eso, además de (20), hay que considerar que:

Para empezar, partiendo de la restricción del gobierno:

$$t_L L + t_F F = G$$

$$t_L = \frac{G}{L} - t_F \frac{F}{L}$$

$$\boxed{t_L = \alpha_G - \frac{t_F}{q_F}\alpha_F} \text{ con } \alpha_G = \frac{G}{L} \text{ y } \alpha_F = q_L \frac{F}{L} \quad (21)$$

Nótese que como la función de producción se supone lineal α_G y α_F también son la fracción del gasto del gobierno y la fracción de gasto en combustible en relación a la producción.

Luego, $\alpha_{FM}(t_F)$ se puede aproximar por una fórmula de elasticidad constante:

$$\boxed{\frac{M}{F} = \frac{M^0}{F^0}\left(\frac{q_F+t_F}{q_F+t_F^0}\right)^{-(\eta_{MF}-\eta_{FF})}} \quad (22)$$

La eficiencia de combustible inicial ($\boxed{\frac{M^0}{F^0}}$) depende de la eficiencia de cada vehículo que compone el parque vehicular, la cual está relacionada con el tipo de vehículo y la edad de los mismos. En última instancia, también depende del mantenimiento de los vehículos, pero ese dato no es fácil de captar.

En resumen, para calcular el impuesto óptimo, hay que resolver simultáneamente (20), (21) y (22). Eso solamente se puede hacer numéricamente. En los artículos que se calcula se hace así. En la próxima sección de documento, se replican dichos resultados usando el Add-in Solver de Excel, el cual permite resolver ecuaciones no lineales. Esta fue la forma más fácil que se encontró para solucionar el problema.

[17] Si la eficiencia de los combustibles es fija, el uso de combustibles cambia en proporción al KVV, entonces $\beta = \frac{\eta_{MF}}{\eta_{FF}} = 1$. Sin embargo, generalmente, solo una parte de la respuesta a cambios de precios viene por modificaciones en KVV, con lo cual $\beta < 1$. La otra parte es por ajustes en el tipo de vehículos. Ante aumentos del precio de los combustibles, las personas ajustan comprando vehículos más eficientes. Eso hay que considerarlo para no sobreestimar el impuesto.

A.4. Cambio en el bienestar con distintos niveles de impuesto, incluyendo el pigouviano simple y el óptimo[18]

Partiendo de la fórmula (8), y definiendo, además del daño por la congestión ($E^c = \nu \cdot \pi' \cdot M;\ \nu = w - t_L - \frac{U_T}{\lambda}$) definido más arriba, a $E^{p_F} = \frac{\theta' \cdot p_F'}{\lambda};\ E^{p_M} = \frac{\theta' \cdot p_M'}{\lambda};\ E^A = \frac{\delta' \cdot A'}{\lambda}$, que son respectivamente los costos que el consumo de gasolinas implica en términos de emisiones de carbono, así como los daños por accidentes, y contaminación local que se generan a medida que los viajes se hacen más largos.

$\frac{1}{\lambda}\frac{dV}{dt_F} = (E^{p_F} - t_F)\left(-\frac{dF}{dt_F}\right) + (E^c + E^A + E^{p_M})\left(-\frac{dM}{dt_F}\right) + t_L\frac{dL}{dt_F}$ (23)

Poniendo factor común en (23) a $-\frac{dF}{dt_F}$, resulta:

$$\frac{1}{\lambda}\frac{dV}{dt_F} = \frac{dW}{dt_F} = \left(-\frac{dF}{dt_F}\right)\left\{(E^{p_F} - t_F) + \frac{\frac{dM}{dt_F}}{\frac{dF}{dt_F}}(E^c + E^A + E^{p_M})\right\} + t_L\frac{dL}{dt_F}$$

siendo λ la utilidad marginal del ingreso y W el bienestar.

Usando las definiciones de las elasticidades $\eta_{FF} = -\frac{dF}{dt_F}\frac{p_F}{F}$; $\eta_{MF} = -\frac{dM}{dt_F}\frac{p_F}{M}$, $MEC_F = E^{p_F} + \frac{\eta_{MF}}{\eta_{FF}}\frac{M}{F}(E^c + E^A + E^{p_m})$. Luego, multiplicando el primer término arriba y abajo por $\frac{p_F}{F}$, resulta:

$$\frac{1}{\lambda}\frac{dV}{dt_F} = \frac{-\frac{dF}{dt_F}}{\frac{p_F}{F}}\frac{p_F}{F}[MEC_F - t_F] + t_L\frac{dL}{dt_F}$$

Recordando nuevamente la definición de η_{FF}, se llega a que

$\frac{1}{\lambda}\frac{dV}{dt_F} = \frac{F\eta_{FF}}{p_F}[MEC_F - t_F] + t_L\frac{\partial L}{\partial t_F}$ (24)

Ahora, sabiendo que $p_F = q_F + t_F$ y teniendo las condiciones que obtuvimos a partir de (19) (los 3 términos) y sabiendo que en el último término hay que reemplazarlo por la fórmula (18)

$$\frac{1}{\lambda}\frac{dV}{dt_F} = \frac{F\eta_{FF}}{p_F}(MEC_F - t_F) + \{MEB_L t_F\frac{dF}{d_F} + \frac{MEB_L}{\epsilon_{LL}}\left[\epsilon_{LL}^C F(\eta_{MI} - 1) + E^c\frac{dM}{dt_F}(\epsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c)\right]\}$$

Ahora se tratan por separado los términos en la primera línea de los de la segunda línea de la última ecuación.

Primero:

$$MEC_F\frac{F\eta_{FF}}{p_F} - t_F\frac{F\eta_{FF}}{p_F} + t_F MEB_L\frac{dF}{dt_F}$$

Poniendo factor común a $\frac{F\eta_{FF}}{p_F}$, resulta:

$$\frac{F\eta_{FF}}{p_F}[MEC_F - t_F(1 + MEB_L)]$$

Segundo, definiendo $\tau_L = \frac{t_L}{1-t_L}$ y siendo $MEB_L = \frac{\tau_L\epsilon_{LL}}{1-\tau_L-\epsilon_{LL}}$

$$\frac{\tau_L\epsilon_{LL}}{\epsilon_{LL}(1 - \tau_L\epsilon_{LL})}\frac{F\eta_{FF}}{p_F}\left[\frac{\epsilon_{LL}^c(1 - \eta_{MI})p_F}{\eta_{FF}} + \frac{E^c}{\eta_{FF}}\frac{\frac{dM}{dt_F}}{\frac{F}{M}}\frac{p_F}{M}(\epsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c)\right]$$

Simplificando las ϵ_{LL} , *s*iendo $\beta = \frac{\eta_{MF}}{\eta_{FF}}$ y $\alpha_{FM} = \frac{F}{M}$, se puede volver a escribir como:

$$\frac{1}{\lambda}\frac{dV}{dt_F} = \frac{F\eta_{FF}}{p_F}\left[MEC_F - t_F(1 + MEB_L) + \frac{\tau_L}{1 - \tau_L\epsilon_{LL}}\left[\frac{(1 - \eta_{MI})}{\eta_{FF}}p_F\epsilon_{LL}^c - \frac{E^c\beta}{\alpha_{FM}}[\epsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]\right]\right]$$

Sabiendo que Siendo $1 + MEB_L = \frac{1-\tau_L\epsilon_{LL}+\tau_L\epsilon_{LL}}{1-\tau_L\epsilon_{LL}} = \frac{1}{1-\tau_L\epsilon_{LL}}$, se puede hacer factor común $1 + MEB_L$, para llegar a:

$(1 + MEB_L)\frac{F\eta_{FF}}{p_F} = \left[\frac{MEC_F}{1+MEB_L} - t_F + \frac{(1-\eta_{MI})\epsilon_{LL}^c}{\eta_{FF}}\frac{t_L(q_F+t_F)}{1-t_L} + \frac{\beta}{\alpha_{FM}}E^c[\epsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]\right]$, que resulta:

[18] También suele llamárselo *naive*, que significa inocente en francés, *al impuesto pigouviano simple*.

$$\boxed{\frac{1}{\lambda}\frac{dV}{dt_F} = (1 + MEB_L)\left(-\frac{dF}{dt_F}\right)(t_F^* - t_F)}$$

El cambio en el bienestar también se puede expresar como una proporción de los costos iniciales (antes de t_F) por combustible

$$\boxed{\frac{1}{q_F^0F^0}\frac{1}{\lambda}\frac{dV}{dt_F} = (1 + MEB_L)\left(\frac{\eta_{FF}}{q_F(q_F+t_F)}\frac{F}{F^0}\right)(t_F^* - t_F)} \quad (25)$$

Donde $F^0 = (q_F + t_F^0)^{-\eta_{FF}}$ $\quad M^0 = (q_F + t_F^0)^{-\eta_{MF}}$, por lo que $\frac{M}{F} = \frac{M^0}{F^0}\left(\frac{q_F+t_F}{q_F+t_F^0}\right)^{-(\eta_{MF}-\eta_{FF})}$. A su vez el consumo de combustible post impuesto es: $F = (q_F + t_F)^{-\eta_{FF}}$.

Hallar el cambio en el bienestar de moverse a cualquier otro nivel de impuesto a las gasolinas a partir de la tasa impositiva vigente (t_F^0), requiere resolver la integral definida de (25) entre t_F^0 y t_F. Para eso, se debe integrar numéricamente la fórmula (25), ya que su solución analítica no es obvia. Para llevar a cabo dicha tarea, y así poder reproducir los resultados de los trabajos empíricos, se utilizó una versión de prueba de ExcelWorks. Este Add-In de Excel contiene una función matemática (@QUADF) que resuelve numéricamente integrales definidas. Esa fue la forma más simple que se encontró para resolver el problema.

A.5. Cambios en los niveles de las variables relevantes

$$\Delta F = F - F^0 = (q_F + t_F)^{-\eta_{FF}} - (q_F + t_F^0)^{-\eta_{FF}}$$
$$\Delta M = M - M^0 = (q_F + t_F)^{-\eta_{FF}} - (q_F + t_F^0)^{-\eta_{FF}}$$
$$\Delta\frac{M}{F} = \frac{M}{F} - \frac{M^0}{F^0} = \frac{M^0}{F^0}\left[\left(\frac{q_F + t_F}{q_F + t_F^0}\right)^{-(\eta_{MF}-\eta_{FF})} - 1\right]$$

Para ver el impacto en la oferta de trabajo, se puede volver a (18), usando $\epsilon_{LL}, \epsilon_{LL}^c\ y\ \eta_{MI}$ para simplificar:

$$t_L\frac{dL}{dt_F} = MEB_Lt_F\frac{dF}{dt_F} - \frac{MEB_L}{\epsilon_{LL}}\left[\epsilon_{LL}^cF(\eta_{MI} - 1) + E^c\frac{dM}{dt_F}[\epsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]\right]$$

Distribuyendo el corchete y haciendo factor común $\frac{F\eta_{FF}}{p_F}$, sabiendo que $\eta_{FF} = -\frac{dF}{dt_F}\frac{p_F}{F}$ queda:

$$t\frac{dL}{dt_F} = \frac{F\eta_{FF}}{p_F}\left[-MEB_Lt_F + \frac{MEB_L}{\epsilon_{LL}}\frac{(1-\eta_{MI})\epsilon_{LL}^c}{\eta_{FF}}p_F - \frac{MEB_L}{\epsilon_{LL}}E^c\frac{dM}{dt_F}\frac{p_F}{F\eta_{FF}}[\epsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]\right] +$$

Recordando que $MEB_L = \frac{t_L\epsilon_{LL}}{1-t_L(1+\epsilon_{LL})}$, y que $\eta_{MF} = -\frac{dM}{dt_F}\frac{p_F}{M}$,

$$t\frac{dL}{dt_F} = \frac{F\eta_{FF}}{p_F}\left[-MEB_Lt_F + \frac{t_L\epsilon_{LL}}{1 - t_L(1 + \epsilon_{LL})}\frac{1}{\epsilon_{LL}}\frac{(1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c}{\eta_{FF}}p_F\right.$$
$$\left. - \frac{t_L\epsilon_{LL}}{1 - t_L(1 + \epsilon_{LL})}\frac{1}{\epsilon_{LL}}E^c\frac{dM}{dt_F}\frac{p_F}{F\eta_{FF}}[\epsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]\right]$$

Simplificando ϵ_{LL}, $\eta_{FF} = -\frac{dF}{dt_F}\frac{p_F}{F}$ y recordando que $\frac{MEB_L}{1+MEB_L} = \frac{t_L\epsilon_{LL}}{1-t_L}$, surge

$$t\frac{dL}{dt_F} = \frac{F\eta_{FF}}{p_F}\left[-MEB_Lt_F + \frac{t_L}{1 - t_L(1 + \epsilon_{LL})}\frac{(1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c}{\eta_{FF}}p_F\right.$$
$$\left. + \frac{t_L}{1 - t_L(1 + \epsilon_{LL})}E^c\frac{\frac{dM}{dt_F}}{\frac{dF}{dt_F}}[\epsilon_{LL} - (1 - \eta_{MI})\epsilon_{LL}^c]\right]$$

Puede deducirse que el corchete de la última expresión representa los dos últimos términos del impuesto óptimo, divididos por $1 + MEB_L$, y entonces

$$t_L\frac{dL}{dt_F} = F\frac{\eta_{FF}}{p_F}[-MEB_Lt_F + (1 - MEB_L)t_F^* - MEC_F]$$

Reordenando, queda que el impacto de t_F en el factor trabajo es:

$t_L\frac{dL}{dt_F} = F\frac{\eta_{FF}}{p_F}[MEB_L(t_F^* - t_F) + t_F^* - MEC_F]$ (26)

Salvo por Antón-Saravia y Hernández-Trillo (2014), este efecto no suele computarse.