

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA
ECONÓMICAS, A.C.



ESQUEMA DE SUBSIDIOS AL TRANSPORTE
ELÉCTRICO, COLECTIVO Y PERSONAL

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA

BRIAN IRVING JAIMES KEYMOLENT

DIRECTOR DE LA TESINA: DR. JUAN ROSELLÓN
DÍAZ

CIUDAD DE MÉXICO

2020

Agradecimientos

Agradezco a mis padres y a mi hermana por todo el apoyo que me brindaron durante estos 7 años de esfuerzo, sin ellos no hubiera podido completar ni siquiera el primer semestre de licenciatura.

También a mis compañeros de la ME 2018, con los que conviví dos años y tuvimos todo tipo de experiencias y aprendizajes; le tengo gran cariño a cada uno.

A Dani por el enorme apoyo emocional que me brindó en mi último semestre y para escribir este trabajo, en el momento más atípico y retador de todos los tiempos.

A mis profesores de cada una de las asignaturas, porque de ellos aprendí no sólo los conocimientos de los libros sino también su experiencia y visión.

A mi asesor y lector por su guía, sus consejos y el tiempo dedicado a este trabajo.

A la coordinadora de la maestría, Maite, por su increíble compromiso con el programa y con cada uno de sus integrantes.

Finalmente, a todos los integrantes de la comunidad del CIDE, porque cada uno me aportó distintas cosas que me ayudaron a terminar este proyecto de vida en tiempo y forma.

Resumen

En este trabajo se obtiene analíticamente un esquema de subsidios que mitigan diversos problemas originados por la necesidad de transportarse, tales como la congestión y la emisión de gases de efecto invernadero. En este esquema el planificador elige usar un subsidio para incentivar el uso de vehículos eléctricos, o bien, un subsidio a la tarifa del sistema de transporte eléctrico. Los resultados indican que cada subsidio mitigaría las externalidades de diferente manera, pero también se encuentran efectos adversos por su implementación, tales como incrementar los costos de viaje de los hogares, efectos sobre otros impuestos o distorsiones en los mercados. El beneficio neto de cada subsidio permanece desconocido, no obstante, se encuentran los mecanismos con los que afecta al bienestar social. Estos resultados pueden extenderse para alguna región o contexto, obteniendo así el beneficio monetario de la aplicación de estos instrumentos. Esta información sería vital para un planificador que desea conocer el costo-beneficio de estos subsidios.

Palabras clave: sistema de transporte, transporte eléctrico, impuestos, subsidios, externalidades, equilibrio general, bienestar social.

Contenido

Resumen	i
Lista de abreviaturas	iii
Lista de tablas	iii
1. Introducción	1
2. Revisión de literatura	7
3. Planteamiento del modelo teórico	11
a. Entorno, agentes y supuestos	11
b. Externalidades y bienestar	21
4. Esquema de subsidio óptimo	24
a. Condición de primer orden	24
b. Impuesto socialmente óptimo	45
5. Conclusiones y recomendaciones.....	49
Referencias	51
6. Anexo	54
a. Restricción económica del hogar	54
b. Costo marginal de la recaudación pública	54

Lista de abreviaturas

GHG: Gases de efecto invernadero

EV: Vehículos de motor eléctrico

ICV: Vehículos de combustión interna

TCO: Costo total de ser propietario de un producto

ETS: Sistema de transporte colectivo eléctrico

Lista de tablas

Tabla 1. Dirección del efecto de los mecanismos sobre el bienestar	47
--	----

1. Introducción

El transporte dentro de las ciudades es una necesidad. Los traslados urbanos se hacen para consumir bienes, servicios y transportarse al trabajo. Los principales métodos de transporte son los vehículos personales de combustión interna (ICV) y el sistema de transporte colectivo, que pueden ser propulsados por motores eléctricos o de combustión interna. No obstante, trasladarse genera efectos negativos y consume recursos de manera ineficiente. Concretamente, los ICV tienen como fuente primaria el uso de combustible fósil, el cual es un recurso no renovable que además emite gases de efecto invernadero (GHG) y otros contaminantes.

Los vehículos de motor eléctrico (EV) y los sistemas de transporte colectivo, propulsados por energía eléctrica¹ (ETS), son alternativas ecológicas a los ICV. En la última década se han utilizado políticas públicas para incentivar el uso de los primeros, las cuales han tenido resultados satisfactorios en Estados Unidos, China y Europa (International Energy Agency, 2019). Dicho esto, el subsidio es un instrumento ampliamente utilizado, no obstante, se deben reconocer las

¹ Proviene originalmente de las siglas EPTS, del inglés *electric public transport system*, pero se reduce a ETS por simplicidad.

distorsiones que estos generan, así como cuestionar si realmente se logra un resultado ecológico favorable. Dicho de otra forma, es necesario saber si estos subsidios tienen beneficios netos positivos sobre la sociedad.

En el presente trabajo se esclarecen los mecanismos que caracterizan al subsidio de un transporte más ecológico y sus efectos sobre el bienestar social. Además, se encuentra analíticamente un esquema de subsidios y se analizan los argumentos a favor o en contra de su uso. Un regulador o gobierno utiliza el esquema que aquí se propone y elige: utilizar un subsidio al uso de EV, o bien, incentivar la demanda del servicio ETS, para que cualquiera alcance economías de escala, ya sea para fabricación o en infraestructura. A continuación, algunas de las ventajas del uso de movilidad eléctrica, sus limitaciones y los resultados más prometedores en políticas públicas.

Los EV, tanto los tradicionales que utilizan batería como los híbridos, representan una alternativa a los ICV si se desea mitigar las emisiones de GHG, pero tiene sus limitaciones. En la literatura se presenta como una alternativa positiva si se considera que contaminan menos dentro de las ciudades y durante la mayor parte de su ciclo de vida, con patrones de manejo no tan demandantes (Ma, Balthasar, Tait, Riera-Palou, & Harrison, 2012). Sin embargo, en este mismo estudio se

demuestra que las redes de transmisión de electricidad son muy importantes, de modo que el uso de EV en California representa un ahorro en emisiones, pero el uso del mismo vehículo en Reino Unido (RU) no refleja un ahorro significativo; dicho ahorro puede revertirse si además los patrones de conducción son más exigentes. Dicho de otro modo, la producción y transmisión de electricidad debe también provenir de fuentes limpias para que los EV sean una opción ecológica.

Actualmente, diversos gobiernos apuntan a solucionar los problemas de contaminación incentivando el lado de la demanda de los EV, en particular, los países de la Unión Europea (UE) han tenido resultados mixtos en la reducción de GHG. Las regiones más exitosas acompañan sus incentivos con políticas de generación de energías limpias, además de invertir en redes de transmisión eficientes (Skrúcaný, y otros, 2019). En dichos países, junto con Japón, China e India, así como a nivel subnacional, se han utilizado distintas políticas que efectivamente aumentan las ventas de EV, tales como subsidios a la compra, inversión en remodelación de ciudades, inversión directa a la industria y exenciones de impuestos (Leurent & Windisch, 2011).

A nivel estatal, Estados Unidos ha tenido una estimulación relevante dentro del mercado de EV. Esta estimulación se debe

principalmente a las políticas de incentivos fiscales, subsidios estatales, inversión estatal y federal a tecnologías clave, así como inversión en infraestructura (Zhang, Xie, Rao, & Liang, 2014). Uno de los instrumentos más utilizados es el subsidio a la compra o al uso de los EV. Lévy y colaboradores (2017) investigaron la efectividad de este instrumento para incentivar la compra, descubriendo que ésta se relaciona con el costo total de ser propietarios de un EV (TCO). Se encontró que en Noruega se ha tenido mucho éxito porque se logró disminuir el TCO mucho más bajo que su contraparte de gasolina. En Países Bajos, Francia y RU los TCO son comparables a los de ICV; mientras que países del centro y este de Europa siguen teniendo TCO de EV más altos que los de combustión interna.

En el contexto de mitigación de emisiones de GHG, existen alternativas a incentivar la demanda de vehículos eléctricos personales, donde distintos países deciden dirigir estos incentivos al ETS. Haciendo análisis de ciclos de vida², se ha comprobado que los autobuses eléctricos son sustitutos idóneos a los que requieren diésel, si lo que se desea es mitigar la contaminación (Cooney, Hawkins, & Marriott, 2013). No obstante, en dicho estudio se mantiene la advertencia previa:

² En estos estudios se miden los gases de efecto invernadero que se emiten: durante la extracción de recursos, la manufactura de partes, el ensamble, el uso y el desecho de los vehículos.

los resultados son efectivos si las redes de distribución y generación provienen de fuentes suficientemente limpias, factores relevantes dado que la creación de las baterías también genera mucha contaminación.

Existen alternativas a los autobuses eléctricos con batería, puesto que se desea disminuir el costo de implementación y la contaminación que conlleva el uso de la batería. Se ha demostrado que el uso de trolebuses modernos³ reduce sustancialmente los costos, es más ecológico y mejora la calidad del servicio, además de que su uso es replicable y escalable (Kühne, 2010).

Hasta ahora se habló de las ventajas ecológicas y económicas de sustituir los ICV por EV o ETS. Asimismo, se abordó la eficacia de diversas intervenciones gubernamentales de incentivos y la necesidad de combinarse junto con otras políticas. Ahora bien, la implementación de estas requiere compromiso de gobiernos que no siempre están dispuestos a costear, ya sea por sesgos, presupuestos ajustados, altos costos políticos y de inversión inicial o cuestionamientos sobre si realmente los beneficios netos son positivos. Más aun, los

³ Estos utilizan supercapacitores en lugar de batería y están conectados a la red eléctrica durante su uso. Se han implementado en el sistema de transporte de zonas urbanas de Alemania (Kühne, 2010).

subsidios a los EV no abordan los problemas de congestión vial, en este sentido, los sistemas de transporte colectivo podrían ser buena opción. Además, otra ventaja de este tipo de movilidad es que en algunos países ya están instaladas redes y sistemas de transporte, por lo que pueden expandirse o modernizarse.

Del mismo modo, los subsidios se utilizan durante una primera fase, hasta que la demanda del sistema de transporte o de los EV alcancen la masa crítica requerida para generar economías de escala, tanto en la producción de los vehículos y componentes como en inversión de infraestructura para el usuario final. Puesto que el transporte colectivo no es la solución para todos, incentivar el uso de ambas opciones en el contexto de gobiernos con presupuestos ajustados, por más que estos lo deseen, esto no será factible. Dicho lo anterior, las preguntas que en este trabajo se abordan son: Si se debe elegir uno de los incentivos ¿Cómo es cada subsidio? ¿Cómo deben ser para que se logre mitigar las externalidades de los traslados? ¿Cómo actúan sobre el bienestar? Contabilizando sus efectos adversos ¿Mejora realmente el bienestar social? Análogamente, conocer las vías por las que actúa el subsidio permitiría al gobierno decidir si vale la pena implementar el instrumento y elegir cual le conviene.

2. Revisión de literatura

En la literatura se han realizado distintas aproximaciones. Por un lado, se ha propuesto modelar las preferencias del consumidor y los patrones de uso de conducción, usando una encuesta en Sur Corea, con el objetivo de medir el impacto de distintos instrumentos fiscales, entre ellos el subsidio, sobre la difusión de EV en el mercado automotriz. Encontraron que el subsidio a la compra es más efectivo para reducir daños ambientales (Shin, Hong, Jeong, & Lee, 2012). En otro estudio, se modela el lado del productor que recibe insumos y decide su producción óptima internalizando el subsidio, utilizando además políticas de reciclaje de baterías. Encuentran que este binomio eleva la cantidad óptima de producción, el bienestar general, la utilidad de los productores y la protección ambiental (Gu, Liu, & Qing, 2017). Sin embargo, estos trabajos no analizan los efectos de equilibrio general, i.e., efectos sobre otros impuestos o distorsiones en los mercados.

Hirte y Tsharaktschiev (2013) realizaron un trabajo que utiliza un modelo espacial urbano que logra capturar los efectos de equilibrio general. Modelan una ciudad subdividida en dos zonas, los habitantes deciden entre vehículos eléctrico y de combustión interna. En dicho trabajo, utilizando datos de

zonas urbanas de Alemania, encuentran que la política óptima es utilizar un impuesto al uso de EV, en lugar de un subsidio. Estos autores mencionan que los efectos negativos del subsidio tales como afectación al presupuesto del gobierno, incremento en los costos de viaje, disminución en la oferta laboral y decrementos en el poder adquisitivo de los individuos, rebasan el efecto de mitigación de emisiones.

Para responder a las preguntas previamente planteadas, en este trabajo se utiliza el modelo espacial urbano para obtener un esquema que consiste en dos subsidios por separado: por un lado, el gobierno elige usar un subsidio al uso de EV y por el otro se subsidia la tarifa del uso del sistema de transporte colectivo. Se modela una ciudad cerrada que integra el mercado inmobiliario, el de bienes y el del sistema de transporte. Se consideran como agentes los hogares, los transportistas, los terratenientes y el gobierno.

La ciudad está subdividida en dos zonas, los hogares eligen su ubicación de vivienda y de trabajo, por lo que también eligen el número y modo de desplazamiento. Los viajes generan dos externalidades, la emisión de GHG y la congestión vial. El gobierno cumple su restricción presupuestaria con impuestos de suma fija y los subsidios. Se integran las utilidades de los agentes y el daño por

contaminación en la función de bienestar, esta se maximiza en función de cada subsidio para encontrar el nivel óptimo.

Se escoge este modelo porque el vaciado de los mercados arroja información de los efectos de equilibrio general, de modo que se obtienen los beneficios netos del uso de cada subsidio. La mayor desventaja de este modelo es que es un análisis teórico, por lo que no arroja la magnitud de los efectos, pero sí algunas direcciones (positivo o negativo). Sin embargo, cabe recalcar que este modelo puede expandirse y calibrarse, por consiguiente, puede utilizarse para conocer de manera cuantitativa cada subsidio dentro de una región, así como los beneficios en términos monetarios de la implementación de estos. Asimismo, se conocería la magnitud y dirección de los efectos del subsidio sobre el bienestar, esto es, un planificador puede elegir el instrumento que mejor se adecue a las necesidades de la región al cual se desea aplicar.

Considerar los efectos de equilibrio general nos arroja información de las distorsiones que se generan por el subsidio al consumo, estas reducen sus beneficios sociales por mitigación de externalidades. Los efectos se agrupan para clasificar los distintos mecanismos de interacción del subsidio los cuales son mitigación de emisiones de GHG, mitigación de la congestión vial, beneficio de los transportistas, valoración social, interacción de los impuestos, cambio en los costos de

viaje, redistribución vía los impuestos y vía los terrenos, cada uno varía dependiendo el instrumento que se elija. Con un análisis teórico no es posible determinar la magnitud de los subsidios, la magnitud de sus efectos, ni cuál de ellos mejora el bienestar de las personas. No obstante, una extensión y calibración podrían resolver estos problemas para cualquier región o contexto que se desee. Estos resultados abonan a la literatura de análisis costo-beneficio de políticas públicas dirigidas a la reducción de emisiones de GHG.

En la sección 2 se formaliza el planteamiento del modelo, se introducen las variables, los agentes y los mercados, así como los supuestos. En esta misma sección se modelan las externalidades y se agrega la información para conformar la función de bienestar. En la sección 3 se obtienen los distintos subsidios y se recopila la información de sus mecanismos de afectación. En la sección 4 se presentan las conclusiones y sugerencias de los resultados presentados en las secciones previas. En el anexo se encuentran los pasos algebraicos intermedios que no abonan a la discusión de resultados pero que son de vital importancia.

3. Planteamiento del modelo teórico

En el presente trabajo se obtiene analíticamente el esquema de subsidios óptimos dentro de una ciudad cerrada, subdividida en dos zonas. Este objetivo se logra con un modelo espacial urbano, en el cual el mercado laboral actúa como canal para los efectos de equilibrio general. Los hogares, además de elegir su consumo de bienes y oferta laboral, eligen una zona para ubicar su vivienda y otra para trabajar, pudiendo ser estas la misma.

Los hogares se desplazan para trabajar, para ello deciden usar el ETS o el transporte personal, para el cual eligen si usarán ICV o EV. Más aún, el desplazamiento genera dos externalidades: emisión de gases de efecto invernadero y aumento de flujo de tráfico. El gobierno interviene mediante un esquema de subsidio, por un lado, elige si dar el subsidio al ETS o, por otro lado, financiar el consumo del EV. Asimismo, decide un impuesto a la gasolina y uno de suma fija para financiar los subsidios.

a. Entorno, agentes y supuestos

El entorno económico se modela como una ciudad cerrada subdividida en dos zonas cada zona representada por el conjunto $I = \{1,2\}$. Los hogares deciden la zona donde vivirán

i y donde trabajarán j , tal que $i, j \in I$. Ambas zonas son de igual tamaño de área, A , y homogéneas en calidad de terreno. Dicha área se encuentra normalizada, de modo que el desplazamiento, δ_{ij} , dentro de una zona específica es uno, $\delta_{ii} = 1$. El tamaño del lote residencial se normaliza a la unidad, el precio de la tierra por lote es r_i y cada hogar demanda un lote. De este modo la renta agregada de la tierra es $A \sum_i r_i$.

Dentro de la ciudad existen N número de hogares, los cuales difieren sólo por su preferencia idiosincrática de elegir su ubicación de vivienda y trabajo. Los hogares eligen en dos etapas: en la primera etapa eligen su canasta de consumo privado z_{ij} y su tiempo de trabajo (ocio ' l_{ij} '). Las horas laborales diarias h están fijas, pero no así el número de días laborales por año L_{ij} , o bien, el número de viajes por año, de este modo el número de traslados es endógeno. En una segunda etapa eligen el número y modo de desplazamiento, el cual puede ser mediante transporte colectivo o personal, si es individual además eligen si usarán ICV o EV.⁴

⁴ Por simplicidad el transporte colectivo sólo identifica aquellos dentro del concepto de movilidad eléctrica, tales como trolebuses, trenes metropolitanos, autobuses eléctricos, entre otros.

A priori no se conoce la decisión de transporte de los hogares, sin embargo, podemos asumir que cierta proporción elegirá un medio u otro. La proporción de hogares que eligen el ETS es s y los que eligen vehículo personal $(1 - s)$. De estos mismos, la proporción que elige EV es v y los que eligen ICV $(1 - v)$. De este modo, dichas proporciones suman la unidad de la siguiente manera: $s + (1 - s)[v + (1 - v)] = 1$. Además, asumiremos que estas proporciones cambiarán según los niveles de subsidio que elija el regulador.⁵

Las preferencias de un hogar se modelan mediante una función de utilidad $U_{ij} = u(z_{ij}, l_{ij}) + \epsilon_{ij} \forall i, j$, donde ϵ_{ij} es la parte aleatoria que representa la idiosincrasia del hogar. Por su parte, la función $u(\cdot)$ es \mathcal{C}^2 , creciente y cóncava a sus entradas. La probabilidad de que un hogar elija su lugar de vivienda y de trabajo, ij , es $\pi_{ij} = \Pr[V_{ij} + \epsilon_{ij} > V_{-ij} + \epsilon_{-ij} \forall -ij \neq ij]$;⁶

⁵ Para más detalles, ver el desarrollo de la función de costos que se menciona más adelante.

⁶ π_{ij} es la probabilidad de elección logit, la cual puede escribirse como $\pi_{ij} = \frac{\exp(\Lambda V_{ij})}{\sum_{m=1}^2 \sum_{n=1}^2 \exp(\Lambda V_{mn})}$. Se asume que ϵ_{ij} es i.i.d. Gumbel con media cero, varianza σ^2 y un factor de escalamiento $\Lambda = k/(\sigma\sqrt{6})$ (Train, 2009).

donde V_{ij} es la función de utilidad indirecta del hogar al elegir el conjunto ij .⁷

La restricción presupuestal del hogar, en términos monetarios, tiene por un lado el gasto en bienes de consumo, su lote residencial y un impuesto de suma fija; este gasto es igual a su ingreso neto anual por trabajar

$$p^z z_{ij} + r_i + \tau^{ls} = (\omega_j h - c(\cdot)\delta_{ij})L_{ij} \quad (1)$$

donde el precio de los bienes de consumo está normalizado a la unidad, $p^z = 1$; el salario fijo por cada hora trabajada en la zona de trabajo es ω_j ; $c(\cdot)\delta_{ij}$ son los costos monetarios del traslado de ida y vuelta, cada que se viaja de i a j . Se debe precisar que $\delta_{ij} = 1$ si $i = j$ y $\delta_{ij} = 2$ si $i \neq j$, así $c(\cdot)$ representa los costos de viaje monetarios por distancia recorrida por vehículo.

Asimismo, los hogares tienen restricción en el uso del tiempo. En esta se usa la dotación de tiempo total H entre

⁷ La función de utilidad indirecta se define en función de la restricción económica y la restricción temporal $V_{ij}(Y_{ij}, \theta_{ij}) = \left\{ \max_{z_{ij}, l_{ij}} u(z_{ij}, l_{ij}) \text{ s. a: } Y_{ij} = z_{ij} + \theta_{ij} l_{ij} \right\}$, Y_{ij} y θ_{ij} se definen en las ecuaciones (2) y (3).

tiempo de ocio y tiempo de trabajo, contando el tiempo de traslado $t_{ij}(\cdot)$.⁸

$$H = l_{ij} + (h + t_{ij}(\cdot))L_{ij} \quad (2)$$

Se combinan ambas restricciones para formar la restricción económica del hogar: $Y_{ij} = z_{ij} + \theta_{ij}l_{ij}$, donde Y_{ij} es el ingreso económico total y θ_{ij} el precio sombra del ocio, definidos como

$$Y_{ij} \equiv \theta_{ij}H - \tau^{ls} - r_i \quad (3)$$

$$\theta_{ij} \equiv \frac{\omega_j h - c(\cdot)\delta_{ij}}{h + t_{ij}(\cdot)} \quad (4)$$

El ingreso económico total es la dotación de tiempo monetizado, descontado por el impuesto de suma fija y los costos de rentar. Este ingreso se construye para separar del análisis de los subsidios el consumo del bien privado y la elección directa del ocio. El precio sombra del ocio, o bien el valor del tiempo, se define como el promedio de ingreso neto por una hora trabajada. Se compone por el salario neto de ir a

⁸ La función de costos y del tiempo de traslado se definen más adelante.

trabajar un día, ponderado por el tiempo promedio que se requiere para ir a trabajar.

El resto de agentes son el gobierno, los productores de los bienes privados, los terratenientes y los transportistas, estos últimos dos externos a la ciudad. El sistema de transporte se oferta por empresas externas a la ciudad, son precio-aceptantes y usan sus ingresos para cubrir sus costos. La oferta de lotes es constante pero la demanda de lotes seccionada por zonas es endógena, las rentas espacialmente diferenciados se ajustan para vaciar el mercado.

Las empresas de los bienes privados producen sólo con trabajo local mediante una función de retornos de escala constantes. Como resultado, la demanda laboral de las empresas es completamente elástica, i.e., los salarios son constantes, aunque se diferencian por zona. El mercado se vacía endógenamente mediante la oferta laboral. La cuenta corriente se encuentra en balance al igualar las exportaciones de los bienes con la importación de gasolina y energía eléctrica.

El gobierno, para incentivar el uso de EV, elige el nivel de subsidio a la energía eléctrica, si desea incentivar el ETS entonces elige el nivel de subsidio a la tarifa por persona. Analíticamente modelamos al subsidio como un impuesto, de

modo que un subsidio se representa como un impuesto negativo, más aún, cualquier argumento económico que favorezca la disminución del impuesto representará también un argumento a favor de aumentar el nivel del subsidio, y viceversa.

La notación es la siguiente: se implementa un impuesto monetario a la energía eléctrica, τ^v , a la gasolina, τ^g , a la tarifa del sistema de transporte, τ^s , y uno de suma fija para financiar su gasto, \bar{G} . Respectivamente, el impuesto se cobra por unidad de energía eléctrica, por unidad de gasolina usada, por pasajero trasladado y por contribuyente. De este modo, estos se cobran sobre el consumo total de gasolina, G , el consumo total de energía eléctrica, G^v , el consumo total del sistema de transporte colectivo eléctrico, G^s , y el número de hogares N . La restricción presupuestal del gobierno queda de la siguiente manera:

$$\tau^s G^s + \tau^v G^v + \tau^g G + \tau^{ls} N = \bar{G} \quad (5)$$

Cada consumo se define de la siguiente manera

$$G^s = sfw^s \quad (6)$$

$$G^v = (1 - s)vf w^v \quad (7)$$

$$G = (1 - s)(1 - v)fw^g \quad (8)$$

donde w^k con $k = \{s, v, g\}$ es la (in)eficiencia de usar cada alternativa por distancia recorrida; w^s es el número de pasajeros por distancia recorrida, w^v es la cantidad de energía eléctrica usada por distancia recorrida, w^g es la cantidad de gasolina necesaria por distancia recorrida. Se asumen todas constantes y exógenas.

Asimismo, los consumos dependen de la distancia agregada recorrida en la ciudad, la cual se define como la suma de flujo vehicular de cada zona $f = \sum_i f_i = f_1 + f_2$. El flujo vehicular de la zona i se define como el agregado ponderado de números de viajes de los hogares, L_{ij} , en dicha zona, i.e.,

$$f_i = N \sum_j \pi_{ij} L_{ij} + N \sum_{j \neq i} \pi_{ji} L_{ji} \quad (9)$$

También se puede entender como el agregado de la esperanza de la distancia recorrida de los hogares, tanto de ida como de vuelta, $f = N \sum_i \sum_j \pi_{ij} \delta_{ij} L_{ij}$. Se hace la suposición de que esta demanda aumenta cuando se incrementa el impuesto al EV o al ETS. En el primer caso se interpreta que los hogares abandonan el EV por su aumento de costo, se cambian a ICV ya que es más barato de usar por unidad de distancia recorrida, ahora los hogares pueden costearse más distancias. Para el segundo caso notamos que el ETS puede

usarse por varios usuarios al mismo tiempo, por lo que su abandono incrementa la cantidad de vehículos personales, por consiguiente, la cantidad de distancia recorrida.

Una vez definido el flujo de tráfico, ahora es posible bosquejar la función del tiempo de trayecto. La función de tiempo, t_{ij} , utilizada en la restricción temporal de los hogares, está en función de la saturación de las carreteras (f_i, f_j) y de las carreteras que use. De este modo, si el hogar viaja de su vivienda en la zona i a su trabajo en la zona j el tiempo que tardará será

$$t_{ij}(f_i, f_j) \equiv t_i(f_i) + |j - i| \cdot t_j(f_j) \quad (10)$$

La función de costos por distancia recorrida $c(\cdot)$, por su parte, está en función de los impuestos vía la propensión de los hogares de elegir ETS, $s(\tau^s, \tau^v)$, elegir EV, $v(\tau^s, \tau^v)$, o cualquier otro caso. El hogar se enfrenta a un costo de compra, uso y mantenimiento p^g si elige un ICV, p^v si elige un EV, o bien, a una tarifa por pasajero p^s , todos ellos en las mismas unidades que sus contrapartes de impuestos. Considerando, además, la eficiencia de consumo de cada alternativa, w , los costos netos por distancia recorrida de usar cualquier alternativa serían $(p^a + \tau^a)w^a$, donde $a \in \{p, g, v\}$. Como

resultado, los costos monetarios por distancia recorrida que el hogar enfrenta son:

$$c(\tau^s, \tau^v) = s(p^s + \tau^s)w^s + (1 - s)[v(p^v + \tau^v)w^v + (1 - v)(p^g + \tau^g)w^g] \quad (11)$$

Además, asumiremos que los p^a son fijos y exógenos, de modo que los costos solamente varían al impuesto mediante las proporciones s y v . Estas variaciones se dan de la siguiente manera: si el impuesto a la tarifa al ETS τ^s sube, entonces la proporción de hogares que toman el transporte disminuye, $ds/d\tau^s < 0$; por su parte, la proporción de usuarios que adquieren EV no varía lo suficiente $dv/d\tau^s \approx 0$. Lo que estamos asumiendo es que los hogares que dejan el ETS se distribuyen y adoptan tanto EV como ICV.

Por otro lado, si el impuesto al uso de EV τ^v sube, entonces la proporción de hogares que usan EV disminuirán $dv/d\tau^v < 0$, por su parte, la proporción de usuarios que en ETS no varía lo suficiente $ds/d\tau^v \approx 0$. El supuesto aquí es que el aumento del impuesto transfiere a los usuarios que hubieran elegido EV al uso de ICV, pero este movimiento es casi nulo hacia el ETS.

El modelo está simplificado de manera tal que el análisis esté en el esquema de subsidios. Los subsidios se implementan debido a las externalidades que el traslado genera, tales como

congestión vial y emisión de gases contaminantes. Para que el regulador internalice los efectos de estas externalidades, i.e., que estos sean tomados en cuenta por los subsidios, usaremos una función de bienestar que agregue los agentes económicos aquí planteados.

b. Externalidades y bienestar

Los hogares eligen su medio de transporte considerando si sus ingresos pueden cubrir sus costos, pero no toman en cuenta las externalidades que estos viajes generan: congestión vial y emisión de gases de efecto invernadero. El aumento de viajes aumenta la congestión vial de la zona i , f_i , que a su vez aumenta tiempo de traslado en dicha zona, $t'_i(f_i) > 0 \forall i$.

Por su parte, las emisiones de GHG por distancia recorrida se modela en función de los niveles de impuestos vía la elección de los hogares. Cada decisión de transporte a emite GHG por unidad de energía, ϕ^a , de modo que al contabilizar su eficiencia energética w^a , la emisión GHG por distancia recorrida es

$$em(\tau^s, \tau^v) = s\phi^s w^s + (1 - s)[v\phi^v w^v + (1 - v)\phi^g w^g] \quad (12)$$

Asumimos, además, que la emisión de GHG por unidad de energía es fijo y exógeno. Las emisiones agregadas de la

ciudad contabilizan la distancia total recorrida en la distancia:

$$EM = em \cdot f.$$

La función de bienestar W toma en cuenta el bienestar neto de la ciudad, i.e., las funciones de utilidad de todos los hogares de la ciudad, W_C , descontadas por el daño en útiles de las emisiones generadas, $\lambda_E EM$, donde λ_E es el efecto marginal sobre la utilidad de aumentar una unidad de emisión de GHG. Por otro lado, la variación de los impuestos puede afectar los ingresos de los terratenientes y en los transportistas, por lo tanto, se debe contar sus funciones de utilidad en la función de bienestar.

Siendo V_A la función de utilidad indirecta de los terratenientes y V_S como la función de utilidad indirecta de los transportistas, la función de bienestar se define como:

$$W = W_C + V_A + V_S - \lambda_E EM \quad (13)$$

Donde el bienestar de la ciudad es N la esperanza del lugar representativo que elige su conjunto de ubicación ij que maximiza su utilidad, i.e.,

$$\begin{aligned} W_C &= N \cdot E \left[\max_{ij} (V_{ij} + \epsilon_{ij}) \right] \\ &= N \sum_i \sum_j \pi_{ij} V_{ij} + \frac{N}{\lambda} \sum_i \sum_j \pi_{ij} (-\ln \pi_{ij}) \end{aligned} \quad (14)$$

Una vez definida la función de bienestar, se utiliza la condición de primer orden (CPO) para obtener el subsidio óptimo que el gobierno desee, ya sea el subsidio al ETS o a los EV. La CPO consiste en derivar la función de bienestar W con respecto a τ^a y después se iguala a cero el resultado. Esta CPO se basa en la literatura para encontrar políticas óptimas en ciudades no monocéntricas de múltiples zonas (Rhee, Yu, & Hirte, 2014) (Hirte & Tscharaktschiew, 2013). En la siguiente sección se presenta el resultado para cada subsidio, así como la interpretación de los términos de los que el subsidio depende.

4. Esquema de subsidio óptimo

a. Condición de primer orden

En este paso se mostrará la forma general de la condición de primer orden, antes de elegir el impuesto. La función de bienestar, así como los términos de los que depende, varían si se elige un impuesto a los EV o al ETS, de modo que se usa $a \in \{v, s\}$ para indexar cada término con un superíndice. Cada uno de los términos que surjan al derivar representa una vía de afectación del bienestar, estos términos se agrupan para entenderlos como mecanismos.

Derivamos Eq. 13 con respecto a τ^a y convertimos cada término en valor monetario, de este modo el bienestar en términos monetarios, \bar{W}^a , ante el aumento de una unidad de impuesto a la energía eléctrica, cambia de la siguiente forma

$$\frac{d\bar{W}^a}{d\tau^a} = CSME_n^a + EI^a + CT^a + RI^a + RT^a \quad (15)$$

Donde $CSME_n^a$ representa el costo social marginal neto de las externalidades; CT^a el cambio de los costos de viajar; EI^a el efecto sobre el bienestar de las interacciones del impuesto, τ^a , y el de suma fija, τ^{ls} ; RI^a los efectos de la redistribución vía los impuestos; RT^a los efectos de la redistribución vía la

reubicación y el mercado de los terrenos. A continuación, se desarrolla para cada impuesto los sumandos de la Eq. 15, a la vez que se da una interpretación de estos y se analiza cómo afectan al bienestar, \bar{W} .

I. Mecanismos de afectación sobre el bienestar, impuesto a la energía eléctrica

Primero se considera un impuesto óptimo a la energía eléctrica. En este caso el impuesto al ETS se lleva a cero, $\tau^s = 0$, esto implica que los hogares ven en su función de costos su tarifa habitual p^s y la restricción del gobierno se reduce al no cobrar dicho impuesto. Se usará el superíndice v para denotar que el gobierno sólo interviene en los EV. Los términos de la Eq. 15, representan distintos mecanismos de afectación del bienestar, originados por un incremento del impuesto a la energía.

El primer mecanismo es la reacción de las externalidades a la respuesta de la demanda de viajes (o distancia recorrida f) por el incremento del impuesto a la energía. Dicho mecanismo se conoce como costo social marginal neto de las externalidades y tiene cuatro componentes:

$$CSME_n^v = (CME_t^v + CME_{em}^v - BM_S^v - \tau^v VS^v) \left(-\frac{df}{d\tau^v} \right) \quad (16)$$

Estos términos son: el costo marginal de la congestión vial sobre el bienestar, CME_t^v ; el costo marginal que las emisiones generan sobre el bienestar CME_{em}^v ; ambos se descuentan por el beneficio marginal de los transportistas, BM_S^v , y el valor social del impuesto base por unidad de impuesto de energía eléctrica, VS^v . Los cuatro componentes tienen un efecto en el bienestar de la siguiente forma: cada sumando se amplifica y cambia de sentido, dado el negativo del cambio de la distancia agregada por un cambio unitario del impuesto, $\left(-\frac{df}{d\tau^v}\right)$.

Por la parte de costos, la externalidad del transporte por unidad de distancia recorrida se define como

$$CME_t^v \left(-\frac{df}{d\tau^v}\right) \equiv \frac{N \sum_i \sum_j \pi_{ij} \frac{\lambda_{ij}}{\lambda} \theta_{ij} L_{ij} \frac{dt_{ij}}{d\tau^v}}{df/d\tau^v} \left(-\frac{df}{d\tau^v}\right) \quad (17)$$

Vemos que los costos están agregados para ambas zonas, ponderados por π_{ij} y λ_{ij}/λ . λ_{ij} es la utilidad marginal al ingreso (UMI) de haber elegido el conjunto de ubicación ij y λ es la esperanza de la UMI de los hogares, i.e., $\lambda \equiv \sum_i \sum_j \pi_{ij} \lambda_{ij}$. Estos ponderadores se aplican al costo monetario del número de viajes al trabajo, $\theta_{ij} L_{ij}$, amplificado por la tasa de cambio del tiempo de viaje y el cambio de la distancia

agregada recorrida, dado un cambio unitario del impuesto,

$$\frac{dt_{ij}}{d\tau^v} / \frac{df}{d\tau^v}$$

Los ponderadores y el costo monetario del número de viajes son positivos; por su parte, la tasa de cambio es positiva ya que el cambio del tiempo de viaje, dt_{ij} , va en la misma dirección que el cambio en la distancia agregada recorrida, df , al incrementar una unidad el impuesto, τ^v . Como consecuencia, $CME_t^v > 0$ pero $CME_t^v(-df/d\tau^v) < 0 \rightarrow \downarrow \bar{W}$, i.e., incrementar el nivel de impuesto incrementa la afectación de la congestión sobre el bienestar (ver Eq. 15 y 17), esto también indica que el subsidio mitiga esta afectación.

Por su parte, la externalidad de la emisión de GHG por unidad de distancia recorrida se define como

$$\begin{aligned} & CME_{em}^v \left(-\frac{df}{d\tau^v} \right) \\ & \equiv \alpha \left[em + \frac{(1-s)f(\phi^g w^g - \phi^v w^v) \left(-\frac{dv}{d\tau^v} \right)}{df/d\tau^v} \right] \left(-\frac{df}{d\tau^v} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

Donde $\alpha \equiv \lambda_E/\lambda$ es el efecto marginal sobre la utilidad por el cambio unitario de emisión de GHG, en términos monetarios. El nivel de emisión por distancia recorrida, em , es la afectación marginal de esta externalidad si se incrementa la distancia recorrida f , recordando que la Eq. 18 afecta al

bienestar por cambios en la distancia recorrida (ver Eqs. 15 y 18). El sumando restante está en función de los cambios en la distancia recorrida $df/d\tau^v$, y es el cambio agregado de emisiones de GHG, $f(\phi^g w^g - \phi^v w^v)$, dada la disminución de individuos que adoptan EV ante un incremento del impuesto, $-dv/d\tau^v$, ponderado por la proporción de individuos que se encuentran en el mercado de vehículos personales, $(1 - s)$.

Considerando que el uso de ICV emite más emisiones de GHG que el uso de EV $\phi^g w^g > \phi^v w^v$, entonces podemos decir que el costo marginal de la externalidad de emisiones contaminantes es positivo $CME_{em}^v > 0$. La intuición es que el abandono de EV por ICV incrementa las emisiones de GHG, o bien, los costos a la sociedad. Estos costos marginales positivos implican una reducción del bienestar, $CME_{em}^v(-df/d\tau^v) < 0 \rightarrow \downarrow \bar{W}$, de modo que un subsidio también mitiga esta externalidad.

Los costos anteriormente mencionados se descuentan, por una parte, por el beneficio marginal de los transportistas, $BM_S^v = p^s w^s s$. Este beneficio se origina por un aumento en la cantidad de distancia recorrida por los hogares, i.e., si los hogares están viajando más entonces esperaríamos un beneficio hacia los transportistas. Por consiguiente, y dado que este beneficio es positivo, un aumento en el impuesto a la

energía eléctrica mejora en el bienestar general, $BM_S^v \left(\frac{df}{d\tau^v} \right) > 0 \rightarrow \uparrow \bar{W}$.

Por otro lado, tenemos el descuento del valor social del impuesto base por unidad de impuesto de energía eléctrica, VS^v , el cual se define como:

$$\tau^v VS^v \left(\frac{df}{d\tau^v} \right) \equiv (1 - s) \eta^v \tau^v w^v \left[v + f \frac{dv/d\tau^v}{df/d\tau^v} \right] \left(\frac{df}{d\tau^v} \right) \quad (19)$$

Este mecanismo tiene dos canales representados entre corchetes: $\tau^v w^v v$, por su parte, representa el beneficio monetario de la sociedad por el aumento en la cantidad de la demanda de viajes de los hogares, $df/d\tau^v$, dejando constante el impuesto al EV. Por otro lado, el sumando restante descuenta este beneficio por una reducción de los vehículos EV que circulan, $fdv/d\tau^v < 0$. Esta diferencia en el valor se enfoca en el sector de vehículos privados $(1 - s)$, tomando en cuenta el costo marginal de la recaudación pública (CMRP), $\eta^v > 0$.

El CMRP mide la distorsión por aumentar en una unidad el impuesto de suma fija, se define como:

$$\eta^v \equiv \frac{N}{N + \tau^g \frac{\partial G}{\partial \tau^g s}} \quad (20)$$

Este costo marginal pondera la pérdida marginal de bienestar al incrementar una unidad de impuesto de suma fija, N , por el beneficio marginal que dicho incremento genera, $N + \tau^g \frac{\partial G}{\partial \tau^{ls}}$.

No es claro si VS^v es positivo o negativo dado que no sabemos cuál término es más grande. Sin embargo, se considera que la cantidad de distancia recorrida es considerablemente más grande que la proporción de EV en el mercado, aun cuando se dimensiona por la tasa de cambio de EV ante el cambio de distancia recorrida. Por lo cual, podemos asumir que el aumento de una unidad del impuesto disminuye el bienestar en términos monetarios, vía la afectación en el valor social del impuesto, $\tau^v VS^v \left(\frac{df}{d\tau^v} \right) < 0 \rightarrow \downarrow \bar{W}$.

Una vez analizado el primer mecanismo del efecto del impuesto sobre el bienestar, retomaremos el resto de términos. El segundo mecanismo es el efecto sobre el bienestar de las interacciones de los impuestos, vía la restricción gubernamental y las distorsiones de los mercados, se define como

$$EI^v \equiv (1-s)\eta^v \tau^g f \left[w^g \left(-\frac{dv}{d\tau^v} \right) + \frac{(1-v)w^g}{f} \frac{df}{d\tau^v} \right]_{\tau^{ls}} - \frac{vw^v}{N} \frac{\partial G}{\partial \tau^{ls}} \quad (21)$$

Las distorsiones de los impuestos se presentan en el sector de vehículos particulares $(1 - s)$, contabilizando la distorsión del impuesto de suma fija, η^v , el nivel de impuesto a la gasolina y la demanda de viajes agregados, $\tau^g f$. Se tienen tres términos, el primero representa el efecto directo en la recaudación al incrementar una unidad de impuesto, i.e., el aumento del impuesto incrementa el uso de ICV y por tanto la recaudación del mercado de gasolina, G . El segundo término indica las distorsiones que se generan al alterar el mercado de los ICV, $(1 - v)$, vía los cambios en la demanda de viajes, tomando como constante el impuesto de suma fija, $\frac{1}{f} \frac{df}{d\tau^v} \Big|_{\tau^{ls}}$.

El tercer término es el efecto indirecto en la recaudación vía el impuesto de suma fija. El incremento del impuesto energético disminuye la carga fiscal a los hogares vía el impuesto de suma fija, lo que representa un incremento del poder adquisitivo. Este incremento es un efecto positivo al ingreso sobre el bien normal del ocio, lo que disminuye la demanda de viajes vía la disminución de la oferta laboral de los hogares. La disminución de la demanda de viajes disminuye la recaudación del gobierno, $-\partial G / \partial \tau^{ls} < 0$.

La suma de los efectos parece a primera vista indeterminado, el primer término es positivo, el segundo es ambiguo y el tercero negativo. Sin embargo, el último término

es bastante pequeño dado el cociente v/N , mientras que el segundo podría ser más pequeño que el primero, pensando en el mismo argumento que en la comparación de los sumandos del valor social, VS^v . Por lo tanto, el resultado de las distorsiones de los impuestos genera un bienestar social, $EI^v > 0 \rightarrow \uparrow \bar{W}$, impulsado primordialmente por el beneficio de la recaudación.

El siguiente mecanismo se da por el cambio de los costos de viajar, dentro del sector de los vehículos personales, vía la redistribución de hogares que dejan de usar EV y ahora usan ICV:

$$CT^v \equiv (1 - s)f_\lambda[p^v w^v - p^g w^g] \left(-\frac{dv}{d\tau^v} \right) \quad (22)$$

Este mecanismo es la reacción de los costos al cambio en la difusión de EV, $(-dv/d\tau^v)$, dentro del sector de vehículos personales $(1 - s)$. El cambio de costos depende de la diferencia entre el precio de consumir EV o consumir ICV, por distancia recorrida. Este se multiplica por la distancia recorrida agregada de los hogares, f_λ , que es una distancia ponderada

por las desviaciones de la UMI de un hogar con respecto a la esperanza de la UMI de los hogares, $f_\lambda \equiv N \sum_i \sum_j \pi_{ij} \frac{\lambda_{ij}}{\lambda} f_{ij}$.⁹

El signo de este mecanismo depende de la resta dentro de los corchetes, la cual se considera positiva ya que el precio de uso de los EV es mayor que el de ICV.¹⁰ En este sentido, incrementar una unidad de impuesto eleva el bienestar social en términos monetarios, vía la diferencia de precios de los vehículos personales, $CT^v > 0 \rightarrow \uparrow \bar{W}$. La intuición es que el aumento al impuesto de la electricidad promueve el uso de ICV, que son más baratos y por eso la sociedad se ve beneficiada.

El siguiente mecanismo es el efecto de la redistribución de impuestos sobre el bienestar, el cual se define como

$$RI^v \equiv (1 - s)[\tau^v w^v - \tau^g w^g] f_\lambda \left(-\frac{dv}{d\tau^v} \right) + (1 - s) v w^v [f - f_\lambda] \quad (23)$$

Esta vez el primer término refleja una comparación entre el impuesto al EV y el de gasolina, y el efecto de esta sobre el

⁹ f_{ij} es la distancia total recorrida para ir al trabajo, del hogar con conjunto ubicación ij , definido como $f_{ij} \equiv \delta_{ij} L_{ij}$. También se puede usar en el agregado de la distancia recorrida: $f = N \sum_i \sum_j \pi_{ij} f_{ij}$

¹⁰ Justamente esta es la razón por la que se busca subsidiar el uso de EV.

bienestar. Este efecto se presenta en el sector de vehículos personales, $(1 - s)$, contabiliza la distancia agregada por pesos, f_λ , y se origina por aumento en el uso de ICV, $-dv/d\tau^v > 0$.

La decisión de los hogares de abandonar el EV por el ICV implica que ya no paguen el impuesto energético, pero sí el de gasolina. Si el nivel de impuesto a la energía fuera exactamente equivalente al de gasolina, no se tendría efectos sobre el bienestar. Si el nivel de impuesto a la gasolina fuese el más grande, entonces veríamos una afectación en el bienestar dado que los hogares pagarían más en el nuevo impuesto, caso contrario si el impuesto a la gasolina fuese menor al impuesto energético.

El segundo término representa cambios en el bienestar por desviaciones de la UMI de los hogares con relación a la UMI promedio, λ_{ij}/λ , para los usuarios de EV, $(1 - s)v\omega^v$. Primero, veamos que la diferencia de la demanda de viajes es: $f - f_\lambda = N \sum_i \sum_j \pi_{ij} f_{ij} \left(1 - \frac{\lambda_{ij}}{\lambda}\right)$. Entonces, si los pagos de impuestos no son uniformes entre estos hogares, existirán desviaciones UMI, $\frac{\lambda_{ij}}{\lambda} \leq 1$, i.e., algunos hogares de este sector verán, respectivamente, un incremento en la utilidad, un decremento y un nulo efecto.

Aun cuando este último término no parezca tener gran magnitud ($(1 - s)v$ es muy pequeño, o bien, son pocos los hogares que se ven afectados) no se puede determinar un signo. Este último hecho, aunado a que el primero tampoco tiene un signo inequívoco, no es clara la dirección del efecto de este mecanismo sobre el bienestar. Cabe mencionar que ambos términos tienen casi nula magnitud, por lo que se considera que el efecto agregado sobre el bienestar no es significativo, $RI^v \approx 0$.

El último mecanismo es el efecto sobre el bienestar de la afectación en el mercado de los terrenos y la reubicación de los hogares. Se compone de dos términos, los cuales se desconocen teóricamente:

$$RT^v \equiv N \sum_i \sum_j \pi_{ij} \left(\frac{dr_i}{d\tau^v} - \frac{dr_i}{d\tau^v} \frac{\lambda_{ij}}{\lambda} \right) \quad (24)$$

El primer término representa cambios en los precios de la renta debidos a la decisión de los hogares a reubicarse, los cuales se agregan para conocer el efecto sobre el bienestar social. En el segundo término refleja los cambios, agregados y ponderados, de los costos de alquilar debido a un incremento del impuesto energético. No es claro el signo de ambos términos, por lo que no se desconoce la dirección del efecto de

este mecanismo. Sin embargo, al igual que en el mecanismo anterior, se puede asumir que este mecanismo no es tan relevante, $RT^v \approx 0$.

II. Mecanismos de afectación sobre el bienestar, impuesto al transporte colectivo

Ahora se considera un impuesto óptimo a la tarifa del sistema de transporte eléctrico. En este caso el impuesto al EV se lleva a cero, $\tau^v = 0$, esto implica que los hogares no reciben incentivos por el uso de EV y ven los precios brutos de uso y mantenimiento p^v ; además, la restricción del gobierno se reduce al no cobrar dicho impuesto. Se usará el superíndice s para denotar que el gobierno sólo interviene en el ETS. A continuación, se desarrolla e interpretan los mecanismos que propician el efecto del impuesto sobre el bienestar.

El primer mecanismo es la reacción de las externalidades a la respuesta de la demanda de viajes (o distancia recorrida f) por el incremento del impuesto a la tarifa. Dicho mecanismo es el costo social marginal neto de las externalidades:

$$CSME_n^s = (CME_t^s + CME_{em}^s - BM_S^s - \tau^s VS^s) \left(-\frac{df}{d\tau^s} \right) \quad (25)$$

Los cuatro términos son análogos a las vistas en la sección anterior y mantienen los mismos nombres. El primer costo es

la externalidad de la congestión por unidad de distancia recorrida, se define como

$$CME_t^s \left(-\frac{df}{d\tau^s} \right) \equiv \frac{N \sum_i \sum_j \pi_{ij} \frac{\lambda_{ij}}{\lambda} \theta_{ij} L_{ij} \frac{dt_{ij}}{d\tau^s}}{df/d\tau^s} \left(-\frac{df}{d\tau^s} \right) \quad (26)$$

Vemos que los costos de esta externalidad se mantienen a excepción de que los cambios son promovidos por el incremento unitario del impuesto a la tarifa. Para este caso esperamos la misma dirección del efecto, pero en distinta magnitud. Como consecuencia, $CME_t^s(-df/d\tau^s) < 0 \rightarrow \downarrow \bar{W}$, i.e., incrementar el nivel de impuesto incrementa la afectación de la congestión sobre el bienestar.

Por su parte, la externalidad de la emisión de GHG si representa un cambio con respecto a su análogo en el caso del impuesto energético

$$CME_{em}^s \left(-\frac{df}{d\tau^s} \right) \equiv \left(-\frac{df}{d\tau^s} \right) \alpha \left[em + \frac{f(-\phi^s w^s + v\phi^v w^v + (1-v)\phi^g w^g) \left(-\frac{ds}{d\tau^s} \right)}{df/d\tau^s} \right] \quad (27)$$

El primer término es similar, con mismo signo, pero diferente magnitud, $df/d\tau^s$ en lugar de $df/d\tau^v$. Sin embargo, el sumando restante ahora contabiliza las emisiones de GHG

que se generan al abandonar el ETS ante un incremento del impuesto, $-ds/d\tau^v$. El cambio de decisión de los hogares supone un aumento en las emisiones de GHG del sector de vehículos privados, $v\phi^v w^v + (1-v)\phi^g w^g$, que al ser mayores a las del ETS, $\phi^s w^s$, se tienen costos marginales positivos, $CME_{em}^v > 0$. Estos implican una reducción del bienestar, $CME_{em}^s(-df/d\tau^v) < 0 \rightarrow \downarrow \bar{W}$, de modo que el argumento a favor del subsidio se mantiene.

El siguiente término es el beneficio marginal de los transportistas, $BM_S \equiv BM_S^s = BM_S^v = p^s w^s s > 0$, el cual es idéntico a su contraparte del modelo anterior. El efecto de este beneficio es similar en dirección al impuesto eléctrico, pero con diferencia en magnitud, $BM_S \left(\frac{df}{d\tau^s}\right) > 0 \rightarrow \uparrow \bar{W}$. Por otro lado, el valor social del impuesto base por unidad de impuesto a la tarifa, VS^v , cambia:

$$\tau^s VS^s \left(\frac{df}{d\tau^s}\right) \equiv \eta \eta^s \tau^s w^s \left[s + f \frac{ds/d\tau^s}{df/d\tau^s} \right] \left(\frac{df}{d\tau^s}\right) \quad (28)$$

En este caso ya no nos enfocamos en el sector de vehículos privados (desaparece el $(1-s)$), se tiene un CMRP $\eta^s > 0$, con un factor de corrección η , y todos dimensionan el beneficio monetario de la sociedad por el aumento en la cantidad de la demanda de viajes de los hogares, $df/d\tau^v$,

dejando constante el impuesto a la tarifa, $\tau^s w^s s$. Por otro lado, el sumando restante descuenta este beneficio por una reducción de hogares que toman el ETS, $f ds/d\tau^v < 0$.

En el modelo de impuesto a la tarifa el CMRP es:

$$\eta^s \equiv \frac{N}{N + \tau^g \frac{\partial G}{\partial \tau^{ls}} + \tau^s \frac{dG^s}{d\tau^{ls}}} \quad (29)$$

Comparando con el CMRP del modelo anterior, existe una diferencia en el denominador de $\tau^s \frac{dG^s}{d\tau^{ls}}$. Sin embargo, al resolver el presente modelo, $\tau^v = 0$, vuelve a aparecer el CMRP del modelo anterior, $\tau^v \neq 0$. De este modo, por consistencia, se crea η para que usemos η^s dentro del presente modelo y no η^v del modelo anterior. Dicho factor, η , es tal que $\eta^v = \eta \eta^s$.¹¹

El valor social, VS^s no tiene una dirección a primera vista clara. Sin embargo, en este caso si consideramos que el efecto del impuesto sobre el uso de ETS es muy grande, $ds/d\tau^s$, aunado a que se amplifica por la demanda total de viajes, f , podemos concluir nuevamente que el segundo término sobrepasa al primero. Por lo cual, el aumento de una unidad

¹¹ Para más detalles, consultar el procedimiento en la sección de anexo.

del impuesto disminuye valor social del impuesto y por consiguiente el bienestar, $\tau^S V S^S \left(\frac{df}{d\tau^S} \right) < 0 \rightarrow \downarrow \bar{W}$.

El segundo mecanismo es el efecto sobre el bienestar de las interacciones de los impuestos, vía la restricción gubernamental y las distorsiones de los mercados, esta vez generados por el aumento en el impuesto al ETS

$$EI^S \equiv \eta \eta^S \tau^g f \left[(1 - v) w^g \left(- \frac{ds}{d\tau^S} \right) + \frac{(1 - v) w^g}{f} \frac{df}{d\tau^S} \Big|_{\bar{\tau}^{ls}} - \frac{s w^S}{N} \frac{\partial G}{\partial \tau^{ls}} \right] \quad (30)$$

Al igual que en el mecanismo anterior ya no nos enfocamos en el transporte personal, se contabiliza el CMRP corregido, $\eta \eta^S$. Se tienen tres términos, el primero representa el efecto directo en la recaudación del gobierno al incrementar una unidad de impuesto, i.e., el aumento del impuesto disminuye el uso del ETS e incrementa el uso de ICV y por tanto la recaudación del mercado de gasolina, G . El segundo y tercer término son casi idénticos a sus contrapartes del modelo anterior. La única diferencia es que el tercer término se amplifica por la recaudación G^S , y no por G^V .

La suma de los efectos esta vez es un tanto diferente. El último término ya no es tan pequeño ya que s/N es

sustancialmente más grande que su contraparte, v/N . Este término, sumado al segundo, podría ya ser comparable al primero. Por lo tanto, ya no se tiene certeza de la dirección de este mecanismo, más aún, este mecanismo tiene más relevancia ya que no está descontado por $(1 - s)$, como lo está su contraparte, EI^v .

El siguiente mecanismo es el efecto del cambio de los costos de viajar sobre el bienestar

$$\begin{aligned}
 CT^s &\equiv [f_\lambda(p^s w^s - [vp^v w^v + (1 - v)p^g w^g]) \\
 &\quad - f p^s w^s] \left(-\frac{ds}{d\tau^s}\right) CT^v \\
 &\equiv f_\lambda \left[p^s w^s \left(1 - \frac{f}{f_\lambda}\right) \right. \\
 &\quad \left. - [vp^v w^v + (1 - v)p^g w^g] \right] \left(-\frac{ds}{d\tau^s}\right)
 \end{aligned} \tag{31}$$

Este mecanismo es la reacción de los costos a la redistribución de hogares que dejan de usar ETS y ahora usan vehículos personales, $(-ds/d\tau^s)$. El primer término representa los costos de viaje por distancia recorrida del ETS, mientras que el siguiente los del sector de vehículos personales. Ambos términos se multiplican por la distancia recorrida agregada de los hogares, f_λ . El último término es la pérdida que ven los transportistas ante una reducción de pasajeros que toman el servicio.

Los primeros dos términos reflejan una comparación entre el precio de usar el sistema colectivo, $p^s w^s$, y el precio del sector de vehículos personales. Dado que los precios del sector de vehículos personales son mayores, estaríamos viendo un aumento en los costos de viaje. Esto se debe a que los hogares que dejan de usar el ETS se están enfrentando a costos más grandes al usar un vehículo personal. Este aumento en los costos de viaje de los hogares representa una pérdida de bienestar, el cual se acentúa por la pérdida de ganancias de los transportistas. En este sentido, incrementar una unidad de impuesto genera una pérdida de bienestar, $CT^v < 0 \rightarrow \downarrow \bar{W}$.

Este mecanismo es la reacción de los costos a la redistribución de hogares que dejan de usar ETS y ahora usan vehículos personales, $(-ds/d\tau^s)$, dentro del sector de vehículos personales $(1 - s)$. El cambio de costos depende de la diferencia entre el precio de consumir EV o consumir ICV, por distancia recorrida. Este se multiplica por la distancia recorrida agregada de los hogares, f_λ , que es una distancia ponderada por las desviaciones de la UMI de un hogar con

respecto a la esperanza de la UMI de los hogares, $f_\lambda \equiv N \sum_i \sum_j \pi_{ij} \frac{\lambda_{ij}}{\lambda} f_{ij}$.¹²

El siguiente mecanismo es el efecto de la redistribución de impuestos sobre el bienestar:

$$RI^S \equiv [\tau^s w^s - (1 - v)\tau^g w^g] f_\lambda \left(-\frac{ds}{d\tau^s} \right) + s w^s [f - f_\lambda] \quad (32)$$

Esta vez el primer término refleja una comparación entre el impuesto al ETS y el de gasolina, y el efecto de esta sobre el bienestar. Asimismo, contabiliza la distancia agregada por pesos, f_λ , y se origina el aumento del uso de vehículos personales, $-ds/d\tau^s > 0$. La decisión de los hogares de abandonar el ETS por vehículos personales implica que ya no paguen el impuesto energético, pero sí los otros impuestos. Estos impuestos son cero para el EV y el impuesto de gasolina para el ICV, por lo que sólo esta proporción vería un decremento en su utilidad, $(1 - v)$.

Se mantiene la intuición del modelo anterior: si el nivel de impuesto a la energía fuera exactamente equivalente al de gasolina, no se tendría efectos sobre el bienestar. Si el nivel de

¹² f_{ij} es la distancia total recorrida para ir al trabajo, del hogar con conjunto ubicación ij , definido como $f_{ij} \equiv \delta_{ij} L_{ij}$. También se puede usar en el agregado de la distancia recorrida: $f = N \sum_i \sum_j \pi_{ij} f_{ij}$

impuesto a la gasolina fuese el más grande, entonces veríamos una afectación en el bienestar dado que los hogares pagarían más en el nuevo impuesto, caso contrario si el impuesto a la gasolina fuese menor al impuesto energético.

El segundo término representa cambios en el bienestar por desviaciones de la UMI de los hogares con relación a la UMI promedio, λ_{ij}/λ , para los usuarios del ETS, sw^s . Sabemos que la diferencia de la demanda de viajes depende de $\left(1 - \frac{\lambda_{ij}}{\lambda}\right)$. Nuevamente, si los pagos de impuestos no son uniformes entre estos hogares, existirán desviaciones UMI, $\frac{\lambda_{ij}}{\lambda} \lesseqgtr 1$, i.e., a unos les afecta positivamente, a otros negativamente y a otros no les afecta.

A diferencia del modelo anterior, este último término tiene más relevancia ($s \gg (1 - s)v$, i.e., se están afectando más hogares). Sin embargo, nuevamente no se puede determinar un signo, ni para este ni para el primer término, por consiguiente, no es clara la dirección del efecto de este mecanismo sobre el bienestar, $RI^s \gtrless 0$.

El último mecanismo es el efecto sobre el bienestar de la afectación en el mercado de los terrenos y la reubicación de los hogares. Es casi idéntico que su contraparte del modelo anterior, sin embargo, aquí se verá desde otra perspectiva:

$$\begin{aligned}
RT^s &\equiv N \sum_i \sum_j \pi_{ij} \left(\frac{dr_i}{d\tau^s} - \frac{dr_i}{d\tau^s} \frac{\lambda_{ij}}{\lambda} \right) \\
&= N \sum_i \sum_j \pi_{ij} \frac{dr_i}{d\tau^s} \left(1 - \frac{\lambda_{ij}}{\lambda} \right)
\end{aligned}
\tag{33}$$

Esta vez recuperamos la intuición del mecanismo anterior: los efectos de este mecanismo dependen de desviaciones de la UMI. De este modo, dado el cambio en el impuesto, si el cambio del precio de renta no es uniforme entre los hogares, existirán desviaciones. Por consiguiente, habrá hogares en tablas, hogares ganadores y hogares perdedores. En este caso todos los hogares se ven afectados, pero nuevamente se asume que las desviaciones UMI no son de gran magnitud, por lo tanto, se puede asumir que este mecanismo no es tan relevante, $RT^s \approx 0$.

b. Impuesto socialmente óptimo

El impuesto óptimo se obtiene de la condición de primer orden, para lo cual habría que igualar la Eq. 15 a cero y despejar τ^a presente en los costos sociales marginales, $CSME_n^a$, donde $a \in \{v, s\}$ (Anas, 2012). De este modo el subsidio óptimo es

$$\tau^{a*} = IVS^a [\tau_p^a + EI^a + CT^a + RI^a + RT^a] \forall a \in \{v, s\}
\tag{34}$$

De este modo el impuesto socialmente óptimo es la suma del impuesto pigouviano, $\tau_p^a \equiv (CME_t^a + CME_{em}^a - BM_S) \left(-\frac{df}{d\tau^a}\right)$, que corrige el neto de las externalidades de viajar; el efecto de la interacción de los impuestos, EI^a ; el cambio de costos de trasladarse, CT^a ; y la suma de las redistribuciones de impuestos y terrenos, $RI^a + RT^a$, todos ellos ajustados por el inverso del valor social, i.e.

$$IVS^a \equiv \begin{cases} \left((1-s)\eta^v w^v \left[f \left(-\frac{dv}{d\tau^v} \right) - v \frac{df}{d\tau^v} \right] \right)^{-1} & \text{si } a = v \\ \left(\eta\eta^s w^s \left[f \left(-\frac{ds}{d\tau^s} \right) - s \frac{df}{d\tau^s} \right] \right)^{-1} & \text{si } a = s \end{cases} \quad (35)$$

Toda vez que se discutió el significado de los distintos mecanismos que operan en la Eq. 34, es conveniente analizar los argumentos a favor y en contra de colocar un subsidio. A continuación, se presenta una tabla que informa la dirección del efecto de cada mecanismo sobre el bienestar, dado un aumento unitario de un tipo de impuesto.

Cada efecto se discutió en la sección anterior, en el cual se pudo inferir la dirección de los efectos, mas no su magnitud. Un valor menor a cero representa una afectación negativa al bienestar (--), caso contrario si el valor es mayor a cero (++) . Asimismo, tenemos casos que asumimos de mucho menor magnitud, así como casos en los que se desconoce el sentido

del efecto. El asterisco indica que el efecto se distribuye en todos los hogares, en contraste, los que no tienen asterisco indican que el efecto solamente se aplica a uno de los sectores – los hogares que usan EV, ICV o ETS.

Tabla 1. Dirección del efecto de los mecanismos sobre el bienestar

<i>Tipo de impuesto</i>	<i>Impuesto pigouviano</i>	<i>Interacción de los impuestos</i>	<i>Cambio en los costos de viaje</i>	<i>Redistribución de impuestos</i>	<i>Redistribución de los terrenos</i>
<i>Energía eléctrica</i>	--*	++	++	≈ 0	≈ 0*
<i>Tarifa del ETS</i>	--*	¿?*	--*	¿?*	≈ 0*

(Elaboración propia)

En la tabla se puede observar celdas de distintos colores, cada uno significa lo siguiente: verde es una reducción al nivel de bienestar social, promovido por el mecanismo, ante un aumento del impuesto, i.e., representa un argumento a favor de que el gobierno aplique un subsidio. Las celdas de color naranja indican que la sociedad se vería beneficiada por un impuesto en lugar de un subsidio. Las celdas de color gris son efectos inciertos o nulos del incremento de un impuesto.

Es importante recalcar que no se conocen las magnitudes, no obstante, los asteriscos indican al regulador de políticas públicas los mecanismos a los que debe prestar más atención. Dicho lo anterior, no es posible comparar analíticamente qué instrumento genera mayor bienestar, más aún, no es posible

identificar cuál de los impuestos es mayor. Un impuesto más alto es sinónimo de un subsidio más bajo, el cual representaría menor carga fiscal en la restricción del gobierno. Por consiguiente, un subsidio más bajo sería más fácil de implementar; e.g., gobiernos con presupuestos ajustados o cámaras legislativas que desean reducir sus costos políticos.

Es importante mencionar que estos resultados son soluciones en el óptimo, i.e., *first best*, sin embargo, en un entorno real podría presentarse soluciones *second best*¹³. Motivados por minimizar el gasto, los gobiernos elegirían el menor nivel de subsidio posible, por lo cual podríamos ver afectaciones al bienestar. En particular, siguiendo la tabla 1 como referencia, se vería una disminución en la mitigación de la contaminación, así como la desaparición de la disminución de los costos de viaje. Estos argumentos se deben tomar con cautela, pues estamos utilizando los resultados de *first best*. Para comparar los resultados de este trabajo con un *second best*, se debe resolver el modelo analítico planteando un requisito gubernamental extra, quizá como minimización del gasto público.

¹³ En español segundo mejor, sugiere soluciones analíticas al planteamiento original, pero con restricciones extras. Estas pueden ser técnicas, políticas, sociales o del comportamiento (Laffont, 1988).

5. Conclusiones y recomendaciones

En el presente trabajo se utilizó un modelo espacial de dos zonas que, junto a funciones de utilidad aleatorias, pueden modelar las interacciones de diversos agentes con el fin de determinar un esquema de subsidios óptimos que mejoren el bienestar social. El esquema consiste en la elección de un subsidio, ya sea uno dirigido a incentivar el uso de EV o uno que incentive el uso del sistema de transporte local.

Los subsidios se modelaron en términos de impuestos por cuestiones de simplicidad. Se encontró que existen cinco mecanismos mediante los cuales los impuestos afectan los niveles de bienestar de la sociedad. Cada mecanismo varía en magnitud y en sentido según el impuesto que se elija. La comparación entre subsidios puede hacerse mediante estos mecanismos, sin embargo, no es posible confirmar cuál genera mayor bienestar o cual es más factible para gobiernos con presupuestos más ajustados.

En la literatura se ha mostrado que este tipo de modelos pueden extenderse a un modelo espacial continuo, o bien parametrizarse, el cual puede calibrarse para cierta región, e.g., obtener datos de costo de uso de vehículos personales, tarifa de sistemas de transporte local, etc. Una vez hecha la calibración, los modelos pueden usarse para obtener, de

manera cuantificada, el impuesto/subsidio de una región, como en Reino Unido (Parry & Small, 2005), o en zonas urbanas de Alemania (Hirte & Tscharaktschiew, 2013).

En este modelo se consideran distintas externalidades, tales como: la congestión, la emisión de GHG, la afectación hacia cierto grupo de hogares, entre otros. No obstante, este modelo no lidia con situaciones *ex ante* que podrían incentivar a un gobierno a preferir uno u otro instrumento: e.g, niveles muy altos de contaminación de GHG o PM 2.5/10, desigualdad de ingresos, avenidas y carreteras todo el tiempo con congestión, distorsiones en el sector inmobiliario, etc. De este modo, cuantificar el esquema de subsidios, así como la magnitud y dirección de los mecanismos, podría ser información clave para un hacedor de políticas públicas que se enfrenta a las situaciones *ex ante* antes mencionadas.

La extensión de este modelo podría eliminar las limitaciones previamente mencionadas, así como validar los supuestos que se realizaron durante el planteamiento del modelo. No obstante, utilizar este modelo en distintas regiones supone un problema extra. Como se mencionó en un principio, para que el esquema de subsidios mitigue la emisión de GHG se debe asegurar que la red de transmisión provenga de energías limpias, pero este no es el caso para todas las regiones (Ma, Balthasar, Tait, Riera-Palou, & Harrison, 2012).

Referencias

Anas, A. (2012). The optimal pricing, finance and supply of urban transportation in general equilibrium: A theoretical exposition. *Economics of Transportation*, 1(1-2), 46-76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2012.05.001>

Cooney, G., Hawkins, T. R., & Marriott, J. (2013). Life Cycle Assessment of Diesel and Electric Public Transportation Buses. *Journal of Industrial Ecology*, 689-699.

Gu, H., Liu, Z., & Qing, Q. (2017). Optimal electric vehicle production strategy under subsidy and battery recycling. *Energy Policy*, 109, 579-589.

Hirte, G., & Tscharaktschiew, S. (2013). The optimal subsidy on electric vehicles in German metropolitan areas: A spatial general equilibrium analysis. *Energy Economics*, 515-528.

International Energy Agency. (26 de Noviembre de 2019). *Electric car deployment in selected countries, 2013-2018*. Obtenido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-deployment-in-selected-countries-2013-2018>

Kühne, R. (2010). Electric buses - An energy efficient urban transportation means. *Energy*, 4510-4513.

Laffont, J.-J. (1988). *Fundamentals of Public Economics*. (J. P. Bonin, & H. Bonin, Trans.) London, England: The MIT Press.

Leurent, F., & Windisch, E. (2011). Triggering the development of electric mobility: a review of public policies. *European Transport Research REview*, 221-235.

Lévy, P. Z., Drossinos, Y., & Thiel, C. (2017). The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership. *Energy Policy*, 524-533.

Ma, H., Balthasar, F., Tait, N., Riera-Palou, X., & Harrison, A. (Mayo de 2012). A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. *Energy Policy*, 44, 160-173. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.034>

Parry, I. W., & Small, K. A. (2005). Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax? *American Economic Review*, 95(4), 1276-1289. doi:[10.1257/0002828054825510](https://doi.org/10.1257/0002828054825510)

Rhee, H.-J., Yu, S., & Hirte, G. (2014). Zoning in cities with traffic congestion and agglomeration economies. *Regional Science and Urban Economics*, 44, 82-93. doi:<https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2013.12.002>

Shin, J., Hong, J., Jeong, G., & Lee, J. (2012). Impact of electric vehicles on existing car usage: A mixed multiple discrete-continuous extreme value model approach. *Transportation Research*, 138-144.

Skrúcaný, T., Kendra, M., Stopka, O., Milojevic, S., Figlus, T., & Csiszár, C. (2019). Impact of the Electric Mobility Implementation on the Greenhouse Gases Production in Central European Countries. *Sustainability*, 4948.

Train, K. E. (2009). *Discrete Choice Methods with simulation* (Segunda Edición ed.). New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Zhang, X., Xie, J., Rao, R., & Liang, Y. (2014). Policy Incentives for the Adoption of Electric Vehicles across Countries. *Sustainability*, 8056-8078.

6. Anexo

a. Restricción económica del hogar

Para obtener la restricción económica del hogar se despeja L_{ij} de la restricción presupuestaria (Eq. 1) y de la restricción temporal (Eq. 2)

$$\frac{z_{ij} + r_i + \tau^{ls}}{\omega_j h - c(\cdot)\delta_{ij}} = L_{ij} = \frac{H - l_{ij}}{h + t_{ij}(\cdot)} \quad (\text{A.1})$$

Después se despeja z_{ij} y definimos $\theta_{ij} \equiv \frac{\omega_j h - c(\cdot)\delta_{ij}}{h + t_{ij}(\cdot)}$, entonces tenemos:

$$z_{ij} = \theta_{ij}(H - l_{ij}) - \tau^{ls} - r_i \quad (\text{A.2})$$

Se distribuye θ_{ij} y despejamos los bienes privados y el ocio, definiendo a su vez $Y_{ij} \equiv \theta_{ij}H - \tau^{ls} - r_i$

$$z_{ij} + \theta_{ij}l_{ij} = Y_{ij} \quad (\text{A.3})$$

b. Costo marginal de la recaudación pública

En el impuesto al EV, el costo marginal de la recaudación pública (CMRP) es $\eta^v \equiv \frac{N}{N + \tau^g \frac{\partial G}{\partial \tau^{ls}}}$. Sea este el entorno I.

Por su parte, en el impuesto al ETS (entorno II) este término vuelve a parecer. El problema es el denominador de η^v , que representa las ganancias de recaudación al incrementar una unidad del τ^{ls} en el entorno I, pero no para el entorno II. Esto implica que η^v pierde su interpretación en el entorno II. Para corregir esto se calcula el CMRP en el entorno II.

Primer paso: 1. calculamos el cambio en la utilidad indirecta del hogar ante un incremento del impuesto de suma fija, $dV_{ij}/d\tau^{ls}$, 2. Simplificamos suponiendo que este cambio no afecta de manera directa el precio de equilibrio del tiempo ni la renta, θ_{ij} y r_i , 3. Agregamos $dV_{ij}/d\tau^{ls}$ para todos los hogares.

$$\begin{aligned}
 1. \quad & \frac{1}{\lambda_{ij}} \frac{dV_{ij}}{d\tau^{ls}} = (H - l_{ij}) \frac{d\theta_{ij}}{d\tau^{ls}} - \frac{dr_i}{d\tau^{ls}} - \frac{d\tau^{ls}}{d\tau^{ls}} \\
 2. \quad & -\frac{1}{\lambda_{ij}} \frac{dV_{ij}}{d\tau^{ls}} = 1 \\
 3. \quad & -N \sum_i \sum_j \pi_{ij} \frac{1}{\lambda_{ij}} \frac{dV_i}{d\tau^{ls}} = N \sum_i \sum_j \pi_{ij} = N
 \end{aligned}$$

Segundo paso: 4. De la restricción presupuestaria del gobierno (Eq. 5), se calcula incremento de recaudación ante un incremento en τ^{ls} , 5. Se divide 3. entre 4. y se define como η^s

$$\begin{aligned}
 4. \quad & \frac{dRecaudación}{d\tau^{ls}} = N + \tau^g \frac{\partial G}{\partial \tau^{ls}} + \tau^s \frac{\partial G^s}{\partial \tau^{ls}} \\
 5. \quad & \eta^s \equiv \frac{N}{N + \tau^g \frac{\partial G}{\partial \tau^{ls}} + \tau^s \frac{\partial G^s}{\partial \tau^{ls}}}
 \end{aligned}$$

Una vez obtenido el CMRP del entorno II, elegimos un factor de corrección η para trasladar $\eta^v \rightarrow \eta^s$, o bien, η es tal que $\eta^v = \eta\eta^s$. De 5. y la Eq. 20 obtenemos:

$$\eta = \frac{\eta^v}{\eta^s} = \frac{N + \tau^g \frac{\partial G}{\partial \tau^{ls}} + \tau^s \frac{\partial G^s}{\partial \tau^{ls}}}{N + \tau^g \frac{\partial G}{\partial \tau^{ls}}}$$