ANÁLISIS DE BIENESTAR: UN ENFOQUE DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTABLE

USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

ANÁLISIS DE BIENESTAR: UN ENFOQUE DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTABLE

SERIE: ANÁLISIS ECONÓMICO ROBUSTO PARA UN DESARROLLO BAJO EN EMISIONES

Responsable: Héctor Bravo

Colaboradores: Juan C. Castro Ramírez

Miguel A Gutiérrez Andrade

Este estudio ha sido posible gracias al apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Su contenido es responsabilidad de los autores y no refleja necesariamente el punto de vista de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos de América.

Índice

Resumen Ejecutivo.....4
Introducción: Efecto de los Impuestos a la Emisión de Carbono en el Bienestar Social. 7
Modelo Estático de Equilibrio General Computable 20
Modelo Dinámico de Equilibrio General Computable 44
Conclusiones.....54

Resumen Ejecutivo

Este trabajo tiene como objetivo estimar el efecto en la distribución del ingreso en la economía mexicana que tendría un impuesto que fuera hipotéticamente aplicado para reducir la demanda de combustibles fósiles y consecuentemente, disminuir la emisión de CO_2 a la atmósfera.

Para cumplir con este objetivo, el trabajo desarrolló dos modelos de equilibrio general computable que utilizaron como información básica una matriz de contabilidad social (SAM, por sus siglas en Inglés), la cual fue construida tomando como base la matriz de insumo producto y orlándola con las cuentas necesarias para contar con información suficiente para realizar los análisis.

El primer modelo es estático y con éste se evalúa el efecto distributivo de un impuesto a: (i) el carbón y sus derivados; (ii) la extracción de petróleo y gas, (iii) refinación de petróleo; (iv) energía eléctrica; y (v) un impuesto simultáneo a todos los sectores energéticos. Las simulaciones del estudio incorporan un impuesto ad valorem que va desde el 10% hasta el 100% a la demanda de energía. Es de esperarse que este impuesto modifique los precios relativos de todos los bienes y factores de la economía, con lo cual se modificará el nivel de ingreso de las familias y por tanto su bienestar.

El estudio calcula la caída o el incremento en el bienestar de las familias a raíz de la aplicación del impuesto como el cambio en la variación equivalente de cada familia con relación al equilibrio de referencia. Con el fin de realizar este análisis, se separaron las familias en diez grupos y se ordenaron de menor a mayor ingreso, siendo la 1 la de menores ingresos y la 10 la de mayores ingresos. Asimismo, el estudio calcula el índice de Gini con el fin de medir el efecto del impuesto en la concentración del ingreso.

El modelo estático simuló dos estructuras de sustitución entre bienes energéticos, una en la que la economía sustituye de manera flexible entre los distintos tipos de energía ante cambios en precios y otra con una mayor rigidez en la sustitución, la cual estaría más apegada a la situación actual de México, de acuerdo con la literatura consultada.

El segundo modelo desarrollado bajo el estudio es un modelo dinámico mediante el cual se evalúan los efectos que tendría a lo largo del tiempo la aplicación de un impuesto a la refinación de petróleo que tuviera como objetivo mantener una línea base en la emisión de CO_2 a la atmósfera.

En este caso, se mantuvo constante la política de transferencias del gobierno hacia las familias, observada en el equilibrio de referencia, a lo largo de todo el periodo de análisis. A diferencia de las simulaciones realizadas con el modelo estático, en el caso del modelo dinámico se optó por una sola estructura de sustitución entre bienes energéticos, sustitución unitaria, la cual es muy cercana a la realidad mexicana.

Otra diferencia importante en las simulaciones entre los dos tipos de modelos tiene que ver con la lógica de la política fiscal aplicada. En el caso estático se simularon distintos niveles de impuestos y se calcularon sus efectos en bienestar y equidad, mientras que en el caso dinámico se aplica un impuesto a la demanda de energía con el fin de mantener la emisión en los niveles del año 2004.

El estudio concluye que una economía rígida, es decir, una economía donde existen altos costos para sustituir un combustible por otro ante una modificación en los precios relativos, genera mayores costos sociales que otra economía en donde haya mayor flexibilidad. Además, algunos combustibles fósiles se comportan como sustitutos y otros como complementos. Por ello, el diseño de la política fiscal óptima debe de tomar en cuenta estas características microeconómicas para lograr una mayor eficiencia. La pérdida en bienestar y el efecto redistributivo del impuesto están ligados al tipo de energía que se grave, ya que cada una de ellas tiene efectos distintos. Por lo anterior, una política fiscal óptima que considere los efectos distributivos tiene que considerar las diferentes respuestas de la economía ante la imposición a distintos bienes energéticos.

Como puede observarse en el análisis presentado aquí, la aplicación de un impuesto a los combustibles fósiles es eficiente en la reducción de la emisión de CO_2 a la atmósfera. Sin embargo, el costo de esta política la acaban pagando en diferente medida los distintos estratos familiares en la economía. En general se puede observar que cuando las familias 1 y 10 se ven beneficiadas con la política fiscal aplicada, el resto de la sociedad es la que paga la

reducción de las emisiones, hecho que se explica por el peso específico que tiene la energía en los bienes que consumen los distintos tipos de familia.

Una política pública que tenga como objetivos minimizar el costo social de reducir la emisión de CO_2 vía la aplicación de un impuesto, debe de considerar el tipo de energía fósil que se grava y debe tratar además de incentivar el cambio técnico o revisar la regulación con la que se gestiona la sustitución de energía entre los agentes económicos, es decir, impuesto y subsidios actuales a la energía.

Dado que el probable crecimiento futuro de la economía logrará incrementar los ingresos de las generaciones futuras, es muy importante evaluar los efectos intertemporales de aplicar medidas tanto de mitigación como de adaptación financiadas exclusivamente por la generación actual, ya que de ser así, se estaría aplicando una política regresiva, al obligar a la generación relativamente pobre a subsidiar a las generaciones relativamente ricas.

Introducción: Efecto de los Impuestos a la Emisión de Carbono en el Bienestar Social.

Este trabajo tiene como objetivo calcular el efecto que tiene en la distribución del ingreso de la economía mexicana la aplicación de un impuesto a la demanda de combustibles fósiles con el fin de disminuir la emisión de CO_2 a la atmósfera.

Necesariamente debe contarse con un modelo que sea capaz de integrar los efectos de reasignaciones de bienes y factores ante un choque exógeno simultáneamente con el efecto ingreso en los diferentes estratos en los que se ha dividido la economía. Para hacer estos cálculos se construyó un modelo de equilibro general computable dinámico que utiliza como base para la calibración y la simulación una matriz de contabilidad social base año 2004 con 10 agentes representativos.

Con fines de presentar de la manera más clara posible los resultados obtenidos en este análisis, dividiremos el presente trabajo en las siguientes cinco secciones: en la primera haremos una revisión bibliográfica de la literatura relevante en el tema; posteriormente se discutirá la forma en que se conformó la matriz de contabilidad social, información básica para la realización de nuestro trabajo, presentando en un anexo la matriz completa y el cálculo de los multiplicadores asociados a ella; en la tercera sección, se presenta una versión estática del modelo con el cual se realizan distintos ejercicios de simulación en relación al impacto que tiene gravar la demanda de los distintos sectores energéticos de la economía; en la cuarta sección se presenta el modelo de equilibrio general computable dinámico, la forma en que se resolvió y los resultados obtenidos; finalmente, se presentan los resultados y las conclusiones de la presente investigación en la quinta sección.

Revisión de la Literatura

La propuesta de política pública analizada es la aplicación de un impuesto al carbón sobre cada combustible fósil que sea proporcional a la cantidad de dióxido de carbono emitido al ser consumido. En este caso, se supone que la combustión de cada combustible incide sobre el medio ambiente solamente a través de sus efectos sobre emisiones de carbón. En este

contexto, el impuesto óptimo de Pigou sobre cada combustible será proporcional a su emisión de CO_2.

Los modelos de equilibrio general aplicado (MEGAS) son una herramienta muy popular para el análisis de política impositiva (Devarajan, 1988; Devarajan & Hossain, 1998; Gooroochurn & Milner, 2005; Kumbaro ˘glu, 2003; Yilmaz, 1999). En la actualidad se han diseñado un gran número de MEGAS para analizar la política fiscal que tienen como objetivo disminuir la emisión de carbono. Por ejemplo, Kemfert y Welsh (2000) comparan los efectos económicos de impuestos al carbono bajo diferentes elasticidades de sustitución energía-capital-trabajo usando un modelo dinámico multisectorial. Scrimgeour, Oxley y Fatai (2005) compararon las tasas de impuestos requeridas y la efectividad relativa de impuestos al carbono, energía y petróleo sobre la economía de Nueva Zelanda. Asimismo, usando un MEGA intertemporal para la economía de Noruega, Bye (2000) analiza los costos en el bienestar no medioambiental de incrementar la tasa de impuesto al carbono con una reducción en los impuestos persistentes, al igual que Goulder (1995) que utilizó un MEGA intertemporal dinámico para analizar sobre la economía de Estados Unidos con las distorsiones de impuestos pre existentes. Fisher-Vanden, Shulka, Edmonds, Kima y Pitcher (1997) estimaron los costos de mitigación en India. Wender (2001) empleó un MEGA dinámico para analizar la reforma de impuestos medioambientales en Austria y evaluó los efectos de usar la recaudación por CO_2 para financiar parcialmente el sistema de pensiones. Concluye que, comparado con otras simulaciones de política también ayudan a la disminución de CO_2, la opción "CO_2-cum-pensión" sería la más favorable en términos de crecimiento, demanda de servicios de trabajo, inversión privada y consumo.

Zhang y Baranzini (2004) hicieron una revisión de los estudios empíricos sobre los impuestos existentes carbono/energía y enfatizan que la manera en que se recircula la recaudación es fundamental para determinar el impacto económico de los impuestos al carbono.

Dado que nuestro objetivo final es evaluar en términos de bienestar, es importante tener claro las diferencias entre medidas de bienestar en equilibrio parcial y en equilibrio general. Kokoski, M. y Smith, K. (1987) evalúan los errores en mediciones de equilibrio parcial referentes a los cambios en bienestar como resultado de grandes cambios multisectoriales como producto de choques exógenos en la economía.

Por otro lado, la evidencia de los impactos del calentamiento global han llevado a sugerir diversas políticas de mitigación. Así, por ejemplo, la Unión Europea a finales del 2006 propuso el objetivo ambicioso de reducir sus emisiones de gas, para el año 2020, al 20 por ciento de los niveles de 1990. Como parte de las negociaciones de acceso a la Unión Europea, Turquía espera enfrentar una presión adicional para introducir un plan de cambio climático con niveles de emisión mínimas específicas de abatimiento, C¸ a˘gatay Telli, Ebru Voyvoda, Erinc¸ Yeldan (2007). Dada esta motivación, los autores utilizan un modelo de equilibrio general computable para estudiar los impactos económicos de los escenarios de política para cumplir con los compromisos del protocolo de Kyoto, utilizan un modelo en la tradición walrasiana con 10 sectores de producción y un gobierno operando en una macroeconomía abierta. Se modela proponiendo funciones de producción flexibles, sustitución imperfecta en el comercio y desempleo abierto.

Para el caso mexicano, se elaboró un modelo con una alta desagregación, aprovechando la información disponible: 20 sectores de bienes intermedios, cuatro de ellos de bienes energéticos, 10 bienes finales producidos con los bienes intermedios, y 10 familias. En la siguiente sección se describe la matriz de contabilidad utilizada en el trabajo.

Matriz de Contabilidad Social

En este trabajo nos proponemos realizar un análisis de los impactos económicos de disminuir la emisión de CO_2 a la atmósfera, a través de la reducción de la demanda de combustibles fósiles, para lo cual se realizará un análisis de equilibrio general.

La información básica para realizar los análisis antes mencionados es la matriz de contabilidad social (SAM, por sus siglas en Inglés). Ésta se construye tomando la matriz de insumo producto (MIP) como base y orlándola con las cuentas necesarias para contar con información suficiente para realizar los análisis.

En el caso que nos ocupa, utilizamos una SAM con información del año 2004 elaborada Téllez, Cantú, Grimaldo y González (2009) para la economía mexicana. Para responder a la pregunta que motiva la realización de este trabajo, fue necesario desagregar el sector energía,

lo cual se hizo con la información de la matriz de insumo producto de 72 sectores actualizada al año 2003.

El término impacto económico se refiere a los efectos de una actividad económica (agente de impacto) sobre un sistema económico, los cuales se miden en términos de unidades monetarias y del número de empleos.

Los efectos de una actividad económica usualmente se extienden más allá del incremento inicial del producto, ingreso y del empleo generado por la actividad. Por ejemplo, si las empresas compran insumos (equipo, gasolina) de los oferentes locales, la producción de estos insumos genera un incremento adicional de producto, ingreso y empleo en la economía local. Los oferentes a su vez, compran bienes y servicios de otras firmas locales. Hay efectos posteriores del gasto secundario que se generan como parte de la cadena de producción.

De manera similar, las familias reciben ingresos provenientes del empleo generado con las actividades del gasto inicial en bienes y servicios locales. Estos ingresos son utilizados en compras que generarán a su vez, nuevos empleos y así sucesivamente.

Como resultado de estas rondas sucesivas de gasto (i.e. compras locales), el impacto total sobre la economía excede al efecto inicial del producto, ingreso y empleo generados. Sin embargo, cada ronda sucesiva de gasto disminuye en relación a la anterior e involucra algo de la producción de bienes y servicios provenientes de fuera de la región bajo estudio. Estas “cadenas” de gasto eventualmente limitan al número de rondas sucesivas de gasto.

El impacto de una actividad económica llega a ser más complejo si la actividad afecta variables macroeconómicas, tales como los tipos de cambio o los costos de los insumos. Por ejemplo, el establecimiento de una actividad importante de la exportación puede dar lugar a un ascenso inicial del tipo de cambio, debido al aumento en las exportaciones. Este movimiento podría reducir la competitividad de ciertas actividades de la exportación o del reemplazo en las importaciones causando una contracción en algunos sectores industriales. Esta contracción podría compensar en parte la expansión de los sectores asociados a la actividad de la exportación. Habría una gama de ajustes complejos a través de la economía en respuesta a

estos cambios. Además, estos ajustes estarían ocurriendo en un ambiente dinámico afectado por una gran diversidad de fuerzas globales y locales.

Técnicas Analíticas

Existen varios enfoques para analizar los efectos de una actividad económica sobre el producto, el ingreso y el empleo. Entre ellas destacan:

- Modelos del multiplicador, que implican el análisis de insumo-producto; éste es el método básico conocido como el multiplicador Keynesiano;
- Modelos integrados, que combinan análisis de insumo-producto y técnicas econométricas para analizar la respuesta de la economía en un cierto plazo a los choques externos, y;
- Modelos de equilibrio general computable (MEGA), que estiman la variación del conjunto de variables económicas en respuesta a choques exógenos.

La técnica apropiada para analizar el impacto económico de una actividad particular se determina por las características de la actividad misma, así como de la región considerada, siempre de acuerdo con el propósito del análisis. La disponibilidad de datos es también un factor importante. Además, el tiempo y los recursos asignados a un estudio pueden afectar la opción elegida.

De modo general, un multiplicador es un índice (cociente) que indica el cambio total en el nivel de actividad económica que resulta de un cambio inicial en la actividad analizada. Este agrega todas las rondas sucesivas de gasto que se generan como resultado del incremento inicial de una actividad, suponiendo que los precios se mantienen fijos y que no existen límites en los recursos.

Los modelos de equilibrio, MEGA, son más sofisticados que el análisis del multiplicador. Incorporan más efectos de respuesta, pero su uso para los estudios regionales está restringido por limitaciones de los datos y altos costos.

El análisis de insumo-producto proporciona una buena combinación de las medidas relevantes de la actividad, las medidas de impacto desagregado, el rigor analítico y el costo.

Análisis Insumo-Producto

El análisis de insumo-producto es el método más riguroso y más detallado para la valoración de multiplicadores. Es también el de uso más generalizado en los estudios de impacto económico. Sin embargo, es también un método costoso que requiere de una gran cantidad de datos por sector, además de un alto nivel de análisis económico.

El análisis de insumo-producto se basa en un sistema de tablas que cuantifican las transacciones entre diversos sectores de la economía. Puede utilizarse en el cálculo de los multiplicadores para varios impactos, por ejemplo, producto, empleo e ingreso. Los multiplicadores permiten medir los efectos directos, indirectos e inducidos.

Los modelos de insumo-producto incorporan varios supuestos que afectan el rigor de los resultados. Se enmarcan dentro de un análisis estático, el cual supone que los requerimientos de insumos son directamente proporcionales al producto (el supuesto de linealidad) y que los precios relativos están fijos.

El análisis de insumo-producto no incorpora restricciones por el lado de la oferta (e.g. escasez de trabajo), economías o deseconomías de escala, substitución de insumos, efectos sinérgicos, economías o deseconomías externas, o cambios en tecnología.

Análisis del Multiplicador Keynesiano

El multiplicador Keynesiano se deriva de un modelo macroeconómico que expresa al ingreso en función del consumo, de la inversión, del gasto de gobierno, de las exportaciones y de las importaciones.

El proceso de estimación implica una solución para la relación siguiente:$k = [1/(1-t)(c-m)]$, donde k es el multiplicador, t es la tasa de impuestos, c es la

propensión marginal a consumir y m es la propensión marginal a importar. El análisis del multiplicador Keynesiano ha sido utilizado en un gran número de estudios de impacto económico. Sin embargo, este análisis genera un solo multiplicador de la renta para todas las industrias en la región y no permite al analista obtener los multiplicadores de impacto para cada una de las actividades económicas o las estimaciones desagregadas del impacto total. Proporciona únicamente una estimación del efecto inducido del consumo. La falta de datos puede hacer difícil la estimación del sistema de ecuaciones para calcular los multiplicadores Keynesianos en el ámbito regional.

Multiplicadores de Impacto Existentes

En algunos estudios de impacto económico, se usan estimaciones ya existentes del multiplicador para calcular los efectos. Las fuentes de estos multiplicadores incluyen estudios anteriores de la misma actividad o multiplicadores para agrupaciones más amplias de la industria.

Este enfoque es rápido, requiere recursos mínimos y proporciona una indicación de la magnitud de los resultados a esperar en un estudio más comprensivo del impacto económico. Sin embargo, las estimaciones existentes del multiplicador pueden no reflejar exactamente los multiplicadores subyacentes para la actividad analizada pues hay diferencias en las características de las actividades. Los encadenamientos económicos (y por lo tanto los multiplicadores) también varían entre las regiones y entre los sectores industriales. Además, los multiplicadores subyacentes pueden cambiar en un cierto plazo, por lo que las antiguas estimaciones pueden no reflejar condiciones actuales. El uso de multiplicadores obtenidos en estudios anteriores significa una debilidad en el análisis metodológico.

Análisis de Insumo-Producto

El análisis de insumo-producto fue desarrollado inicialmente en los años 30 para la economía de los E.U. (Butler & Mandeville, 1981). Las matrices de insumo-producto nacionales fueron desarrolladas posteriormente para muchos otros países. La técnica fue aplicada primero a

regiones pequeñas, en los E.U., durante los años 50. Los estudios se basaron inicialmente en coeficientes sin ajustar de las matrices nacionales.

Las matrices regionales, que incorporaban datos locales sobre el encadenamiento entre los sectores industriales, se produjeron a partir de los últimos cincuenta años. El análisis de insumo-producto se centró inicialmente en modelos de una sola región. Los impactos económicos eran estimados para la región del estudio, y el resto del mundo era agregado en otra región. Los modelos multirregionales e interregionales fueron desarrollados posteriormente.

En este trabajo se utiliza un modelo lineal multisectorial con el objetivo de captar cuál es la contribución de las variables exógenas a la creación de rentas en el interior de una economía, efectuando una representación de flujo circular de la renta en un contexto de economía abierta. Es importante hacer notar que en esta economía las cuentas exógenas que se incluyen son: sector externo, cuenta de capital y gobierno.

Los modelos de multiplicadores lineales permiten captar los efectos desagregados que se generan en la actividad económica de los distintos agentes a partir de las relaciones de flujo circular de la renta. Este tipo de modelos, que incorporan la hipótesis de precios fijos y de comportamiento lineal de los agentes económicos, toman como punto de partida las relaciones contables inherentes a cualquier matriz de contabilidad social (MCS).

El análisis del multiplicador es una derivación del Modelo de Insumo-Producto (MIP) de Leontief. Se inspira en el supuesto keynesiano de que en el mercado prevalece una situación de equilibrio con desempleo. Por tanto la demanda (i.e. las variables exógenas) es la única que influye sobre los niveles de producción.

La MCS no sólo muestra los flujos de ingreso que se dan entre los agentes económicos, sino que permite medir las relaciones de cambio existentes entre ellos mismos. Dichas relaciones se conocen como Multiplicadores Contables y fueron desarrollados por Pyatt y Round (1979). Su cálculo permite determinar los diferentes tipos de comportamiento que exhiben los agentes de acuerdo con sus diferentes formas de implantarse en la estructura económica y con las relaciones que se observan entre ellos.

La capacidad explicativa del marco de multiplicadores depende, en gran medida, de cuáles sean las cuentas que se incorporen endógenamente en la definición del modelo. El supuesto convencional de la literatura está basado en las aportaciones pioneras de Stone (1978) y de Pyatt y Round (1979). Bajo el enfoque de estos autores se consideran endógenas las cuentas de las actividades productivas, del valor añadido y de los agentes privados de la economía, poniéndose de manifiesto los efectos sobre la producción sectorial y sobre la distribución mediante una perspectiva de flujo circular de la renta.

El criterio de endogeneidad de estos autores responde a una versión de flujo circular de la renta en una economía cerrada. No obstante, puede resultar interesante efectuar una ampliación del modelo para incorporar las ligas existentes entre la economía interna y los agentes externos. En particular, pensamos que este ejercicio tiene relevancia en el análisis de economías regionales, debido a que se caracterizan por una elevada tasa de apertura hacia los mercados externos. Para estas economías, la representación de economía cerrada ignora los vínculos que existen entre la demanda de exportaciones y la actividad interior, omitiendo por lo tanto un componente significativo del mecanismo de creación de renta regional.

Suponemos que se mantiene constante la estructura de ingresos y gastos en todas las partidas. Por otra parte, debemos dividir las cuentas de la matriz de contabilidad social en dos categorías diferenciadas: cuentas endógenas y cuentas exógenas. El criterio tradicional de Stone y Pyatt y Round consiste en incorporar endógenamente las cuentas de las empresas y los consumidores; por lo tanto, este supuesto refleja el proceso de generación de rentas mediante una representación de flujo circular de la renta en una economía cerrada.

Por lo general, en los estudios de impacto económico de la actividad de determinados sectores o acciones de política pública, se distinguen tres tipos de impactos o efectos:

- El *impacto directo* mide el impacto inicial en el sector a que pertenece la actividad en análisis, antes de producirse los ajustes en las producciones de los demás sectores.
- El *impacto indirecto* mide, en contraste, los ajustes en los niveles de producción de los demás sectores en respuesta a las nuevas demandas de inputs (insumos) que se originan para poder acomodar el nivel de producción del sector en el que originalmente recae la nueva demanda final.
- El *efecto inducido* muestra el impacto que el crecimiento de los ingresos, vía demanda,

tiene sobre los niveles de actividad. Esto es, la generación de nuevos ingresos contribuirá a una ampliación de la capacidad adquisitiva de los consumidores receptores de nuevas ingresos y, por consiguiente, a un efecto adicional sobre la demanda final.

Para medir el efecto inducido, requiere utilizarse la metodología de las Matriz de Contabilidad Social, la cual, como se ha mencionado, es una extensión analítica y cuantitativa de la Matriz Insumo Producto.

La estructura del análisis input-output parte de la siguiente identidad contable:

PRODUCCIÓN TOTAL = DEMANDA INTERMEDIA (AX) + DEMANDA FINAL (Y)

La relación anterior puede expresarse como:

$$\mathbf{X = AX + Y} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Donde:

X representa el vector de la producción total;

Y es el vector de la demanda final; y

A es una matriz cuadrada de coeficientes técnicos, que representamos por a_{ij}, que representa la cantidad de insumo i necesaria para producir una unidad del bien j.

Despejando X de la expresión (1), se obtiene:

$$X - AX = Y \qquad \text{ó} \qquad X(I - A) = Y$$

Donde I = matriz identidad

Finalmente,

$$X = (I-A)^{-1} Y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Con base en la expresión (2) anterior, se puede obtener las variaciones de los niveles de producción (*output)* de acuerdo a los cambios en la demanda final a partir de:

$$\Delta X = (I - A)^{-1} \Delta Y$$

La matriz $M_L = (I–A)^{-1}$ se conoce como la *matriz de multiplicadores de Leontief* y, como se ha señalado antes, mide el impacto de interdependencia *directo* e *indirecto* ejercido sobre todos los sectores de la economía (nacional o regional) en respuesta a un cambio unitario en la demanda final del sector concreto que se analiza.

Matriz de Contabilidad Social

Para derivar analíticamente el efecto inducido se parte de la SAM. Supóngase que el total de cuentas N de la SAM se particiona en m cuentas endógenas y k cuentas exógenas y que se denota por X_m y X_k los niveles de output, ingreso o gasto (según el tipo de sector o tipo de agente que se considere) de las cuentas endógenas y exógenas, respectivamente. Si se divide cada elemento de dicha matriz por el total de su columna correspondiente, esto es, si se normaliza por columnas, la SAM se puede presentar como sigue:

$$\begin{pmatrix} X_m \\ X_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{mm} & A_{mk} \\ A_{km} & A_{kk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_m \\ X_k \end{pmatrix}$$

donde las submatrices A representan los coeficientes normalizados de la SAM.

Despejando en la expresión anterior podemos obtener, para las cuentas endógenas, las siguientes expresiones:

$X_m = A_{mm} X_m + A_{mk} X_k$

$X_m = (I–A_{mm})^{-1} A_{mk} X_k = M Z$

donde $M_A = (I – A_{mm})^{-1}$ se denomina como la *matriz de multiplicadores contables*. Si el índice m coincide con el número de sectores productivos de la tabla *input-output*, la matriz coincidirá en su formato con la clásica inversa de Leontief, denotada anteriormente como M_L.

Para poder realizar el análisis comparativo de impacto se requiere «truncar» la matriz de multiplicadores contables SAM para hacerla coincidir en dimensión con la matriz clásica de multiplicadores simples del modelo *input-output*, M_L.

La diferencia entre las matrices de multiplicadores M_A y M_L, mide el impacto inducido, mientras que el impacto directo e indirecto es medido sólo por M_L, que puede ser descompuesta en dichos dos efectos:

$M_A - M_L$	efecto inducido
$I + A$	efecto directo
$M_L - I - A$	efecto indirecto

Como anteriormente se ha dicho, M_A será la matriz de multiplicadores contables, y M_L la matriz inversa de Leontief, y cada elemento (i, j) de dichas matrices de multiplicadores indicarán el incremento en la producción total del sector i necesario para satisfacer un incremento de una unidad en la demanda final del sector j, en el primer caso contemplando los efectos de retroalimentación del consumo y en el segundo sin contemplar.

Dado que la matriz de multiplicadores contables recoge todos los efectos (directo, indirecto e inducido), se puede trabajar directamente con dicha matriz:

M_A= *efecto directo* + *efecto indirecto* + *efecto inducido* = $(I + A) + (M_L - I - A) + (M_A - M_L)$

A partir de dicha matriz se pueden obtener los *multiplicadores de output* o *producción*, los cuales vendrán dados por las sumas de los elementos de las columnas j-ésimas de dicha matriz, ofreciendo los efectos totales que un cambio exógeno unitario sobre una cuenta sectorial concreta tiene sobre el conjunto de la actividad económica.

En tal sentido, aquellas cuentas que presenten los mayores valores para estos multiplicadores totales como suma de columnas podrán ser consideradas como ramas de actividad o sectores económicos claves o prioritarios y que, según el objetivo que se tenga, arrojarían mayores efectos a partir de impulsos desde cualquiera de la cuentas exógenas.

Construcción de la Matriz de Contabilidad Social (SAM)

Para la realización de los análisis de multiplicadores y de equilibrio general computable, es necesario contar con una SAM que permita, en el primer caso, el cálculo de los multiplicadores y en el segundo la calibración del modelo y su posterior validación.

Dado que uno de los objetivos principales de estos estudios es el de analizar los efectos distributivos de las políticas contra la emisión de contaminantes, la SAM debe contar con la desagregación adecuada para verificar en cada estrato en que se haya separado la información referente al consumo final, cuál ha sido el efecto en el ingreso de los consumidores de cada una de las políticas.

Habida cuenta del tiempo y los recursos con lo que se contó para la realización del proyecto, no fue posible realizar encuestas específicas para la construcción de la SAM, razón por la cual se tomó como base la matriz construida por Téllez, Cantú, Grimaldo y González (2009) para el análisis de la generación y distribución del ingreso en México. Esta SAM tiene la ventaja de contar con la desagregación deseada en cuanto a los consumidores finales.

La principal desventaja que presenta esta matriz es que en la parte de transacciones inter industriales no cuenta con la desagregación en el sector energético, desagregación que sí contaban versiones anteriores de la matriz insumo producto, lo que hizo necesario que con información de años anteriores se adecuara la matriz de Téllez et al. para poder realizar los cálculos necesarios para responder las preguntas de investigación planteadas.

Tanto la matriz de contabilidad social como los multiplicadores obtenidos, se muestran en el anexo A.

Modelo Estático de Equilibrio General Computable

Este modelo representa el punto de partida para el análisis dinámico de los efectos en equidad de la aplicación de un impuesto a la demanda de combustibles fósiles.

En este modelo se representa una economía abierta en competencia perfecta en todos los mercados, diez agentes, diez bienes de consumo final, veinte bienes intermedios, cuatro de los cuales pueden considerarse energía y dos factores de producción, capital y trabajo.

Una particularidad de esta economía es que el trabajo se especializa en cada sector productivo, por lo que se cuenta con veinte tipos de trabajo distintos. Las familias derivan ingreso de la renta de sus distintos tipos de trabajo, de las transferencias que reciben del exterior, de las transferencias del gobierno y de las rentas derivadas de los dividendos por la posesión de acciones en empresas privadas, el capital pertenece a las empresas. Las empresas se dividen en dos tipos: las que producen bienes intermedios y las que producen bienes finales.

En esta economía hay un gobierno que consume bienes finales, recauda por la aplicación de distintos impuestos, con esta recaudación realiza transferencias a las familias y financia su propio consumo.

El Modelo queda especificado de la siguiente manera:

Bienes y factores

Se producen diez bienes finales, que se denominan de la siguiente manera:

$Xh_i^l, i = 1,..,10; l = 1,..,10$, esto es, la cantidad del bien i que consume la familia l

Estos bienes finales se producen con bienes intermedios, denominados $Xf_i^j, i = 1,..,10; j = 1,..,20$, es decir, la cantidad del insumo j para producir el bien i. Dentro de los bienes intermedios se distinguen cuatro bienes energéticos.

Los factores de la producción son dos: K_j, es decir la cantidad de capital utilizada en la producción del bien intermedio j y $L_j^k, j = 1,..,20; k = 1,..,20$ que denomina a la cantidad del

trabajo tipo k para producir el bien j. En la economía existe una cantidad fija de capital $\overline{K}$ y de tipo de trabajo $\overline{L_k}$

Consumidor.

Las preferencias del consumidor se pueden representar por medio de una función de utilidad cuasi cóncava, continua y dos veces derivable. Los parámetros de esta función de utilidad son las canastas de consumo de las familias formadas por bienes de consumo final, por lo que podemos representar la función de utilidad para la familia l de la siguiente manera: $U^l(Xh_1^l, .., Xh_{10}^l)$.

Por otro lado, el ingreso de la familia l está determinado por las rentas derivadas de la venta de los servicios de sus distintos tipos de trabajo, de la rentas obtenidas por su participación en empresas, por las transferencias del sector externo y por las transferencias del gobierno, es decir, los ingresos de la familia l se definen como: $m_l = \sum_{j=1}^{20} w_j L_j^l + \theta_l \pi + \varepsilon_l + \varphi_l T$. Donde w_j es el salario de los distintos tipos de trabajo, $\theta_l \pi$ la participación de las empresas, ε_l las transferencias del exterior y $\varphi_l T$ las transferencias del gobierno para cada familia l.

El gasto de la familia está dado por: $\sum_{i=1}^{10} ph_i \, Xh_i^l$. Donde ph_i es el precio de cada uno de los bienes de consumo final. Asumiendo que las familias tienen un comportamiento racional y por ende que maximizan su función de utilidad sujeta a su restricción presupuestaria, podemos determinar la demanda marshalliana por el bien i como la función que resuelve este problema y que es función de los precios y del ingreso, la expresamos de la siguiente manera: $Xh_l^{*i}\left(p_i, m_l(w_j)\right)$.

Productor

Se distinguen tres tipos de bienes en la economía: los bienes intermedios, los bienes energéticos y los de consumo final. Con el fin de hacer más realista el modelo, los bienes intermedios se modelan con una función de producción anidada Leontief-CES-CES, por lo que podemos representarla de la siguiente manera: $Y_S = min\left\{\frac{Y_S}{a_S}, \frac{Y_E}{E_S}, \frac{VA}{va_S}\right\}$, donde Y_S, es la cantidad de bienes intermedios, Y_E, la cantidad de bienes energéticos y VA la cantidad de valor añadido (capital y trabajo) necesarios para producir la cantidad de bien intermedio Y_S.

Tanto la energía como los factores de producción pueden sustituirse en función de sus precios relativos, las posibilidades de sustitución se modelan a través de sendas funciones CES, es decir $Y_E = [\sum_{i=1}^{4} \propto_i (Y_{Ei}{}^{\rho})]^{1/\rho}$ con $\sum_{i=1}^{4} \propto_i = 1$, donde $\propto_i$ es la proporción del bien energético Y_{Ei} usado en la producción del bien energético y ρ es la elasticidad de sustitución.

De la misma manera el valor añadido para cada tecnología se expresa como $VA_S = \left[\beta_L L^{\delta} + \beta_K K^{\delta}\right]^{1/\delta}$, donde β_L y β_K son respectivamente las proporciones de trabajo y capital usado y δ es la elasticidad de sustitución.

Para determinar las demandas condicionadas de factores y bienes intermedios asumiremos que los productores minimizan costos de producción sujetos a un mínimo de producción, $\bar{Y}$, por lo que el problema que resuelven es el siguiente: $Min \sum_{i=1}^{16} p_i Y_i + \sum_{j=1}^{4} p_{Ej} Y_{Ej} + wL + rK$ sujeto a $AY_S^{\propto 1} Y_E^{\alpha 2} VA^{\propto 3} \geq \bar{Y}$.

De la solución del problema anterior se determinan las demandas condicionadas de factores del bien i para producir el bien j que son funciones que dependen de los precios y de la cantidad producida, es decir, $Xf_i^{*j}\left(p_j, w, r, \bar{Y}\right)$ donde p_j son los precios de los j bienes intermedios usados como insumos, w el precio del trabajo, r el precio del capital e $\bar{Y}$ la cantidad de bien producida.

Gobierno

En esta economía el gobierno cumple con tres funciones principales: 1) recauda dos tipos de impuesto: un impuesto indirecto ya preexistente y un nuevo impuesto a la demanda de combustibles fósiles, este nuevo impuesto se simulará para verificar los efectos en bienestar; 2) consume bienes de consumo final en representación de la sociedad y 3) redistribuye a las familias el monto recaudado de acuerdo a una política redistributiva ad-hoc. Por tanto, el ingreso del gobierno se puede especificar como: $I_G = \sum_{S=1}^{16} \tau_S p_S Y_S + \sum_{E=1}^{4} \tau_E p_E Xf_E$ y el gasto del gobierno como: $G_G = \sum_{l=1}^{10} \theta_l R + \sum_{i=1}^{10} p_i Xh_i^G$, donde τ_S es la tasa impositiva al bien S, τ_E es la tasa impositiva a las demandas de energía E, θ_l es la proporción que recibe la familia l del gasto de gobierno dedicado a las transferencias a las familias, R y Xh_i^G la demanda de gobierno por el bien de consumo final i.

Sector externo

El sector externo en esta economía se trata de una manera muy simple asumiendo que los bienes importados son sustitutos cercanos de los bienes domésticos y que el sector externo se vacía.

Equilibrio

Se define el equilibrio como un vector de precios de bienes finales, ph_i^*, un vector de precios de bienes intermedios, pf_j^*, un vector de precios de factores, $w_1^*,..,w_{20}^*,r^*$, una asignación de bienes finales, $Xh_i^l(ph_i^*,m_l)$, una asignación de bienes intermedios, $Xf_i^j\left(pf_j^*,\overline{Y_i}\right)$, una asignación de factores, $K_j(w_1^*,..,w_{20}^*,r^*), L_j^k(w_1^*,..,w_{20}^*,r^*)$, un vector de impuestos indirectos, τ_S y un vector de impuestos ambientales, τ_E, tales que:

1) Se vacían los mercados de bienes finales, es decir: $\sum_{l=1}^{10} Xh_i^l(ph_i^*,m_l) = Y_i$ para todo $i = 1,..,10$
2) Se vacían los mercados de bienes intermedios, es decir: $\sum_{j=1}^{20} Xf_i^j\left(pf_j^*,\overline{Y_i}\right) = Y_i$ para todo $i = 1,..,20$
3) Se vacían los mercados de factores, es decir: $\sum_{j=1}^{20} K_j\,(w_1^*,..,w_{20}^*,r^*) = \overline{K}$ y : $\sum_{j=1}^{20} L_j^k\,(w_1^*,..,w_{20}^*,r^*) = \overline{L^k}$ para toda $k = 1,..,20$
4) Las familias maximizan su utilidad, es decir eligen la canasta de bienes: $Xh_l^{*1}\left(ph_1^*,..,ph_{20}^*,m_l(w_j)\right),\dots,Xh_l^{*10}\left(ph_1^*,..,ph_{20}^*,m_l(w_j)\right)$ tales que $Xh_l^{*1}\left(ph_1^*,..,ph_{20}^*,m_l(w_j)\right),\dots,Xh_l^{*10}\left(ph_1^*,..,ph_{20}^*,m_l(w_j)\right)$

$$\epsilon \arg\max\left\{\left(U^l\left(Xh_1^l,..,Xh_{10}^l\right)\middle|\sum_{i=1}^{10} ph_i\,Xh_i^l \le \sum_{j=1}^{20} w_j L_j^l + \theta_l\pi + \varepsilon_l + \varphi_l T\right)\right\}.$$

5) Las empresas que producen bienes intermedios minimizan costos eligiendo la canasta de bienes intermedios, $Xf_i^j\left(pf_j^*,\overline{Y_i}\right)$ y de factores $K_j(w_1^*,..,w_{20}^*,r^*)$, $L_j^k(w_1^*,..,w_{20}^*,r^*)$ tales que:

$$\epsilon\, arg\min\left\{\left(\sum_{i=1}^{20} pf_i\,Xf_i^j\left(pf_j^*,\overline{Y_i}\right) + rK_j(w_1^*,..,w_{20}^*,r^*) + \sum_{i=1}^{20} w^k\,L_j^k(w_1^*,..,w_{20}^*,r^*)\middle|\dots\right)\right\}$$

$$\epsilon\, arg\min\left\{\left(\dots\middle|f_j\left(Xf_i^j,K_j,L_j^k\right) \ge Y_j\right)\right\}$$

6) Las empresas que producen bienes finales minimizan costos eligiendo una canasta de bienes intermedios $Xf_i^j(pf_j^*, \overline{Y_\iota})$ tales que $\epsilon\ arg\ \min\{(\sum_{i=1}^{20} pf_i\, Xf_i^j(pf_j^*, \overline{Y_\iota}) | f_j(Xf_i^j) \geq Y_j)\}$
7) El gobierno incurre en déficit cero, es decir $\sum_{S=1}^{16} \tau_S p_S Y_S + \sum_{E=1}^{4} \tau_E p_E Xf_E = \sum_{l=1}^{10} \theta_l R + \sum_{i=1}^{10} p_i Xh_i^G$
8) En el sector externo las exportaciones se igualan a las importaciones.

Calibración

Para hacer funcional este modelo, es necesario calibrar cada una de las funciones que lo componen. Casi la totalidad de la información necesaria para calibrar el modelo se encuentra en la SAM, misma que se reporta en el anexo A. Cada sector de la MIP contenida en la SAM se modela como un bien específico, así como los bienes finales, por tanto cada bien se modela y calibra con una función de producción específica. En adelante usaremos el término bien y sector indistintamente.

Simulaciones

Dada la forma de anidación de las funciones de producción fue necesario tomar dos valores extremos de las elasticidades de sustitución en la anidación de las energías para probar dos situaciones extremas: una en la que la economía sustituye de manera flexible entre los distintos tipos de energía, $\rho = 20$ ante cambios en precios y otra con una mayor rigidez en la sustitución, $\rho = 0.2$. De acuerdo a Ibarra (1990) y Salgado, H. y Bernal, L. (2007), un valor que refleja la situación tecnológica del país estaría cercano a 1.0, por lo que de las simulaciones realizadas, las que mejor reflejan la situación del país son las que hemos denominado rígidas.

Como se ha mencionado el objetivo principal de este trabajo es identificar cuáles son los efectos en la distribución del ingreso de aplicar un impuesto a la demanda de energía con el fin de disminuir la emisión de CO_2 a la atmósfera, por tanto en las simulaciones que se hacen se incorpora un impuesto ad valorem que va desde el 10 hasta el 100% a la demanda de energía. Es de esperarse que este impuesto modifique los precios relativos de todos los bienes y factores de la economía, con lo cual se modificará el nivel de ingreso de las familias y por tanto su bienestar. Se calcula el índice de Gini con el fin de medir el impacto en la concentración del ingreso.

Con ambos tipos de elasticidad de sustitución energética se hicieron dos clases de simulaciones: gravando a cada tipo de energía por separado y gravando a todos los bienes energéticos simultáneamente. Debe recordarse que debido a la forma en como se construyó el modelo, existe la posibilidad que los agentes económicos sustituyan entre los distintos combustibles fósiles que pueden utilizar cuando el precio de alguno de ellos aumenta como consecuencia de la aplicación de los impuestos y los otros no, por tanto la producción de CO_2 no necesariamente disminuye proporcionalmente al tamaño del impuesto.

Se calcula también la caída o el incremento en el bienestar de las familias como el cambio en la variación equivalente de cada familia con relación al equilibrio de referencia. Con el fin de realizar este análisis, se separaron las familias en diez grupos y se ordenaron de menor a mayor ingreso, siendo la 1 la de menores ingresos y la 10 la de mayores ingresos.

Para el cálculo de los efectos en bienestar, se mantuvo constante la política distributiva establecida en la matriz de contabilidad social con la que se realizó la calibración. El mecanismo de transmisión es el siguiente: se gravan los energéticos y por tanto aumenta el precio relativo del sector gravado. El resto de los energéticos reacciona de acuerdo a los supuestos de flexibilidad, la modificación de los precios relativos modifica su demanda y por tanto los niveles de producción para el equilibrio. Por un lado, los nuevos niveles de producción demandarán nuevos niveles de factores de producción, lo que modificará sus precios relativos y por ende, el valor de la dotación de factores de las familias y su ingreso. Por otro lado, al modificarse la cantidad producida y el precio de los bienes intermedios, se modificarán la cantidad y el precio de los bienes finales que consumen las familias. Estos dos efectos determinan el bienestar de las familias.

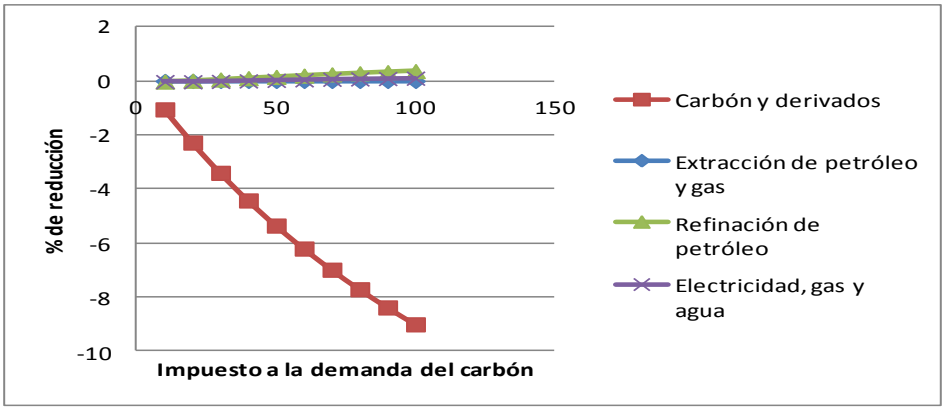
A continuación mostramos los resultados de las simulaciones con los criterios antes mencionados. El programa, construido para funcionar en el módulo MPSGE de GAMS y con el cual fueron realizados estos cálculos, aparece en el anexo B.

Resultados

Impuesto al carbón y derivados

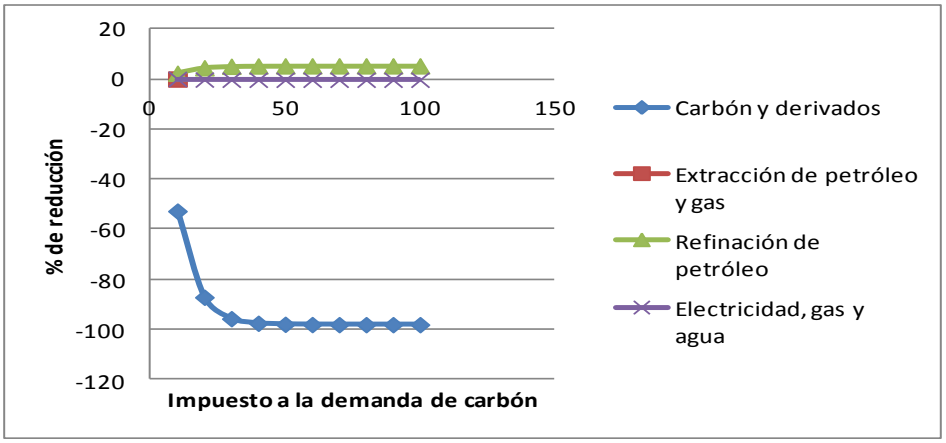
En las primeras cinco figuras se muestran resultados relativos al caso en que se grava la demanda de carbón y sus derivados. En las figuras 1 y 2 puede observarse el efecto en la disminución de la demanda de carbón cuando se grava su precio. La diferencia fundamental consiste en el hecho que, cuando se tiene una economía rígida, la disminución de la demanda de carbono es de apenas el 10% cuando se aplica un impuesto del 100%. Como puede observarse, las demandas del resto de los combustibles permanecen inalteradas. En contraste, cuando se trata de una economía flexible, la reducción de la demanda de carbono es prácticamente del 100% para impuestos del 50% o más y la demanda del carbón se ve sustituida con pequeños incrementos en productos del petróleo refinado.

Figura 1. Efecto un Impuesto al Carbón y Derivados
en la Demanda de Energéticos (Economía Rígida)



Fuente: elaboración propia

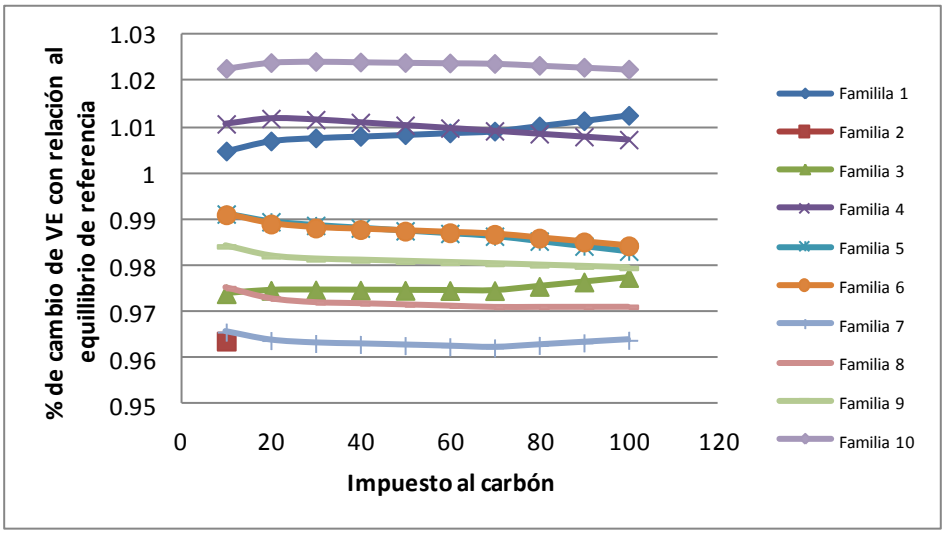
Figura 2. Efecto un Impuesto al Carbón y Derivados
en la Demanda de Energéticos (Economía Flexible)



Fuente: elaboración propia

En las figuras 3 y 4 observamos los efectos que tiene la aplicación del impuesto en el bienestar de las familias medido como los cambios de la variación equivalente con el equilibrio de referencia, el valor 1 implica que no hubo modificación en el bienestar con relación al equilibrio de referencia, es decir, para el caso de la economía rígida, las familias 1, 4 y 10 obtienen una mejora en su bienestar cuando se grava el carbón, mientras que el resto de las familias ve empeorada sus situación.

Figura 3. Efecto de un Impuesto al Carbón y Derivados
en el Bienestar de las Familias de (Economía Rígida)



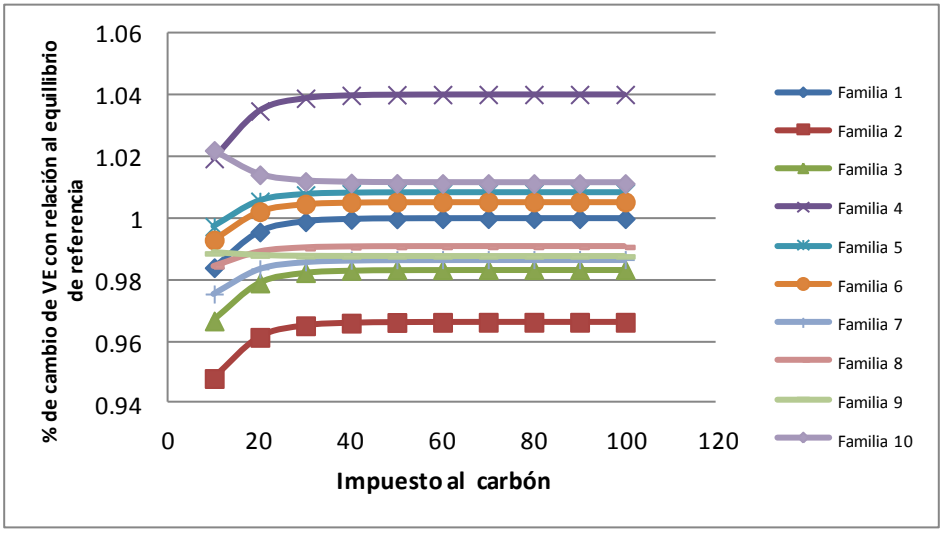
Fuente: elaboración propia

Es pertinente recordar que esta medida de bienestar mide la cantidad de dinero adicional que tendría que dar el estado al consumidor si quisiera compensarlo exactamente por la variación en los precios. Esta compensación se hace considerando los niveles de utilidad alcanzados por los agentes y por ende, por los gastos realizados antes y después de la aplicación del impuesto. Por tanto, si las familias 1, 4 y 10, es decir las familias más ricas y más pobres, además de la 4, obtienen una mejora ante la aplicación de un impuesto, puede explicarse por los efectos precio e ingreso.

Los miembros de la familia 1 reciben transferencias del gobierno que se ven incrementadas conforme aumenta la recaudación y por otro ende su ingreso y por otro lado, la familia 10, la más rica de la economía, percibe un incremento en su bienestar al modificarse los precios relativos que se producen a partir del choque generado con la aplicación del impuesto.

Cuando tenemos una economía flexible, además de las familias 1, 4 y 10, la familia 6 ve mejorado su bienestar. El resto de las familias permanece igual o ve disminuido su bienestar en términos de la variación equivalente, como se observa en la figura 4.

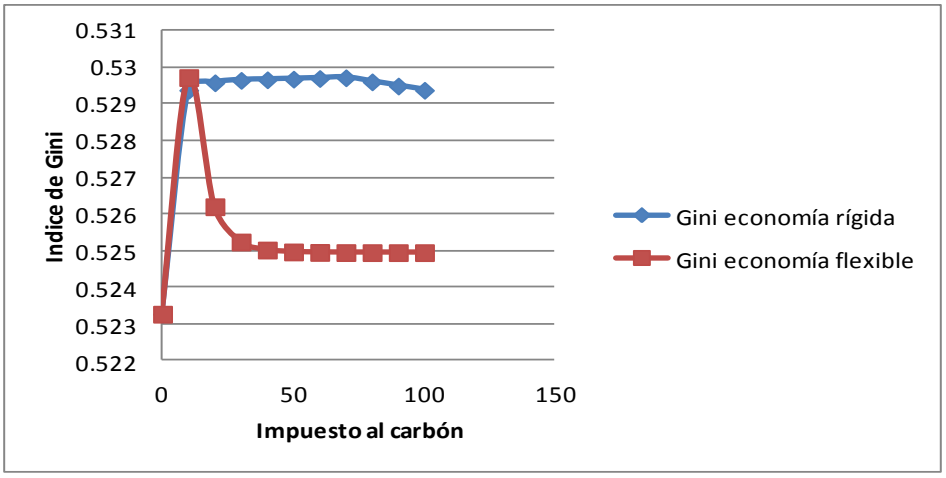
Figura 4. Efecto de un Impuesto al Carbón y Derivados
en el Bienestar de las Familias (Economía Flexible)



Fuente: elaboración propia

Finalmente dentro del análisis del impacto del impuesto al carbón y derivados, observamos el efecto en la distribución del ingreso que tiene gravar la demanda de carbón, medido a través del índice de Gini, como se aprecia en la figura 5,

Figura 5. Efectos Distributivos del Impuesto al Carbón y Derivados



Fuente: elaboración propia

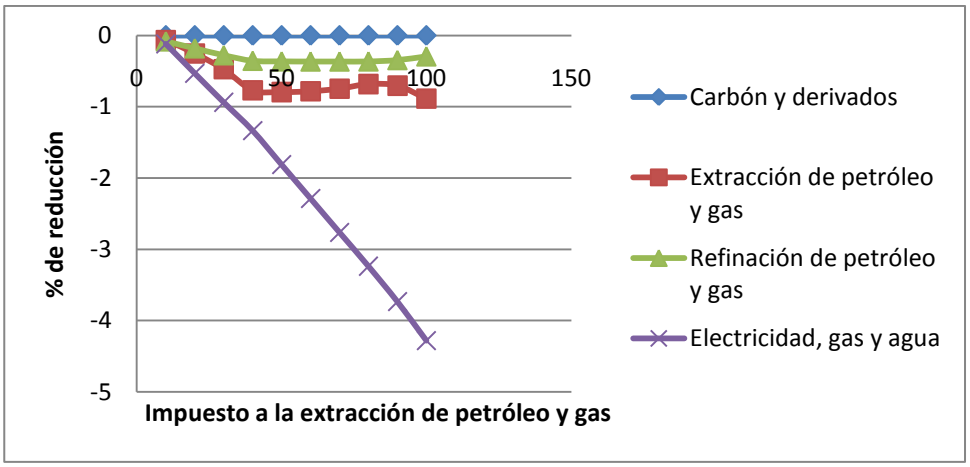
Puede observarse de la figura anterior que el efecto sobre la concentración del ingreso es mínimo, lo cual puede explicarse por el hecho que el carbón tiene una utilización relativamente pequeña en la economía mexicana.

Impuesto a la extracción de petróleo y gas

El efecto observado en la reducción de la demanda cuando se grava la actividad económica denominada extracción de petróleo y gas es similar a la del caso anterior, con la diferencia que los efectos son menos pronunciados y que los demás combustibles también ven reducida su demanda, comportándose como bienes complementarios, como se observa en la figura 6.

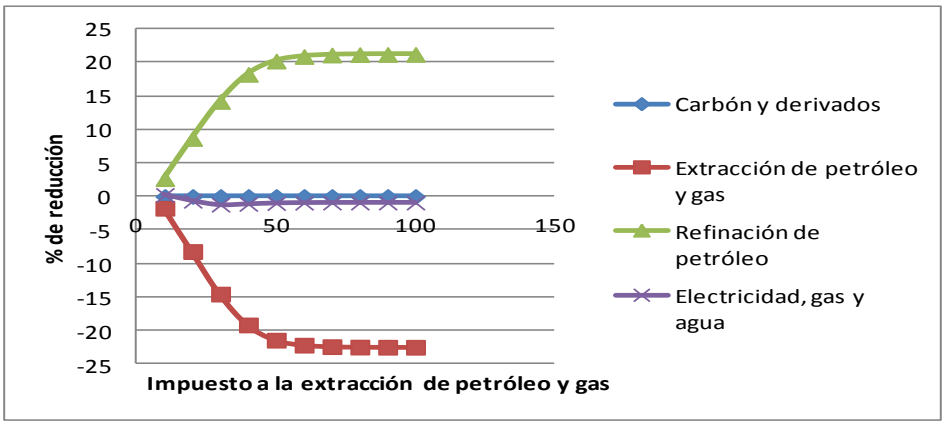
Sin embargo cuando tenemos una economía flexible, el incremento en precios observado en el mercado de extracción de petróleo y gas como consecuencia de la aplicación del impuesto trae, como es natural, una caída en su demanda, pero un efecto simétrico y de signo contrario en la demanda en el sector de la economía denominado refinación de petróleo y gas, como se observa en la figura 7, como si el petróleo y el gas fueran bienes sustitutos.

Figura 6. Efecto de un Impuesto a la Extracción de Petróleo y Gas en la Demanda de Energía (Economía Rígida)



Fuente: elaboración propia

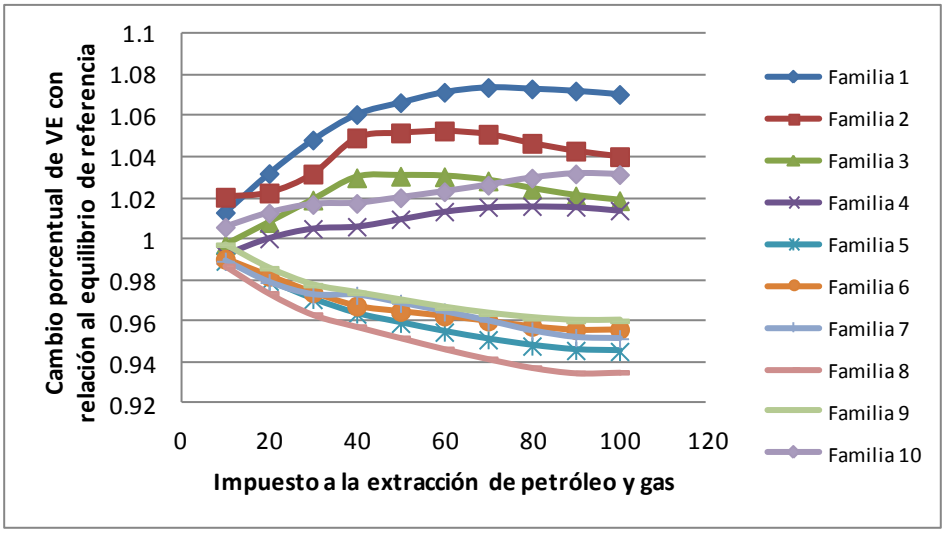
Figura 7. Efecto de un Impuesto a la Extracción de Petróleo y Gas en la Demanda de Energía (Economía Flexible)



Fuente: elaboración propia

En cuanto al efecto en bienestar, puede observarse que ante la aplicación del impuesto al sector denominado extracción de petróleo y gas, las familias que componen la economía se dividen en dos grupos: las familias 1, 2,3, 4 y 10 ven incrementado su bienestar, el caso más pronunciado es el de la familia 1, que ve incrementado su bienestar en hasta el 7%; mientras que las familias 5, 6, 7, 8 y 9 que ven deteriorado su nivel, siendo la más afectada la familia 8.

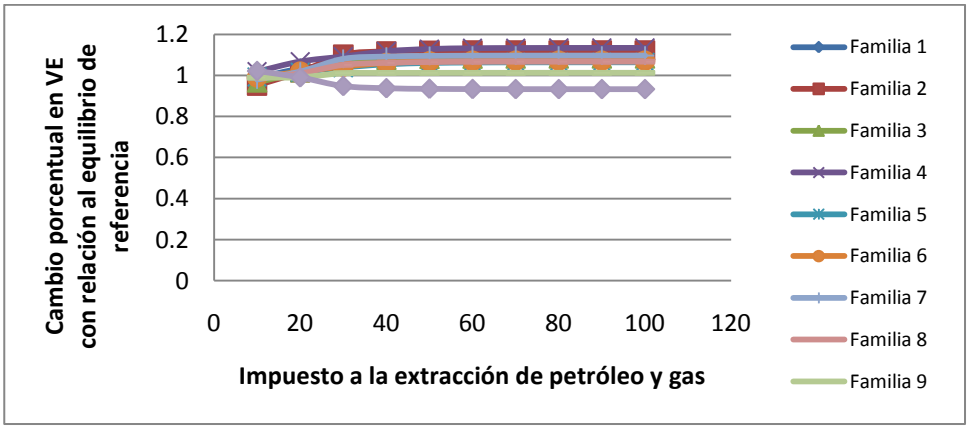
Figura 8. Efecto de un Impuesto a la Extracción de Petróleo y Gas en el Bienestar de las Familias (Economía Rígida)



Fuente: elaboración propia

Si la aplicación de este impuesto se hiciera sobre una economía de tecnología flexible, los resultados serían distintos y se observa que únicamente la familia 10 ve deteriorado ligeramente su bienestar.

Figura 9. Efecto de un Impuesto a la Extracción de Petróleo y Gas en el Bienestar de las Familias (Economía Flexible)

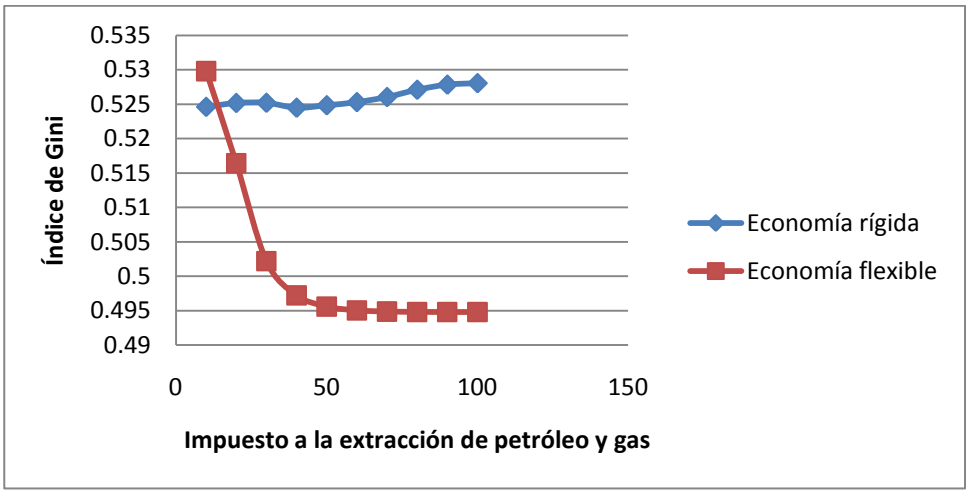


Fuente: elaboración propia

En este caso, a diferencia del anterior, cuando tenemos una economía flexible se produce un importante efecto progresivo en la distribución del ingreso, mientras que cuando tenemos una economía con tecnología rígida, prácticamente permanece constante el índice de Gini.

La explicación a estos efectos puede darse por el hecho la familia 10 es la más rica de la economía y por ende reciente en mayor medida el incremento de los precios de los productos producidos con petróleo y gas en una economía con una tecnología flexible. Este mismo hecho es el que explica el efecto progresivo del impuesto en el caso de una tecnología flexible, mientras que en el caso de una economía con tecnología rígida, el efecto redistributivo no tan solo desaparece sino que se concentra la riqueza.

Figura 10. Efectos Distributivos del Impuesto a la Extracción de Petróleo y Gas

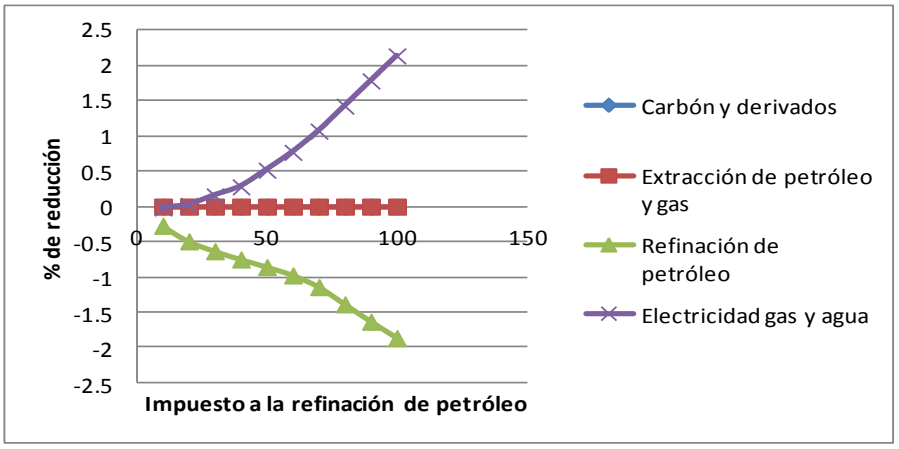


Fuente: elaboración propia

Impuesto a la refinación de petróleo

Cuando se grava la demanda, tanto en un contexto de economía rígida como de economía flexible, de los productos derivados de la refinación de petróleo, el bien denominado electricidad, gas y agua se comporta como un sustituto cercano pues la caída de la demanda de la refinación de petróleo se ve acompañada de un aumento en la demanda de electricidad, de prácticamente la misma magnitud pero con signo contrario como se observa en las gráficas 11 y 12.

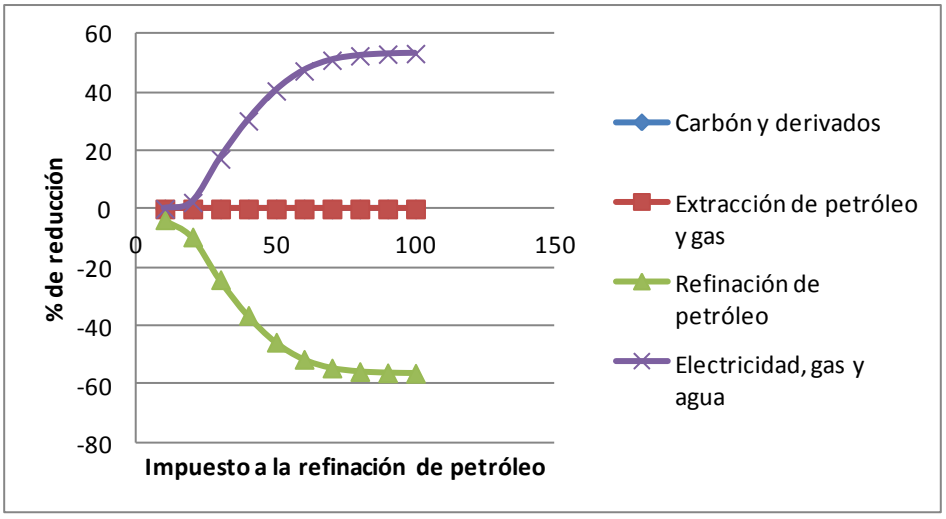
Figura 11. Efecto de un Impuesto a la Refinación de Petróleo en la Demanda de Energía (Economía Rígida)



Fuente: elaboración propia

En el caso de una economía flexible, puede observarse que la diferencia con el caso de una economía con tecnología rígida consiste en la curvatura y en la magnitud de los ajustes, pero que los comportamientos en términos de sustitución son los mismos. En ambos casos, al gravarse los bienes derivados de la refinación de petróleo, la electricidad, gas y agua reaccionan como un bien sustituto, en el caso de la economía rígida, obviamente, en magnitudes menores.

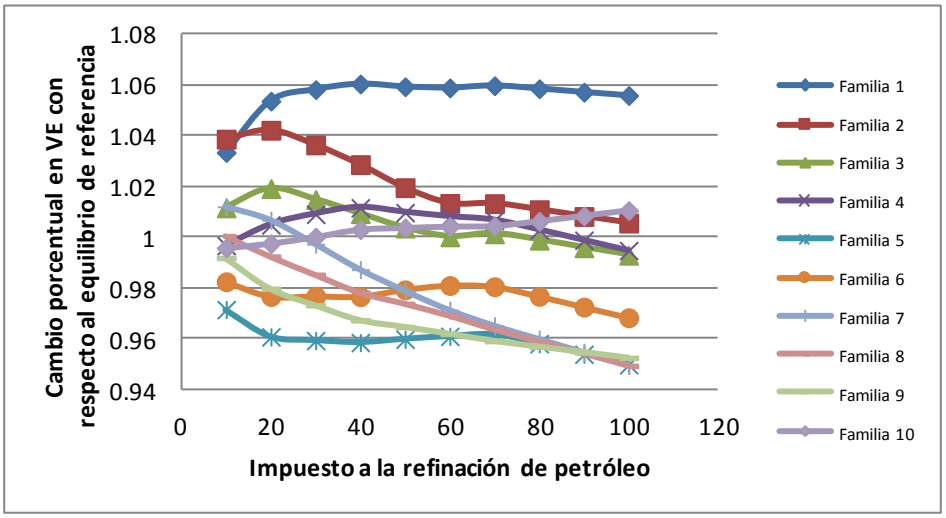
Figura 12. Efecto de un Impuesto a la Refinación de Petróleo en la Demanda de Energía (Economía Flexible)



Fuente: elaboración propia

En cuanto al efecto en el bienestar de las familias, se presentan de nuevo los dos casos estudiados. En el primero, cuando se simula la economía rígida, solamente la familia 1 ve aumentado su nivel de bienestar de manera significativa, aproximadamente un 6%, mientras que las familias 2, 9, 4 y 10, mantienen su nivel y las que lo ven reducido son la 5, 6 y, 9, lo cual puede explicarse como una consecuencia del hecho que los efectos anteriormente descritos se disminuyen por el comportamiento de sustitutos de los dos bienes energéticos antes mencionados, como puede observarse en la figura 13.

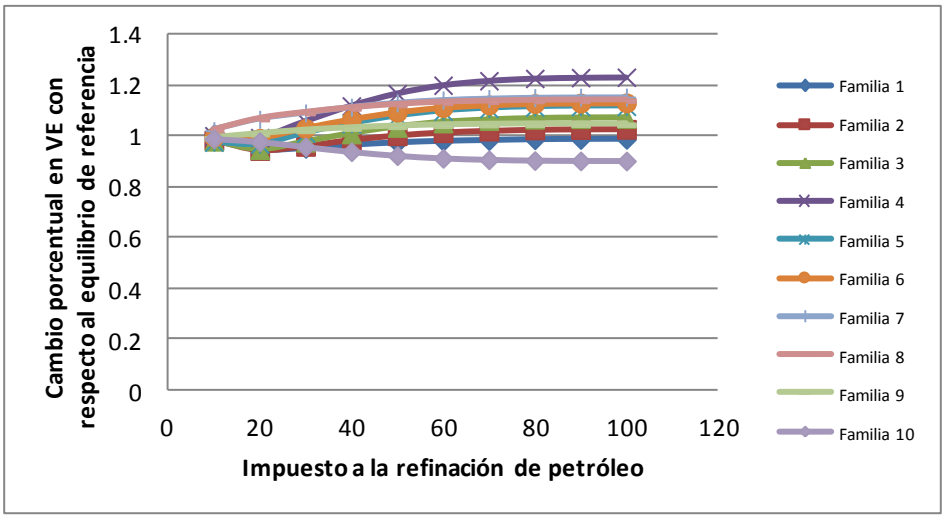
Figura 13. Efecto de un Impuesto a la Refinación de Petróleo en el Bienestar de las Familias (Economía Rígida)



Fuente: elaboración propia

Si la sustitución entre energías es flexible, la situación entre las distintas familias es mucho más compacta y prácticamente tienen el mismo comportamiento, como puede observarse en la figura 14.

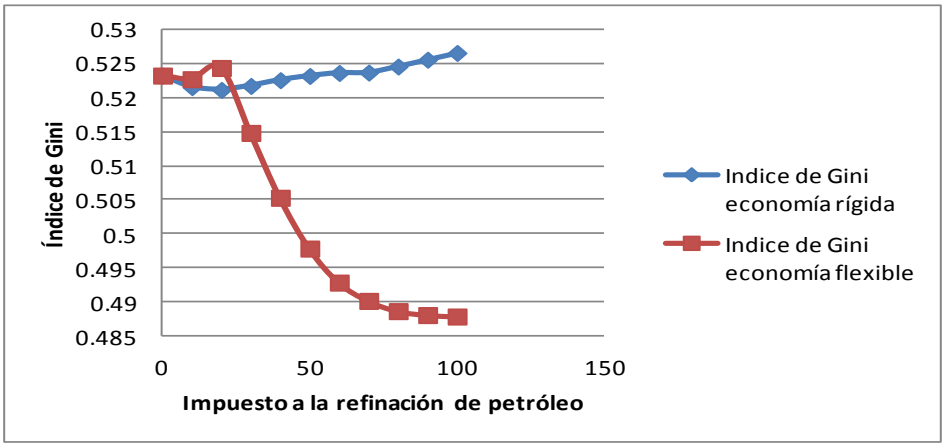
Figura 14. Efecto en el Bienestar de las Familias de un Impuesto a la Refinación de Petróleo (Economía Flexible)



Fuente: elaboración propia

En la figura 15 podemos observar cuáles son los efectos distributivos de aplicar un gravamen a la demanda de refinación de petróleo. De nueva cuenta observamos un efecto progresivo en la distribución del ingreso cuando se tiene una economía flexible y un comportamiento ligeramente concentrador cuando se tiene una economía rígida.

Figura 15. Efectos Distributivos de un Impuesto a la Refinación de Petróleo

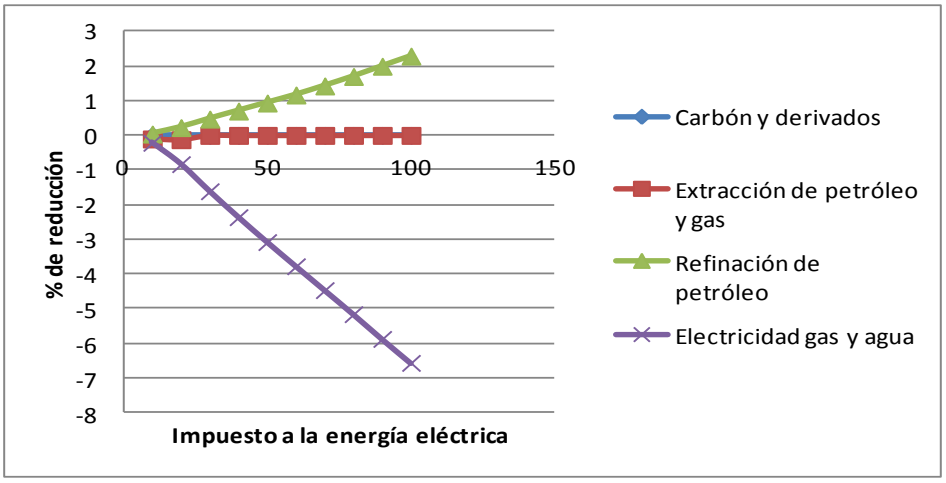


Fuente: elaboración propia

Impuesto a la energía eléctrica

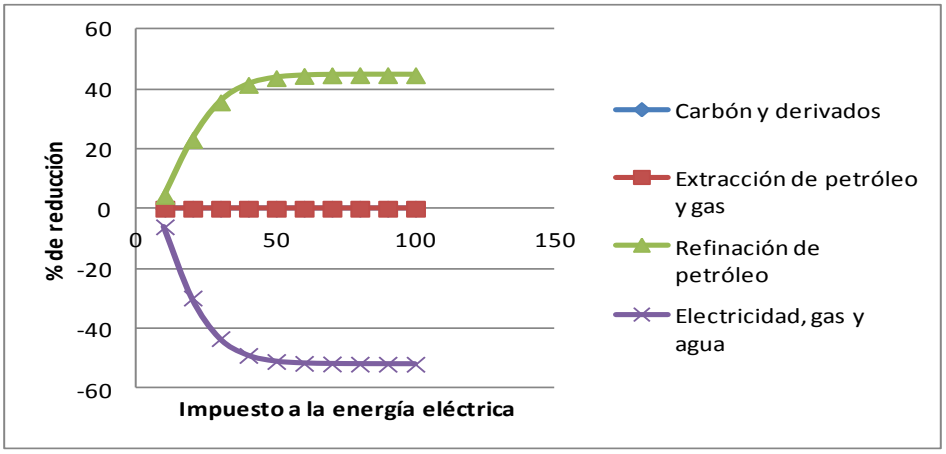
El último sector que se grava de manera separada es el de la energía eléctrica. Los resultados se muestran en las siguientes cinco figuras. En las dos primeras puede apreciarse el efecto que tiene en la reducción de demanda de energía eléctrica la aplicación del impuesto y su parcial sustitución por bienes derivados de la refinación del petróleo, es decir, la refinación de petróleo y la energía eléctrica se comportan como bienes sustitutos cercanos por lo que el aumento en el precio de la energía eléctrica implica un aumento de la demanda de productos refinados del petróleo. Como es de esperarse con una economía rígida los efectos son menores que con una flexible.

Figura 16. Efecto de un Impuesto a la Energía Eléctrica en la Demanda de Energía (Economía Rígida)



Fuente: elaboración propia

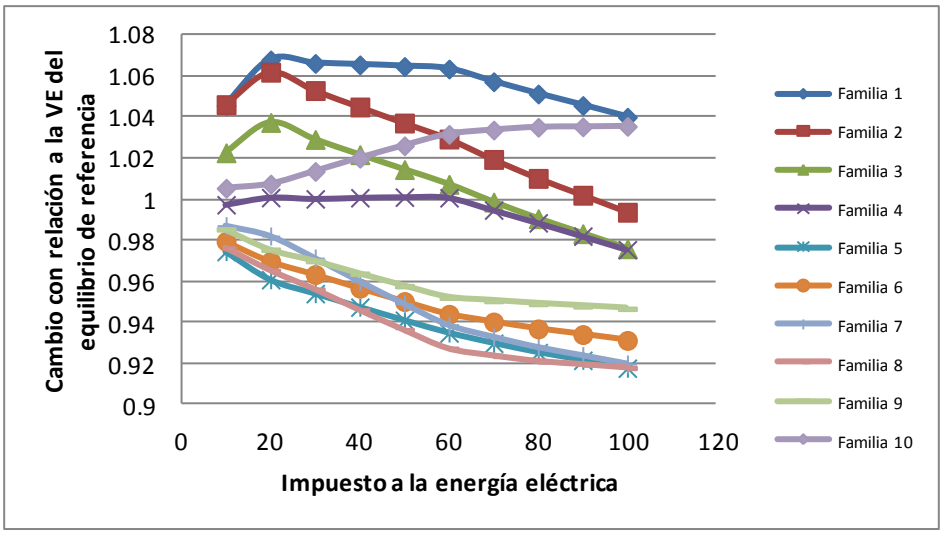
Figura 17. Efecto de un Impuesto a la Energía Eléctrica en la Demanda de Energía (Economía Flexible)



Fuente: elaboración propia

En cuanto a la pérdida en bienestar, en el caso de una economía rígida, excepto para la familia 10 que ve incrementado su bienestar conforme se incrementa el monto del impuesto, para el resto de las familias, un incremento en el impuesto arriba del 20% implica un decremento en su bienestar, como se ve en la figura 18. Sin embargo, son las familias 5, 6, 8 y 9 las que ven reducido su bienestar con esta política, para cualquier rango de impuestos.

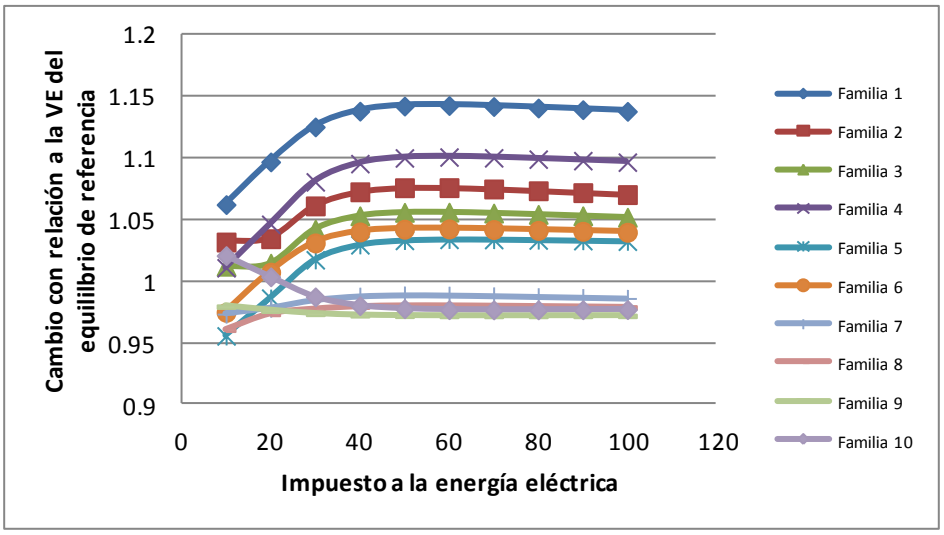
Figura 18. Efecto de un Impuesto a la Energía Eléctrica en el Bienestar en las Familias (Economía Rígida)



Fuente: elaboración propia

En el caso de una economía flexible la situación es distinta, ya que puede observarse un crecimiento y estabilización del bienestar para la mayoría de las familias a excepción de las familias 7 y 10.

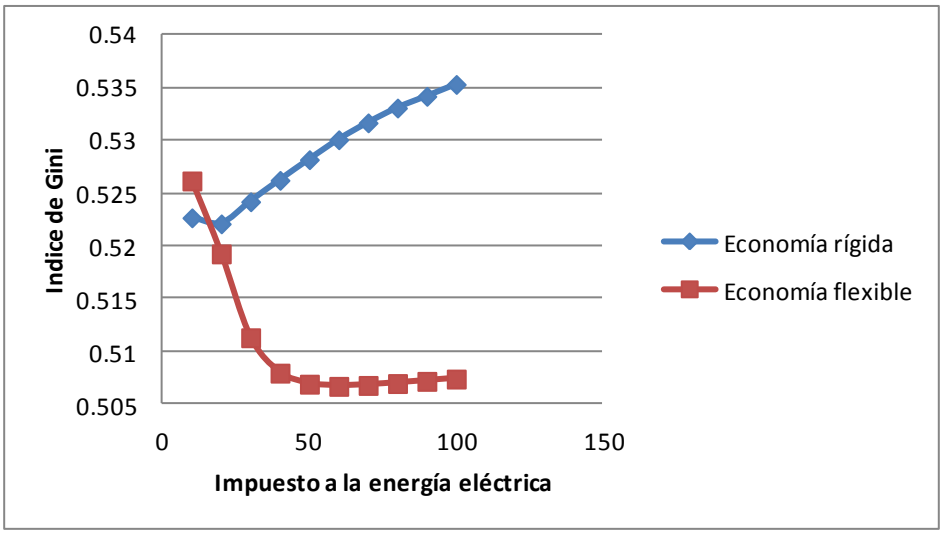
Figura 19. Efecto de un Impuesto a la Energía Eléctrica en el Bienestar en las Familias (Economía Flexible)



Fuente: elaboración propia

Los efectos distributivos son progresivos en el caso de una tecnología flexible y regresivos para una tecnología fija como se observa en la figura 20.

Figura 20. Efectos Distributivos de un Impuesto a la Energía Eléctrica



Fuente: elaboración propia

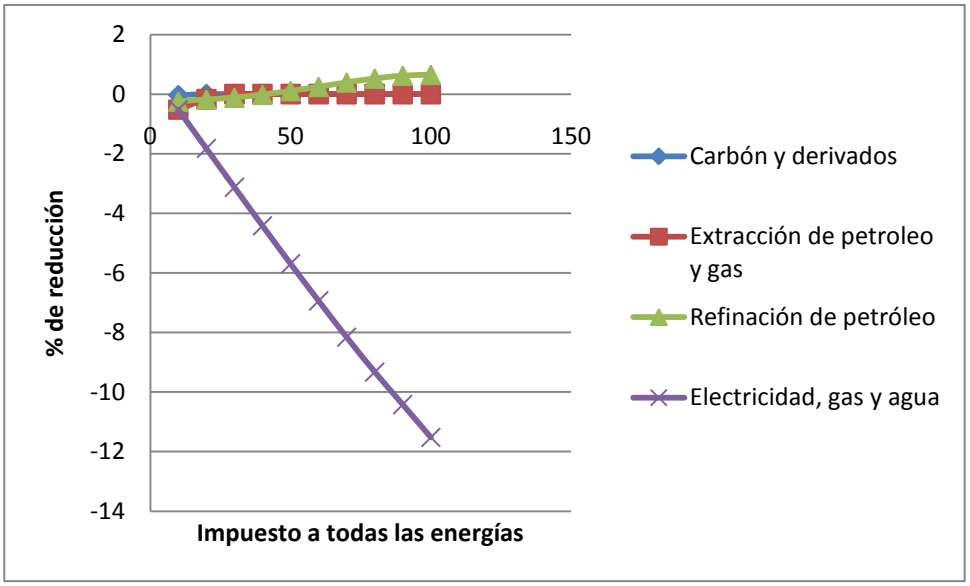
Impuesto a todos los sectores energéticos simultáneamente

Finalmente analizaremos los resultados obtenidos al gravar todos los sectores energéticos simultáneamente. De nueva cuenta tendremos los dos extremos en términos de la flexibilidad de sustitución en los sectores energéticos.

El primer resultado dentro de este experimento muestra que mientras el nivel impositivo sea menor al 50%, se produce una disminución de la demanda en los cuatro sectores, siendo la caída más fuerte la de la energía eléctrica. Sin embargo, cuando se rebasa este nivel de impuestos, aumenta ligeramente la demanda del sector refinación de petróleo, como puede observarse en la figura 21.

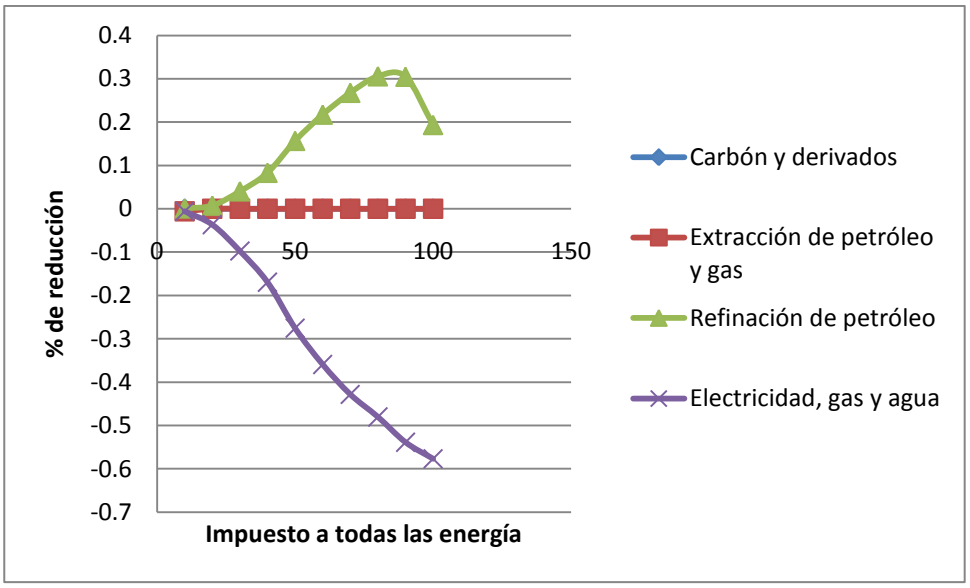
Este mismo efecto se observa en el caso de economía flexible, aunque con distintas magnitudes, además de que el crecimiento de la demanda en el sector de la refinación de petróleo comienza casi desde los primero niveles de impuestos, como puede observarse en la figura 22.

Figura 21. Efecto de un Impuesto a Todos los Sectores Energéticos en la Demanda de Energéticos (Economía Rígida)



Fuente: elaboración propia

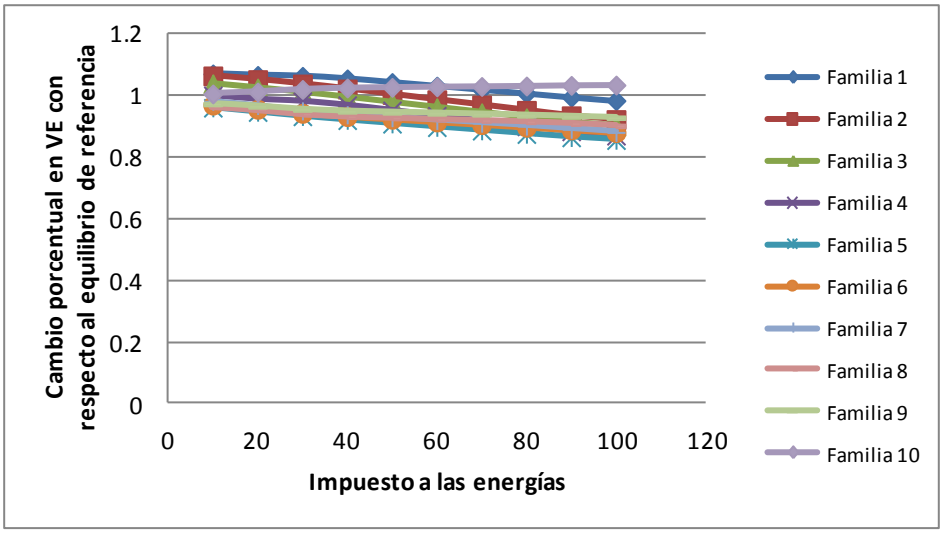
Figura 22. Efecto de un Impuesto a Todos los Sectores Energéticos en la Demanda de Energía (Economía Flexible)



Fuente: elaboración propia

En este caso, gravando a todos los combustibles, la perdida de bienestar en una economía rígida es constante, aunque ligera para todas las familias cuando se incrementa el valor del impuesto, como se observa en la figura 23.

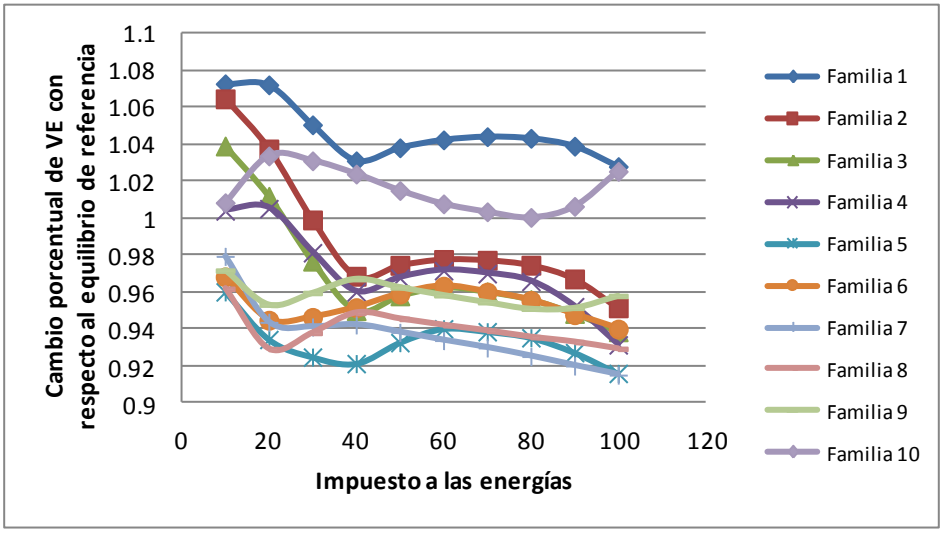
Figura 23. Efecto de un Impuesto a Todos los Sectores Energéticos en el Bienestar en las Familias (Economía Rígida)



Fuente: elaboración propia

Cuando se cuenta con una tecnología flexible y se gravan todos los combustibles fósiles, se observan dos zonas en el efecto en bienestar de las familias: de un impuesto nulo hasta un valor del 40% se percibe una caída en el bienestar de todas las familias, en especial de la familia 5, siendo la menos afectada la familia 1. A partir del 40% de impuesto y hasta el 100%, se observa un cambio en la tendencia, manteniéndose estable o creciendo el bienestar de las familias, quedando las familias 1 y 10 arriba de su posición original como puede observarse en la figura 24.

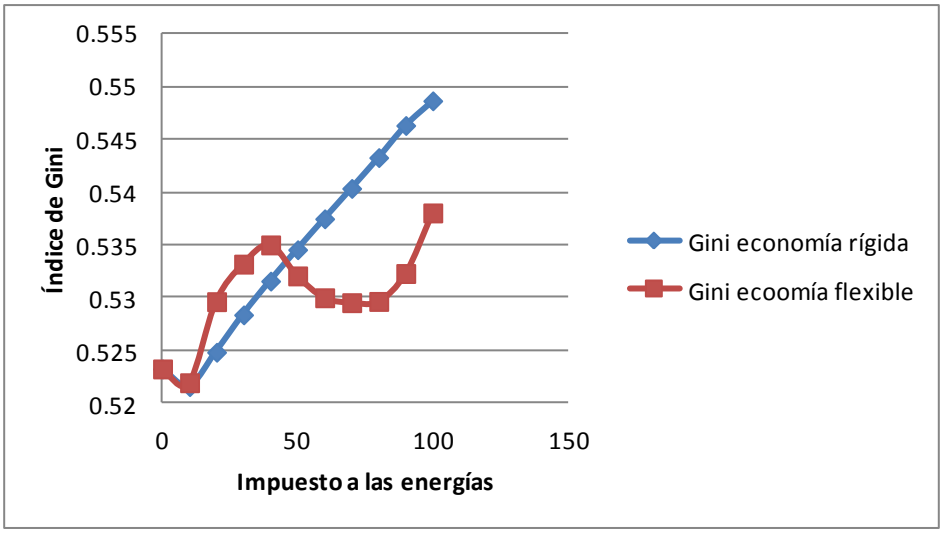
Figura 24. Efecto de un Impuesto a Todos los Sectores Energéticos en el Bienestar de las Familias (Economía Flexible)



Fuente: elaboración propia

Finalmente, en la figura 25 podemos observar que esta política produce efectos concentradores de la riqueza para ambos tipos de tecnología.

Figura 25. Efectos Distributivos de un Impuesto a Todos los Sectores Energéticos



Fuente: elaboración propia

Modelo Dinámico de Equilibrio General Computable

En esta tercera parte del trabajo se presenta una versión dinámica del modelo de equilibrio general. Con este modelo se analizan los efectos en la distribución del ingreso de mantener una línea base en la emisión de CO_2 a la atmósfera a través de la aplicación de un impuesto a la refinación de petróleo.

En este modelo se representa una economía abierta en competencia perfecta en todos los mercados, diez agentes, diez bienes de consumo final, veinte bienes intermedios, cuatro de los cuales pueden considerarse energía y dos factores de producción: capital y trabajo.

Mantenemos la característica del modelo estático en cuanto a que el trabajo se especializa en cada sector productivo, por lo que se cuenta con veinte tipos de trabajo distintos. Por parte del consumo asumiremos que existen diez agentes representativos que viven durante todo el periodo de estudio, derivan ingreso de la renta de sus distintos tipos de trabajo, de las transferencias que reciben del exterior, de las transferencias del gobierno y de las rentas derivadas de los dividendos por la posesión de acciones en empresas privadas. El capital pertenece a las empresas y toman decisiones óptimas en cada periodo del tiempo entre consumo y ahorro. Las empresas se dividen en dos tipos: las que producen bienes intermedios y las que producen bienes finales. Ambos tipos toman decisiones intertemporales de consumo e inversión.

En esta economía hay un gobierno que consume bienes finales, recauda por la aplicación de un impuesto aplicado a la demanda de energía fósil derivada de la refinación de petróleo y con esta recaudación realiza transferencias a las familias y financia su propio consumo.

Los bienes y factores de la economía son los mismos que en el caso del modelo estático.

Consumidor.

Las preferencias de los consumidores se representar por medio de una función de utilidad cuasi cóncava, continua y dos veces diferenciable. Los parámetros de esta función de utilidad son las canastas de consumo de las familias formadas por bienes de consumo final, por lo que podemos representar la función de utilidad para la familia l de la siguiente manera: $U^l = \sum_{t=0}^{T} \left(\frac{1}{1+\rho}\right) u^l\left(Xh_{1t}^l, \ldots, Xh_{10t}^l, s_t\right)$, donde ρ es la tasa de preferencia de consumo en el tiempo, s_t es el ahorro del periodo actual, es decir el consumo del periodo siguiente, u^les la utilidad instantánea derivada del consumo de los bienes que forman la canasta en el periodo t.

Las familias deciden en cada periodo entre consumir o ahorrar y al inicio de cada periodo la inversión se distribuye a los sectores de la economía en función de la misma proporción que la definida en el equilibrio de referencia.

Por otro lado, el ingreso de la familia l está determinado por las rentas derivadas de la venta de los servicios de sus distintos tipos de trabajo, de la rentas obtenidas por su participación en empresas, por las transferencias del sector externo y por las transferencias del gobierno, es decir, los ingresos de la familia l en cada periodo de tiempo se definen como: $m_t^l = \sum_{j=1}^{20} w_{tj} L_j^l + \theta_{tl}\pi + \varepsilon_{tl} + \varphi_{tl} T$. Donde w_{tj} es el salario de los distintos tipos de trabajo, $\theta_{lt}\pi$ la participación de las empresas, ε_{tl} las transferencias del exterior y $\varphi_{tl}T$ las transferencias del gobierno para cada familia l, para el periodo t.

El gasto de la familia se compone por el gasto en consumo y el consumo del periodo siguiente: $\sum_{i=1}^{10} ph_{ti}\, Xh_{ti}^l + r_{t+1}K_{t+1}$. Donde ph_{ti} es el precio de cada uno de los bienes de consumo final.

Asumiendo que las familias tienen un comportamiento racional y por ende que maximizan su función de utilidad sujeta a su restricción presupuestaria, podemos determinar la demanda marshalliana por el bien i en cada periodo t del tiempo, como la función que resuelve este problema y que es función de los precios y del ingreso, la expresamos de la siguiente manera: $Xh_{tl}^{*i}\left(p_{it}, m_{lt}\left(w_{jt}\right)\right)$.

Productor

Se distinguen tres tipos de bienes en la economía: los bienes intermedios, los bienes energéticos y los de consumo final. Con el fin de hacer más realista el modelo, los bienes intermedios se modelan con una función de producción anidada Leontief-CES-CES, por lo que podemos representarla de la siguiente manera: $Y_{St} = min\left\{\frac{Y_{St}}{a_S}, \frac{Y_{Et}}{E_S}, \frac{VA_t}{va_S}\right\}$, donde Y_{St}, es la cantidad de bienes intermedios, Y_{Et}, la cantidad de bienes energéticos y VA_t la cantidad de valor añadido (capital y trabajo) necesarios para producir la cantidad de bien intermedio Y_{St} en el periodo de tiempo t.

Tanto la energía como los factores de producción pueden sustituirse en función de sus precios relativos, las posibilidades de sustitución se modelan a través de sendas funciones CES, es decir $Y_{Et} = \left[\sum_{i=1}^{4} \propto_i (Y_{Eti}{}^{\rho})\right]^{1/\rho}$ con $\sum_{i=1}^{4} \propto_i = 1$, donde $\propto_i$ es la proporción del bien energético Y_{Eti} usado en la producción del bien energético y ρ es la elasticidad de sustitución.

De la misma manera el valor añadido para cada tecnología se expresa como $VA_{St} = \left[\beta_L L^{\delta} + \beta_K K^{\delta}\right]^{1/\delta}$, donde β_L y β_K son respectivamente las proporciones de trabajo y capital usado y δ es la elasticidad de sustitución.

Para determinar las demandas condicionadas de factores y bienes intermedios asumiremos que los productores minimizan costos de producción sujetos a un mínimo de producción, $\bar{Y}$, por lo que el problema que resuelven es el siguiente:

$Min\ \sum_{i=1}^{16} p_{ti} Y_{sti} + \sum_{j=1}^{4} p_{Etj} Y_{Etj} + w_t L + r_t K$ sujeto a $A \prod_{i=1}^{16} Y_{sti}^{\propto i1} \prod_{1}^{4} Y_{Et}^{\propto i2}\ VA_t{}^{\propto 3} \geq \overline{Y_{st}}$.

De la solución del problema anterior se determinan las demandas condicionadas de factores del bien i para producir el bien j que son funciones que dependen de los precios y de la cantidad producida, es decir, $Xf_{it}^{*j}\left(p_{jt}, w_t, r_t, \overline{Y_t}\right)$ donde p_{jt} son los precios de los j bienes intermedios usados como insumos, w_t el precio del trabajo, $r_t$el precio del capital e $\overline{Yt}$ la cantidad de bien producida en el periodo t.

Finalmente en el proceso de producción de bienes finales se utilizan solo bienes intermedios con una tecnología con elasticidad de sustitución unitaria, por lo que el problema que resuelven los productores de este tipos de bienes es el siguiente:

$Min\ \sum_{i=1}^{16} p_{ti}Y_{sti} + \sum_{j=1}^{4} p_{Etj}Y_{Etj}$ sujeto a $A\prod_{i=1}^{16} Y_{sti}^{\propto i1} \prod_{1}^{4} Y_{Et}^{\propto i2} \geq \overline{Y_{ht}}$.

De donde se obtienen las cantidades óptimas de energía y bienes intermedios para producir los bienes finales para cada periodo de tiempo, mismas que se denominarán, $Xf_{it}^{*h}(p_{it}, p_{ht})$.

Gobierno

En esta economía el gobierno cumple con tres funciones principales: 1) recauda dos tipos de impuesto: un impuesto indirecto ya preexistente y un nuevo impuesto a la demanda de combustibles fósiles, mismo que se simulará para verificar los efectos en bienestar; 2) consume bienes de consumo final en representación de la sociedad y 3) redistribuye a las familias el monto recaudado de acuerdo a una política redistributiva ad-hoc. Por tanto, el ingreso del gobierno se puede especificar como: $I_G = \sum_{S=1}^{16} \tau_S p_S Y_S + \sum_{E=1}^{4} \tau_E p_E Xf_E$ y el gasto del gobierno como: $G_G = \sum_{l=1}^{10} \theta_l R + \sum_{i=1}^{10} p_i Xh_i^G$, donde τ_S es la tasa impositiva al bien S, τ_E es la tasa impositiva a las demandas de energía E, θ_l es la proporción que recibe la familia l del gasto de gobierno dedicado a las transferencias a las familias, R y Xh_i^G la demanda de gobierno por el bien de consumo final i.

Sector externo

El sector externo en esta economía se trata de una manera muy simple asumiendo que los bienes importados son sustitutos cercanos de los bienes domésticos y que el sector externo se vacía.

Para poder resolver el modelo, asumiremos que la economía se encuentra en estado estacionario, es decir cuando todas las variables crecen a la misma tasa.

La liga entre los distintos periodos de tiempo está dada por la relación entre el consumo, inversión y capital, por lo que se incorporan las siguientes restricciones, 1) la producción total de un bien intermedio se divide entre la producción de bienes finales y la inversión I_{it} para el siguiente periodo, es decir: $Xf_{it}^{*j} + Xf_{it}^{*h} = F(K_t, L_{it}) - I_{it}\ \forall\ i,j = 1,..,20\ y\ h = 1,..,10$; y 2) el capital se deprecia a una tasa δ, por tanto: $K_{t+1} = K_t(1-\delta) + I_t$. Donde K es el capital y $F(\cdot)$ es una función de producción.

Por otro lado, para que la economía se mueva en el estado estacionario, es necesario hacer algunos supuestos. Definamos el crecimiento de la población como: $g = g_1 = .. = g_{10}$. Como ya hemos dicho la tasa de depreciación se denomina δ y la tasa de interés, r. Por tanto la población en cada estrato social s es: $L_{ts} = (1+g)L_{t-1,s}$ y dado que se ha supuesto que la economía se encuentra en estado estacionario podemos establecer $K_{t+1} = (1+g)K_t$ y los precios de todos los bienes, incluyendo los del trabajo, se pueden expresar de la siguiente manera: $P_{t+1} = \frac{P_t}{1+r}$

El capital puede ser rentado o comprado y por tanto en el modelo dinámico existen dos precios: el precio der compra PK y el precio de renta del capital, RK, el valor de la dotación total del capital VK, lo podemos expresar de la siguiente manera: $VK_t = K_t RK_t$.

Por otro lado, derivado de las condiciones de primer orden se encuentra una relación entre los parámetros $g, \delta\ y\ r$, definidos de la siguiente manera: $I_0 = \frac{(\delta+g)VK_0}{\delta+r}$ e $I_t = (\delta+g)K_t$ y como condiciones terminales: $\frac{I_t}{I_{t-1}} = \frac{Y_t}{Y_{t-1}}$

El modelo se resuelve considerando simultáneamente todos los periodos de tiempo y asumiendo la situación de estado estacionario.

Simulaciones

Una diferencia con las simulaciones realizadas con el modelo estático, en el cual se simularon dos estructuras de sustitución entre bienes energéticos, en el caso del modelo dinámico,

habida cuenta de la gran cantidad de información producida, se optó por una sola estructura intermedia, sustitución unitaria, la cual es muy cercana a la realidad mexicana.

Otra diferencia importante en las simulaciones entre los dos tipos de modelos tiene que ver con la lógica de la política fiscal aplicada. En el caso estático se simularon distintos niveles de impuestos y se calcularon sus efectos en bienestar y equidad, en el caso dinámico, se aplica un impuesto a la demanda de energía con el fin de mantener la emisión en los niveles del año 2004.

Nuevamente se calcula el índice de Gini con el fin de medir el impacto en la concentración del ingreso y la variación equivalente para medir el efecto en el bienestar de las familias recordando que para realizar este análisis se separaron las familias en diez grupos y se ordenaron de menor a mayor ingreso, siendo la 1 la más pobre y la 10 la más rica.

Para el cálculo de los efectos en bienestar, se mantuvo constante la política distributiva establecida en la matriz de contabilidad social con la que se realizó la calibración.

El programa, construido para funcionar en el módulo MPSGE de GAMS y con el cual fueron realizados estos cálculos, aparece en el anexo B.

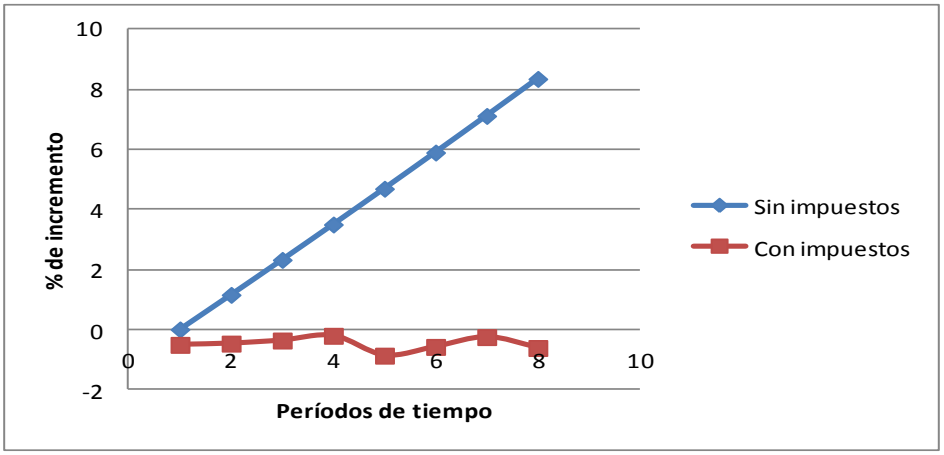
En la figura 26 aparecen dos trayectorias de la economía que surgen del hecho de no aplicar ningún impuesto a la demanda de combustibles fósiles y de aplicar una tasa de impuesto que mantenga en niveles de emisión de CO_2 cercanos a los observados en el año 2004.

Ambas trayectorias se calculan con valores de tasa de depreciación, $\delta =$ 0.05, tasa de interés, $r = 0.12$, lo cual implica una tasa de crecimiento de $g =$ 0.012. Los dos primeros valores son exógenos y arbitrarios y podrían ser ajustados para definir distintos escenarios de crecimiento en la economía.

Como una primera aproximación se analiza el efecto de gravar únicamente al sector de la economía donde se producen los productos derivados de la refinación del petróleo y gas.

Por otro lado, como se ha observado, se mantiene toda la compleja desagregación en la economía, lo cual implica la disminución del periodo de análisis como consecuencia de la capacidad del software utilizado.

Figura 26. Efecto de un Impuesto para Disminuir las Emisiones de CO_2

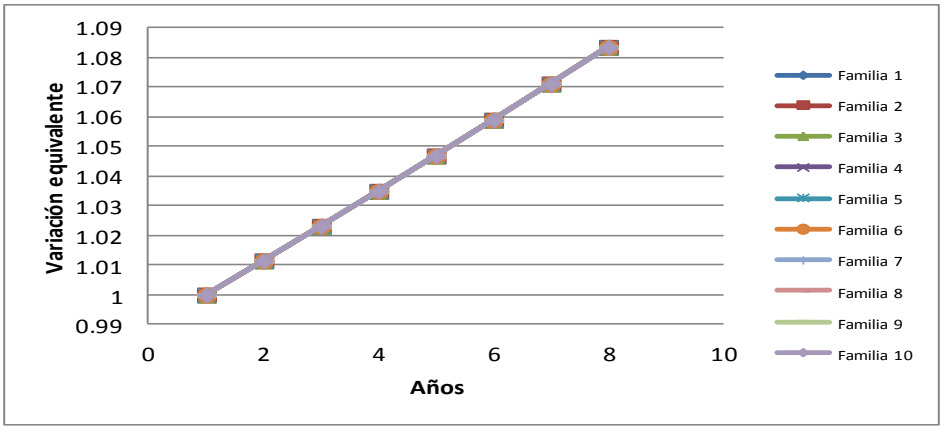


Fuente: elaboración propia

Se observa claramente en la gráfica que en la ausencia de una política fiscal que busque controlar las emisiones de CO_2, éstas crecerían un poco más del 8% en los ocho periodos de tiempo que dura el análisis.

Si no se aplica ningún tipo de control, en nuestro caso un impuesto para disminuir las emisiones, todas las familias observarán un incremento similar en su nivel de bienestar, como se observa en la figura 27 y naturalmente la concentración de la riqueza permanece igual, en términos del índice de Gini como se puede observar en la tabla 1.

Figura 27. Incremento del Bienestar sin Impuestos a la Demanda de Energía



Fuente: elaboración propia

Tabla 1. Indice de Gini sin Aplicación de Impuesto para Reducir el CO_2

Año	Gini
1	0.49809395
2	0.49809395
3	0.49809395
4	0.49809395
5	0.49809395
6	0.49809395
7	0.49809395
8	0.49809395

Fuente: elaboración propia

Ahora bien, si se pretendiera mantener las emisiones al mismo nivel que las observadas durante el año 2004, el tamaño del impuesto al sector refinación de petróleo y gas aparece que se debería aplicar para lograr este objetivo aparece en la tabla 2.

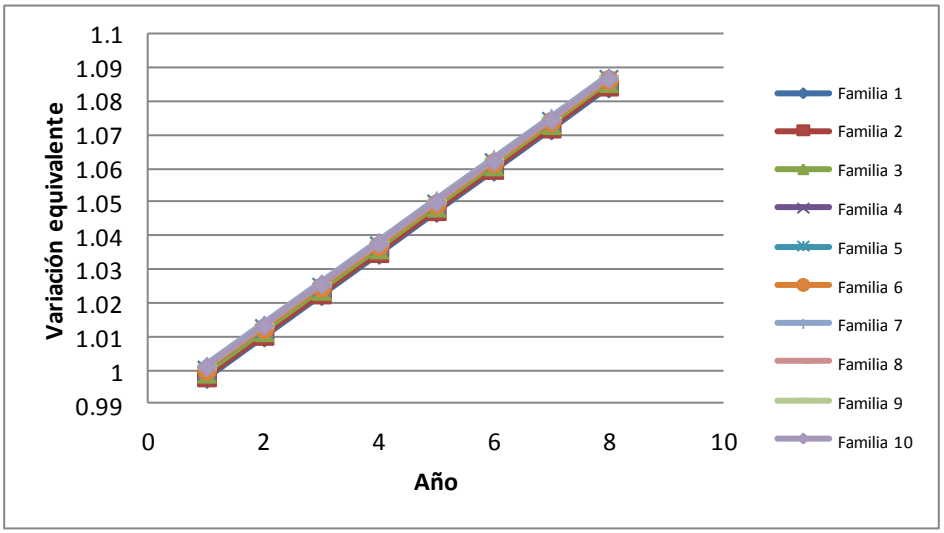
Tabla 2. Impuestos para Mantener la Emisión de CO_2 a Niveles del Año 2004

Año	Impuesto(%)
1	5
2	10
3	15
4	20
5	30
6	35
7	40
8	50

Fuente elaboración propia

Contrariamente a lo que podría esperarse, el nivel de bienestar no cae significativamente, como se observa en la figura 28.

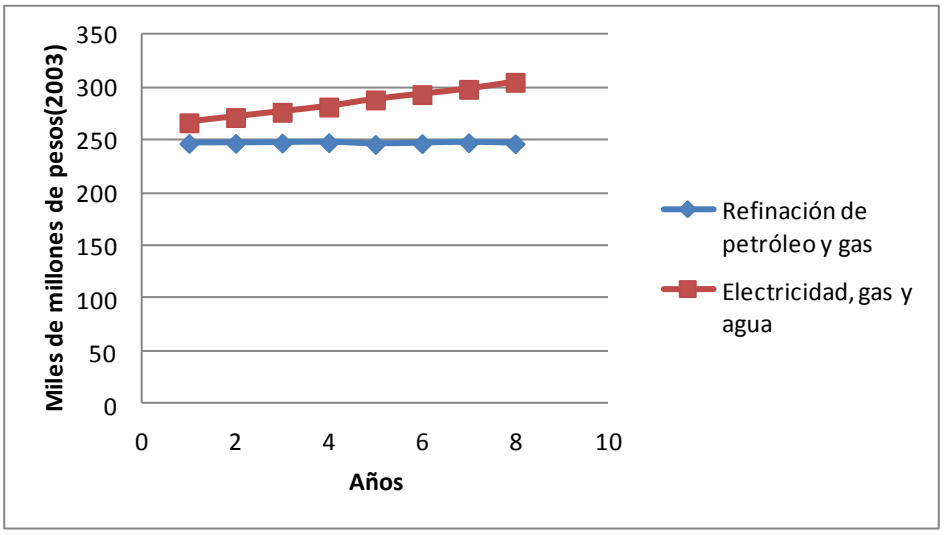
Figura 28. Incremento en el Bienestar con Aplicación de Impuesto para Reducir Emisiones de CO_2. Variación equivalente con impuesto a la demanda de refinación de petróleo y gas



Fuente: elaboración propia

La razón para observar este comportamiento se explica por la acción de dos elementos que actúan simultáneamente. Por un lado, el hecho que existe una elasticidad de sustitución unitaria entre los combustibles fósiles utilizados en la economía permite a los agentes productivos sustituir entre el bien definido como refinación de petróleo y gas, cuando éste es gravado, por los otros bienes energéticos, por ejemplo con electricidad, gas y agua (figura 29). Con esto, se diluyen los efectos regresivos, como también se observó en el modelo estático, de tal manera que no se percibe modificaciones significativas en la concentración del ingreso a lo largo del tiempo. Por otro lado, el crecimiento de la economía y sobre todo, el hecho de todas la variables crecen a la misma tasa, hace que se compense el efecto distorsionador de la aplicación de un impuesto, por lo que en el efecto total se percibe prácticamente una nula modificación del índice de Gini.

Figura 29. Demandas de Refinación de Petróleo y Energía Eléctrica ante un Impuesto a la Refinación de Petróleo



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Se construyeron dos modelos de equilibrio general para evaluar los efectos en equidad de gravar los bienes energéticos en una economía, cuando son utilizados como insumos intermedios.

El primer modelo es un modelo estático que permite evaluar los efectos distributivos de la política fiscal de control de control de emisiones de CO_2, en un momento del tiempo, asumiendo cambios instantáneos. También se elaboró un modelo dinámico con el fin de capturar los efectos de un impuesto al sector refinación de petróleo. La metodología utilizada para el desarrollo de los dos modelos se debe a Shoven y Whalley y se programó utilizando el módulo MPSGE-GAMS.

Ambos modelos comparten la información con la cual se calibran, una matriz de contabilidad social que permite analizar los efectos en bienestar que tiene la aplicación de un impuesto a la energía fósil, planteado como objetivo principal del trabajo. Entre las características más relevantes, esta matriz contiene diez consumidores finales y el sector energético lo suficientemente desglosado como para poder capturar los efectos de equilibrio general necesarios.

En esta ocasión, toda la atención en los cálculos de los modelos se centra en medir los efectos en bienestar y distributivos, a través de dos medidas: la variación equivalente y el índice de Gini.

La política adoptada para controlar la emisión es un impuesto a la demanda de bienes energéticos como insumos intermedios y no a los combustibles como bienes finales; queda por probar, cosa que no se hace en este trabajo, cuál de las dos formas es más eficiente y cuál es más equitativa.

El impuesto se aplica por tipo de bien energético y a todos los bienes energéticos en su conjunto. Al hacer esto, podemos observar los distintos comportamientos entre los bienes cuando se modifican los precios relativos. A manera de simulación se optó por probar los efectos del impuesto con dos valores de la elasticidad de sustitución entre 0.2 y 20, a la

primera se le denominó rígida y a la segunda flexible. El caso mexicano en particular está más cerca de los valores generados con los supuestos de una economía rígida.

Se observa que la aplicación del impuesto tiene el efecto deseado en la reducción de la demanda. Se observa también que al gravar el carbón solo se afecta su demanda sin generar efectos sustitución con ningún otro bien energético, como si no hubiera efectos de equilibrio general. La caída en su demanda es grande cuando tenemos una economía flexible, como era de esperarse y muy poca cuando es rígida. Aún para grandes valores de impuesto, la distorsión sobre el resto de los bienes energéticos es mínima, mostrando que no tiene sustitutos cercanos cuando se le considera como bien intermedio.

Por otro lado, el efecto en bienestar está bien diferenciado y está en función de la importancia relativa que tiene el carbón como insumo en la elaboración de los bienes de consumo final de cada una de las familias, que como consecuencia de la aplicación del impuesto a este tipo de energía gráficamente se ven agrupadas en dos. En este caso los efectos distributivos son despreciables habida cuenta del poco peso que tiene el carbón en la economía como bien energético.

La situación, sin embargo, es totalmente distinta cuando se aplica el impuesto a otro tipo de bienes. La diferencia principal son los efectos de sustitubilidad y de complementariedad que surgen cuando se grava cualquier bien energético distinto al carbón. En estos casos, los efectos en la concentración de la riqueza pueden ser mucho mayores, como es el caso del resto de los bienes energéticos gravados.

Como era de esperarse en el caso de una economía flexible, las pérdidas en bienestar son menores que cuando se tiene una economía rígida. Por tanto la conclusión más importante de este trabajo es que una economía rígida que dificulta la sustitución entre bienes energéticos genera, en general, una pérdida en bienestar. Además, la pérdida en bienestar y el efecto redistributivo del impuesto están ligados al tipo de energía que se grave, cada una de ellas tiene efectos distintos, por tanto una política fiscal óptima que considere los efectos distributivos tienen que considerar las diferentes respuestas de la economía ante la imposición a distintos bienes energéticos.

Algunos combustibles fósiles se comportan como sustitutos y otros como complementos por lo que el diseño de la política fiscal óptima debe de tomar en cuenta estas características microeconómicas para lograr una mayor eficiencia.

En general se puede observar que cuando las familias 1 y 10 se ven beneficiadas con la política fiscal aplicada, el resto de la sociedad es la que paga la reducción de las emisiones, hecho que se explica por el peso específico que tiene la energía en los bienes que consumen los distintos tipos de familia.

Se construyó también un modelo dinámico que permitirá evaluar los efectos en el tiempo de distintas políticas de control de emisiones ante distintos escenarios de crecimiento de la economía.

El mantener la gran desagregación en los sectores de la economía obligó a reducir la longitud del periodo de análisis, podría incrementarse el número de años simulados si se redujera el nivel de detalle en el modelaje de la economía.

En el modelo dinámico se observa que bajo las condiciones consideradas, desaparecen en el tiempo los efectos redistributivos. Debe recordarse que se mantuvo constante la política de transferencias del gobierno hacia las familias, observada en el equilibrio de referencia, a lo largo de todo el periodo de análisis.

Como puede observarse, la aplicación de un impuesto a los combustibles fósiles es eficiente en la reducción de la emisión de CO_2 a la atmósfera, sin embargo, el costo de esta política la acaban pagando diferente los distintos estratos familiares en la economía.

Una economía rígida, es decir una economía donde existan altos costos para sustituir un combustible por otro, ante una modificación en los precios relativos, genera mayores costos sociales que otra donde haya mayor flexibilidad. El caso mexicano se asemeja mucho más a uno con tecnología rígida.

Una política pública que tenga como objetivos minimizar el costo social de reducir la emisión de CO_2 vía la aplicación de un impuesto, debe de considerar el tipo de energía fósil que se grava y debe tratar además de incentivar el cambio técnico o revisar la regulación con la que

se gestiona la sustitución de energía entre los agentes económicos, es decir, impuesto y subsidios actuales a la energía.

Dado que el probable crecimiento futuro de la economía logrará incrementar los ingresos de las generaciones futuras, es muy importante evaluar los efectos intertemporales de aplicar medidas tanto de mitigación como de adaptación financiadas exclusivamente por la generación actual, ya que de ser así, se estaría aplicando una política regresiva, al obligar a la generación relativamente pobre a subsidiar a las generaciones relativamente ricas.

Ambos modelos, el estático y el dinámico, se programaron en GAMS y aparecen en el apéndice B de este trabajo, los resultados del modelo dinámico deben tomarse como el inicio de un proceso de mucho mayor alcance donde los próximos pasos a seguir para una mejor comprensión del problema que nos ocupa sería la elaboración de un modelo con cambo técnico endógeno.

Bibliografía

Armington, P. A. (1969). A theory of demand for products distinguished by place of production. *IMF Staff Papers*, *16*(1), pp159–178.

Boyd, R., Krutilla, K., Viscusi, W.K., (1995). Energy taxation as a policy instrument to reduce CO_2 emissions: a net benefit analysis. J. Environ. Econ. Manage. 29, 1_24.

Bye, B. (2000). Environmental tax reform and producer foresight: An intertemporal computable general equilibrium analysis. *Journal of Policy Modeling*, *22*(6), 719–752.

Cansier, D., & Krumm, R. (1997). Air pollutant taxation: An empirical survey. *Ecological Economics*, *23*(1), 59–70.

Devarajan, S. (1988). Natural resources and taxation in computable general equilibrium models of developing countries. *Journal of Policy Modeling*, *10*(4), 505–528.

Devarajan, S., & Hossain, S. I. (1998). The combined incidence of taxes and public expenditures in the Philippines.*World Development*, *26*(6), 963–977.

Fan, Y., Liang, Q. M., Wei, Y. M., & Okada, N. (2007). A model for China's energy requirements and CO2 emissions analysis. *Environmental Modelling & Software*, *22*(3), 378–393.

Felder, S., & Schleiniger, R. (2002). Environmental tax reform: Efficiency and political feasibility. *Ecological Economics*, *42*(1/2), 107–116.

Fisher-Vanden, K., & Ho, M. S. (2007). How do market reforms affect China's responsiveness to environmental policy? *Journal of Development Economics*, *82*(1), 200–233.

Fisher-Vanden, K. A., Shukla, P. R., Edmonds, J. A., Kima, S. H.,&Pitcher, H.M. (1997). Carbon taxes and India. *Energy Economics*, *19*(3), 289–325.

Garbaccio, R. F., Ho, M. S., & Jorgenson, D. W. (1999). Controlling carbon emissions in China. *Environment and Development Economics*, *4*(4), 493–518.

Glomsrød, S., & Wei, T. Y. (2005). Coal cleaning: A viable strategy for reduced carbon emissions and improved environment in China? *Energy Policy*, *33*(4), 525–542.

Goulder, L. H. (1995). Effects of carbon taxes in an economy with prior tax distortions: An intertemporal general equilibrium analysis. *Journal of Environmental Economics and Management*, *29*(3), 271–297.

Gooroochurn, N., & Milner, C. (2005). Assessing indirect tax reform in a tourism-dependent developing country. *World Development*, *33*(7), 1183–1200.

Gottinger, H. W. (1998). Greenhouse gas economics and computable general equilibrium. *Journal of Policy Modeling*, *20*(5), 537–580.

IPCC(2005), Intergubernamental Panel on Climate Change.

Kemfert, C.,&Welsch, H. (2000). Energy–capital–labor substitution and the economic effects ofCO2 abatement: Evidence for Germany. *Journal of Policy Modeling*, *22*(6), 641–660.

Kokoski, M. y Smith, K.(1987), A General Equilibrium Analysis of Partial-Equilibrium Welfare Measures: The Case of Climate Change, The American Economic Review, Vol. 77, No. 3, pp. 331-341

Kumbaro ˘glu, S. G. (2003). Environmental taxation and economic effects: A computable general equilibrium analysis for Turkey. *Journal of Policy Modeling*, *25*(8), 795–810.

Paltsev, S., Reilly, J. M., Jacoby, H. D., Eckaus, R. S., McFarland, J., Sarofim, M., et al. (2005). *The MIT emissions prediction and policy analysis* (*EPPA*) *model*: *Version 4*. http://mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC Rpt125.pdf.

Poterba, J.(1993), Global Warming Policy: A Public Finance Perspective, The Journal of Economic Perspectives, Vol. 7, No. 4, pp. 47-63

Scrimgeour, F., Oxley, L., & Fatai, K. (2005). Reducing carbon emissions? The relative effectiveness of different types of environmental tax: The case of New Zealand. *Environmental Modelling & Software*, *20*(11), 1439–1448.

Walras, L. (1969). *Elements of pure economics or the theory of social wealth*. New York: A. M. Kelley., 620 pp

Wendner, R. (2001). An applied dynamic general equilibrium model of environmental tax reforms and pension policy. *Journal of Policy Modeling*, *23*(1), 25–50.

Yilmaz, K. (1999). Optimal export taxes in a multi-country framework. *Journal of Development Economics*, *60*(2), 439–465.

Zhang, Z. X. (1995). *Integrated economy–energy–environment policy analysis: A case study for the People's Republic of China*. The Netherlands National Research Pro-gramme on Global Air Pollution and Climate Change (NOP)., 308

Zhang, Z. X. (1998). Macroeconomic effects of CO2 emission limits: A computable general equilibrium analysis for China. *Journal of Policy Modeling*, *20*(2), 213–250.

Zhang, Z. X., & Baranzini, A. (2004). What do we know about carbon taxes? An inquiry into their impacts on competitiveness and distribution of income. *Energy Policy*, *32*(4), 507–518.