



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ECONOMÍA

MODELOS DE EQUILIBRIO GENERAL APLICADO COMO INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN POLÍTICAS AMBIENTALES

Tesina

Que para obtener el grado de Licenciado en
Economía

P R E S E N T A:

JESÚS VELÁZQUEZ UTRILLA

DIRECTOR: MTRO. MIGUEL CERVANTES JIMÉNEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. AGOSTO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la vida, por permitirme llegar a este momento, por las alegrías y risas pero también por las tristezas y decepciones que forjaron mi carácter y me convirtieron en el hombre que soy.

A mis padres, por ser mi apoyo incondicional, motivación y ejemplo a seguir a lo largo de los años.

A mi hermana, por ser mi compañera de vida, de discusiones, de peleas y por haberme dado uno de los honores más grandes que tengo, ser padrino de Regina.

A mi abuela Gloria, la persona más leal y amorosa que conozco, un ejemplo en todos los aspectos de su vida.

A mi tío Salvador y mis abuelos, los recuerdo con mucho cariño y siempre los tengo presente.

A mi ahijada, sobrino, tíos y primos, por haber compartido tantos momentos conmigo y haber estado en cada faceta de mi vida.

A mis amigos, la familia que escogí, por haberme adoptado como un hermano más y enseñarme el significado de la palabra amistad.

A mis profesores, que desarrollaron y potenciaron mi conocimiento.

A mi tutor Miguel, por haber confiado en mí para la elaboración de este trabajo, por su apoyo y sugerencias a lo largo de este proceso.

A mi honorable sínodo, conformado por distinguidos profesionistas; gracias por su tiempo y apoyo, sin ustedes este trabajo no sería posible

A mi Universidad, por haberme creado ese sentimiento de orgullo y pertenencia y por todas las personas invaluable que conocí y enseñanzas que aquí aprendí.

A mi Facultad, por inculcarme el amor a la carrera y enseñarme que la vocación de un economista consiste por sobre todas las cosas en buscar el bienestar social. Espero algún día poder devolverles un poco de lo que me dieron.

Por último, gracias a todas aquellas personas que están o estuvieron presentes en mi vida las enseñanzas que me dejaron no las olvido

ÍNDICE

CONTENIDO

Agradecimientos	1
Índice.....	2
Introducción	4
1. Capítulo 1 Historia de los MEGA, metodología y campos de acción.....	7
1.1 Importancia de los MEGA en los últimos años.....	8
1.2 Características de los MEGA.....	9
1.2.1 Evolución teórico-práctica de los MEGA	9
1.2.2 Características particulares de los MEGA.....	10
1.2.3 Ventajas y desventajas de los MEGA	11
1.3 Campos de acción de los MEGA.....	12
1.4 Metodología de los MEGA	14
1.4.1 Diferencias de los MEGA respecto a otras metodologías	14
1.4.2 Elaboración de un MEGA para análisis empírico	15
1.4.3 Matriz de contabilidad social	30
1.4.4 Calibración del modelo	32
1.4.5 Métodos de solución para modelos no lineales	33
1.4.6 Análisis de sensibilidad del modelo	34
2. Capítulo 2 Estudios a los que se han aplicado.....	36
2.1 Introducción a los MEGA ambientales	36
2.2 MEGA al control de emisiones	37
2.2.1 Impuesto al consumo de combustibles fósiles, España, 1995	39
2.2.2 Impuesto al consumo de combustibles Fósiles, México, 2000	41
2.2.3 Impuesto a las emisiones de carbono, Suiza, 2001	42
2.2.4 Impuesto a la emisión de CO ₂ , Estados Unidos, 1999.....	44
2.2.5 Impuesto a la emisión de gases contaminantes, Turquía, 1991	45
2.2.6 Políticas para reducir la emisión de GEIs, Mundial, 2000	47
2.2.7 Control de emisiones de GEIs, un análisis comparativo, Australia, 2001.....	50
2.2.8 Mercado de permisos de emisión, España, 2002.....	51
2.2.9 Impuesto a los insumos intermedios, Estados Unidos, 1990.....	53

2.2.10 Impuesto a los bienes energéticos, Andalucía, 2000.....	54
2.2.11 Impuesto a las emisiones derivadas de los outputs de la producción, Malasia, 2000	56
2.2.12 Conclusiones MEGA al control de emisiones.....	57
2.3 MEGA al impulso de biocombustibles.....	59
2.3.1 Biocombustibles, pobreza y crecimiento, Mozambique, 2003.....	60
2.3.2 Impacto de los biocombustibles, Multiregión, 2001	63
2.3.3 Introducción de los biocombustibles a la economía mundial, Global, 2001	64
2.3.4 Conclusiones: MEGA al impulso de biocombustibles.....	65
2.4 MEGA como política económica sobre el agua.....	66
2.4.1 Restricción en el suministro de agua, Multiregión, 1997	68
2.4.2 Reducción del suministro de agua, Valle San Joaquín, 1982.....	70
2.4.3 Reasignación del agua, Nevada, 1991	72
2.4.4 Asignación de los derechos del agua, Islas Baleares, 1997.....	73
2.4.5 Política fiscal Hidrológica, México, 1993.....	75
2.4.6 Conclusiones: MEGA como política económica sobre el agua	77
Conclusiones	78
Bibliografía	81

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años diversos economistas se han preocupado por cuantificar los efectos directos e indirectos que cambios en el comportamiento de ciertos agentes económicos tendrían en el resto de la economía.

Debido a las relaciones complejas existentes entre los agentes económicos es muy complicado que al introducir algún cambio en una variable determinada los efectos sean aislados, es decir que solo afecten a un determinado grupo o sector. Por el contrario, la creciente interdependencia a la que están expuestos ocasiona que el alcance sea cada vez mayor, impactando con distinta magnitud a cada agente involucrado.

Al no considerar interdependencia de los sectores y no cuantificar los impactos (directos e indirectos) que las políticas económicas tienen en los distintos agentes económicos el equilibrio parcial pierde fuerza explicativa, en estos casos es el equilibrio general Walrasiano aquel que permite cuantificar dichos efectos y conocer el alcance de la política pública establecida.

Los modelos de equilibrio general aplicado (MEGA) son un tipo de modelo multisectorial que se han utilizado desde mediados del siglo pasado con el fin de medir los efectos ex-ante de determinadas políticas públicas.

Por su metodología existen MEGA estáticos y dinámicos, y por línea de investigación existen varias ramas siendo las tres principales las que se refieren a temas fiscales (Cervantes, 2014), (Urquiza & Cervantes, 2014), comerciales (Leon Castañeda & Cervantes, 2014) y ambientales (Velázquez & Cervantes, 2014). Al cambiar la línea de investigación de un MEGA, los aspectos metodológicos no sufren cambios importantes, lo que cambia son los datos y variables a incluir (ambientales, fiscales o comerciales) y el tipo de política a simular de acuerdo a lo que se quiera evaluar. Por la dificultad tanto del tema expuesto como de la recolección de datos, el presente trabajo aborda únicamente diecinueve artículos que consideran solo temas ambientales.

En años recientes, el tema medio ambiental ha cobrado fuerza debido a la degradación ambiental sufrida y a la entrada en vigor del “Protocolo de Kyoto”¹ (Eguino, 2009), generando que distintos países hayan buscado establecer acuerdos y objetivos a nivel global y regional que centren sus esfuerzos en reducir las emisiones contaminantes gravando a los sectores emisores. El objetivo final, es el de instaurar una economía sustentable o verde² en el largo plazo a lo largo del orbe o en determinadas regiones.

Estudios sobre el impacto económico de la reducción de los gases de efecto invernadero comenzaron a desarrollarse en la década de los 90. Sobresalen los trabajos de Nordhaus (1990) en el ámbito global y Vayan (1999) en el regional.

Existen MEGA que analizan los efectos que los impuestos medio ambientales tendrían en los sectores de la producción así como en la función de bienestar, en países desarrollados tales como Suiza (Drouet, Sceia, & Vielle, 2006), España (Polo, Cardenete, & Fuentes Saguar, 2009) (Labandeira, Labeaga, & Rodríguez, 2004), Australia (Lamble & Pezzey, 2001) y en algunos países en desarrollo como México (Pérez, 2003), Tailandia (Shrestha & Malla), Turquía (Kumbaroglu) y Malasia (Al-Amin, Hamid, & Siwar, 2009).

Un segundo grupo de MEGA analizan el impacto que la producción de biocombustibles tendría en la economía en general y el bienestar de la población. La búsqueda por una nueva industria que genere un cambio de combustibles fósiles no renovables por fuentes de energía alternas, ha puesto en el centro del debate a los biocombustibles. La bibliografía en este apartado no es extensa debido a la escasa cantidad de fuentes oficiales para obtener la información. Sin embargo; trabajos como los de Arndt, Benfica Rui, Tarp, Thurlow y Uaiene (2008), Bryant y Campiche (2009) y Kretschmer y Peterson (2008) que estudian los cambios en la pobreza y el crecimiento económico cuando un sector de biocombustibles se introduce en la economía, son solo algunos ejemplos de modelos aplicados a esta línea de investigación.

¹ Es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas y un acuerdo internacional que tiene como objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global.

² Según la UNEP, una economía verde debe mejorar el bienestar del ser humano y la equidad social, a la vez que reduce significativamente los riesgos ambientales y la escasez ecológica.

Un tercer grupo aborda temas hidrológicos. El agua juega un papel vital no sólo como un recurso indispensable para la vida, también como un insumo dentro de la actividad económica. Al ser un recurso escaso y necesario para la mayoría de las industrias es importante que se administre para que exista una correcta distribución intersectorial y se creen políticas que permitan que perdure para generaciones futuras. Berck, Robinson y Goldman (1990), Gómez (2004), Seung Englin y Harris (1997) son algunos autores que abordan este tema.

Los MEGA también se pueden dividir por su método, existen MEGA dinámicos que buscan cuantificar los efectos en el largo plazo especialmente en estudios regionales (Eguino, 2009), y el modelo elaborado en el MIT (Wing, 2004). La diferencia respecto a los modelos estáticos subyace en la incorporación de aspectos dinámicos del crecimiento a través de cambios en el acervo de capital principalmente.

El objetivo general del presente trabajo es señalar las ventajas que tienen los MEGA respecto a otras metodologías, mientras que los objetivos particulares incluyen presentar su metodología, teoría, historia, campos de acción y ejemplos de simulaciones aplicadas en distintos países considerando políticas particulares.

El presente trabajo se divide en dos capítulos. El primer capítulo exhibe a los MEGA como una herramienta de simulación útil en la medición de políticas públicas, presenta sus antecedentes, evolución, campos de acción, sus ventajas respecto a otras metodologías así como sus limitaciones, para después centrarse en la metodología que utilizan y sus métodos de solución. El segundo capítulo, presenta aplicaciones prácticas de los modelos cuando se simulan distintas políticas medio ambientales con sus conclusiones particulares.

Por su contenido, el presente trabajo está dirigido a las personas encargadas de implementar las políticas públicas, así como a profesores e investigadores de la ciencia económica y medio ambiental, con el fin de que se familiaricen con la metodología de los MEGA y consideren su aplicación en sus líneas de investigación.

1. CAPÍTULO 1

HISTORIA DE LOS MEGA, METODOLOGÍA Y CAMPOS DE ACCIÓN

Los MEGA son una herramienta de análisis neoclásico que deben su origen a la teoría del equilibrio general desarrollada por León Walras en su obra “*Elements d’économie pure*” (1926). En su trabajo, Walras se confronta con el enfoque Marshalliano de análisis de equilibrio parcial proponiendo un análisis de equilibrio general.

El enfoque de equilibrio general neoclásico fue elaborado de manera rigurosa por Debreu (1959) y posteriormente por Arrow y Hahn (1971), que a pesar de haber desarrollado un modelo matemáticamente riguroso no pretendían hacer una descripción de los sistemas económicos existentes, sino que intentaban probar la existencia de equilibrios Pareto óptimos.

Johansen (1960) desarrolló el primer modelo de equilibrio general computable aplicado a la economía Noruega resolviendo de manera manual un sistema de ecuaciones por medio de su linealización. Posteriormente, Scarf y Hansen (1973) aplicaron y resolvieron equilibrios computables con herramientas informáticas, creando algoritmos numéricos para solucionar los problemas de equilibrio con el objetivo de estimar empíricamente un modelo Arrow-Debreu³. La escuela de linealización noruega-australiana (seguidora de Johansen) y la escuela de niveles norteamericana (ecuaciones no lineales) surgen como respuesta a los trabajos de los autores previamente mencionados (Sánchez García, 2005).

A partir de estos fundamentos, Dervis, De Melo y Robinson (1982) primero y Shoven y Whalley (1984) después definieron a los MEGA como “La evolución desde la estructura del equilibrio general Walrasiano que representa de forma abstracta la economía hacia un modelo realista de esta” y como “Modelos matemáticos que incorporan las relaciones fundamentales del equilibrio general entre la estructura de producción, el ingreso de varios grupos y los patrones de la demanda”. También, se enfocaron en desarrollar y formalizar aplicaciones de dichos modelos, considerando y definiendo nuevas variables en su construcción.

³ El modelo Arrow-Debreu es aquel que formaliza matemáticamente las relaciones entre oferta y demanda de los mercados propuestas por Walras en su teoría del equilibrio general.

Los desarrollos posteriores como los de Harberger (1960) y Shoven y Whalley (1972) se enfocaron en problemas de impuestos óptimos y políticas de comercio exterior para países desarrollados. Para los países en desarrollo, no se aplicaron estos modelos sino hasta finales de los años 70, con los trabajos de Adelman y Robinson para Corea (1978) y el de Taylor y Lysy para Brasil (1980).

Posteriormente, en la década de los 80 la aplicación de los modelos evoluciono. Surgió el interés por los temas sociales como la pobreza y la distribución del ingreso en países en vías de desarrollo particularmente, estas líneas de investigación junto con las nuevas aplicaciones referentes a temas ambientales se han desarrollado de manera simultánea junto con la difusión internacional del concepto de desarrollo sustentable⁴.

1. 1 IMPORTANCIA DE LOS MEGA EN LOS ÚLTIMOS AÑOS

En los últimos cuarenta años, los MEGA se han desarrollado considerablemente tanto en número como en diversidad de sus aplicaciones, utilizándose cada vez más para analizar las políticas públicas implementadas por distintos países.

En un principio, se desarrollaron modelos para medir los impuestos óptimos y las políticas comerciales en los países desarrollados. Posteriormente, en los años 80, se usaron para medir el impacto de las políticas públicas en los indicadores sociales, para después centrarse en temas de ajuste estructural y estabilización, debido a las crisis de deuda en la que incurrieron varios países en vías de desarrollo y a las crisis económicas originadas en los países desarrollados durante la década de los 70.

Finalmente, a partir de los años 90, se retomó la problemática de la pobreza y la distribución del ingreso, el comercio internacional volvió a ser un tema central dentro del análisis en los países en vías de desarrollo, y se introdujeron los modelos que consideraban problemas ambientales y ecológicos.

⁴La Comisión de Brundtland en su informe "Brundtland Commission: Our Common Future" define el desarrollo sustentable como "El desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades".

Nuevas líneas de investigación que abordan distintas temáticas se han desarrollado en los años más recientes; sin embargo, los MEGA comerciales, fiscales y ambientales siguen siendo los tres grandes grupos de investigación.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MEGA

1.2.1 Evolución teórico-práctica de los MEGA

La ciencia económica en general tiene el reto de compaginar la teoría pura con el mundo real generando hipótesis que nos permitan comparar ambos escenarios. Un MEGA, al ser una herramienta de análisis económico tiene el mismo objetivo. Al igual que en la economía, los MEGA no se reducen a la elección de un único paradigma teórico capaz de aplicarse en cualquier situación. Por ello, los MEGA son el resultado conjunto de dos procesos; uno teórico y otro técnico-funcional (O’Ryan, de Miguel, & Miller, 2003).

La evolución teórica, está determinada por todas las corrientes y teorías que han coexistido a lo largo de la historia del pensamiento económico. La mayoría de las teorías macroeconómicas se basan en la noción de equilibrio. Sin embargo, suelen diferir en los procesos de ajuste que se llevan cabo para llegar a un nuevo equilibrio.

El marco teórico de un MEGA dependerá de las preferencias teóricas del autor y de la realidad del país o región que el modelo considere. Al intentar los modelos representar el contexto económico de un país, es fundamental incorporar los aspectos clave que determinan su estructura socioeconómica. Esto ha hecho que en la práctica los modelos no se hayan sustentado en ideologías extremas, sino que incluyen aspectos de otras corrientes económicas para ajustar los modelos lo mejor posible a la realidad.

Al revisar la literatura de los MEGA desarrollados, los modelos de corte neoclásico Walrasiano han sido los más usados y aceptados por los economistas en general. Sin embargo, muchos de ellos incluyen adecuaciones para limitar algunos supuestos neoclásicos extremos como el equilibrio dentro del sector público, competencia perfecta, entre otros y así adaptar los modelos a una realidad más compleja.

Los MEGA, se pueden dividir por su evolución teórica en tres grandes grupos:

- a) *Modelos de primera generación*: Son estáticos y siguen de manera rigurosa los supuestos establecidos en la teoría del equilibrio general.
- b) *Modelos de segunda generación*: son estáticos y consideran aspectos estructurales que los supuestos neoclásicos no toman en cuenta; como la existencia de competencia imperfecta, desempleo de factores productivos, rendimientos decrecientes, entre otros.
- c) *Modelos de tercera generación*: incorporan aspectos dinámicos mediante cambios en el capital principalmente, aunque también pueden incluir cambios en la oferta de trabajo, la mayoría de estos modelos son de tipo Ramsey⁵. La crítica que ha surgido respecto a este tipo de modelos es que la senda de crecimiento es guiada.

La evolución técnica y lo que finalmente posibilitó el desarrollo y adopción de los MEGA por los investigadores fue el desarrollo en calidad y sofisticación de las cuentas nacionales. La incorporación de los insumos intermedios permitió el análisis de la estructura del producto y de las relaciones intersectoriales. A la par que la evolución teórica de los modelos y de los insumos necesarios, las técnicas para su resolución se perfeccionaron con la introducción de paquetes algebraicos que facilitan su solución.

1.2.2 Características particulares de los MEGA

Al ser una representación de la realidad, los MEGA consideran las interacciones de los individuos en los mercados, lo que supone ciertas condiciones en la modelación para alcanzar los equilibrios.

Las características fundamentales de los MEGA son:

- Las funciones de demanda se basan en un proceso de maximización de utilidad por parte de los consumidores.

⁵ Es un modelo de crecimiento económico en el cual la tasa de ahorro es endógena, por lo que a diferencia del modelo de Solow la tasa de ahorro no puede ser constante a lo largo de la transición hacia el estado estacionario.

- Las funciones de oferta se fundamentan en un comportamiento maximizador de beneficios por parte de los productores.
- La mayoría de los modelos asumen mercados competitivos en un contexto neoclásico, determinando los precios y cantidades de forma endógena (O’Ryan, de Miguel, & Miller, 2003).
- Son modelos multisectoriales, donde los sectores varían de acuerdo a los intereses de la aplicación.
- Pueden representar a uno o varios países.
- Trabajan ecuaciones lineales y no lineales.
- Pueden ser estáticos o dinámicos (Rotemberg & Woodford, 1997).

1.2.3 Ventajas y desventajas de los MEGA

Los MEGA corrigen algunas desventajas de sus predecesores; sin embargo, también tienen ciertas desventajas que se deben considerar al momento de analizar los resultados.

Las ventajas más relevantes son las siguientes:

- Consideran a toda la economía en su conjunto, lo que permite medir los impactos directos e indirectos de la política.
- Tienen una sólida base microeconómica.
- Permiten resolver problemas no lineales.
- Permiten obtener los precios de la economía en forma endógena.
- Permiten incorporar múltiples mercados y simular múltiples políticas.
- Permiten modelar y analizar la estructura de una determinada economía.
- De ser necesario incorporan restricciones o variables estructurales más concretas en sus mercados con el fin de aproximarlos a la economía modelada, por ejemplo competencia imperfecta (O’Ryan, de Miguel, & Miller, 2003).

- Evitan los problemas señalados por la crítica de Lucas⁶ (Rotemberg & Woodford, 1997).
- Pueden cuantificar la eficiencia económica, impactos distributivos, y ambientales de las distintas políticas.

Las limitaciones más importantes son las siguientes:

- Requieren un gran número de datos.
- Su base estadística no es muy fuerte, ya que los parámetros de las ecuaciones se manipulan al ser calibrados para generar la solución exacta del año base (O'Ryan, de Miguel, & Miller, 2003).
- No suelen incluir el comportamiento de las inversiones, que se determina por el ahorro ni incorporar aspectos monetarios ni sectores financieros.
- En los modelos dinámicos, las sendas suelen ser guiadas para que los resultados tengan significado económico.
- La incorporación de las imperfecciones en los mercados es compleja.
- Considerar los costes de ajuste y transacción resulta un tanto complejo.

1.3 CAMPOS DE ACCIÓN DE LOS MEGA

Por su naturaleza de capturar las relaciones sectoriales y regionales y su capacidad de medir los efectos directos e indirectos, los MEGA se han desarrollado en distintos campos de acción.

En un principio los modeladores centraron sus esfuerzos en usar los MEGA para medir el impacto en el desarrollo, cuantificando los efectos que las políticas públicas tenían en indicadores como la pobreza o la distribución del ingreso. A raíz de la recesión de los años 70 en las economías desarrolladas, se dio un cambio al pasar de medir estrategias de desarrollo para enfocarse en problemas de ajuste estructural y estabilización.

⁶ La crítica de Lucas establece que: "Dado que la estructura de un modelo econométrico consiste en reglas de decisión óptimas de los agentes económicos y que las reglas cambian sistemáticamente con los cambios en la estructura relevantes a los agentes, se deduce que cualquier cambio en política modificará la estructura de los modelos econométricos" Lucas (1976).

Además de su aplicación para desarrollar políticas públicas, los MEGA tienen un marco útil para la optimización dinámica, por lo que los modelos se han dividido entre estáticos, donde el objetivo es analizar a detalle las interrelaciones que se producen en la economía, y dinámicos, que están dirigidos al análisis prospectivos de las políticas.

Los MEGA son un instrumento de medición en el análisis de políticas y estrategias comerciales, principalmente en países desarrollados que en años recientes se han interesado en cuantificar los impactos que las políticas aplicadas en el resto del mundo tendrían en sus economías. Algunas políticas comerciales que evalúan los MEGA incluyen el efecto de la creación de aranceles, el impacto de los tratados comerciales, entre otros.

Un segundo campo de acción considera las políticas fiscales y sus efectos en las variables económicas. Por ejemplo, que sucede cuando se introduce un impuesto, se ofrece algún subsidio, se incrementa el nivel de endeudamiento o se aplica alguna otra política para financiar el gasto gubernamental.

Finalmente, la medición de las políticas medio ambientales se ha vuelto un tema central dentro del análisis de los MEGA. Estudios que miden el impacto de mitigar las emisiones a niveles establecidos por el “Protocolo de Kyoto” son en número los más importantes. Sin embargo, al ser los recursos escasos, también se han elaborado modelos para medir los efectos que las políticas públicas enfocadas en su preservación mediante la administración y restricción de los recursos tales como el agua tendrían en su abundancia y distribución.

De esta manera, el campo de acción de los MEGA se ha diversificado con el paso de los años, lo que los ha vuelto una herramienta indispensable en el análisis de una gran variedad de políticas: comerciales, impositivas, de cambio estructural, cambiarias, sociales, ambientales, etc.

1.4 METODOLOGÍA DE LOS MEGA

1.4.1 Diferencias de los MEGA respecto a otras metodologías

Los MEGA, al igual que otros modelos con distintas metodologías toman en la teoría económica su base ideológica, por lo que definir el marco conceptual sobre el cual se va a desarrollar cada modelo es de suma importancia con el fin de que el modelo se asemeje lo mejor posible a la realidad que este intenta representar. Para esto, los autores han considerado la inclusión de variables que permitan modelar los desequilibrios en ciertos mercados que la teoría del equilibrio general no considera.

La diferencia más importante que tiene un MEGA respecto a otras metodologías y que los hace una herramienta tan útil en la medición de políticas públicas, es que permiten medir el efecto que un cambio puntual tiene en el conjunto de la economía, además de generar de manera endógena precios y cantidades.

Los MEGA por la forma en la que se construyen tienen una base teórica sólida respecto a los modelos macroeconómicos y los modelos VAR, esto debido a que a pesar de tener un enfoque top-down cuentan con una robusta base microeconómica que incorpora variables que reflejan el comportamiento de productores, consumidores, gobierno y otros agentes. La desventaja que tienen es que su base teórica estadística es muy débil respecto a los modelos macroeconómicos y VAR que usan información de varios años a lo largo de una serie de tiempo y no únicamente de un año de referencia.

Los modelos de insumo-producto por otro lado, no incorporan mecanismos de mercado ni modelos de optimización, tienen coeficientes fijos y poco margen para la sustitución; tampoco incluyen variables sociales ni ambientales que son importantes al momento de evaluar los efectos de alguna política pública.

Los modelos macroeconómicos o neo-keynesianos son una variedad de los modelos de equilibrio general, la diferencia es que no se fundamentan únicamente en la teoría microeconómica clásica también basan su análisis en tendencias históricas y series de datos, el componente principal de estos modelos es el lado de la demanda y no suponen necesariamente un equilibrio en los mercados.

Por último, otro tipo de aproximación dentro de los mismos MEGA diferente al enfoque determinista clásico es el enfoque estocástico⁷ que toma aspectos de la “Síntesis Neoclásica” para el desarrollo de modelos dinámico-estocásticos. Estos modelos dan cabida a la incertidumbre y consideran expectativas racionales y flexibilidad de precios y salarios; mientras que en los modelos dinámicos determinísticos el valor de las variables futuras sujetas a expectativas coincide con el valor esperado, en los modelos dinámicos estocásticos es el valor esperado por los agentes para las variables futuras el que debe de coincidir con los valores que se derivan de la solución del modelo.

1.4.2 Elaboración de un MEGA para análisis empírico

Para facilitar su exposición el modelo presentado corresponde a un MEGA de primera generación; es un modelo estático que sigue con los supuestos de la teoría del equilibrio general.

Siguiendo a Cervantes (2014), los MEGA en lo general definen tres conjuntos de variables:

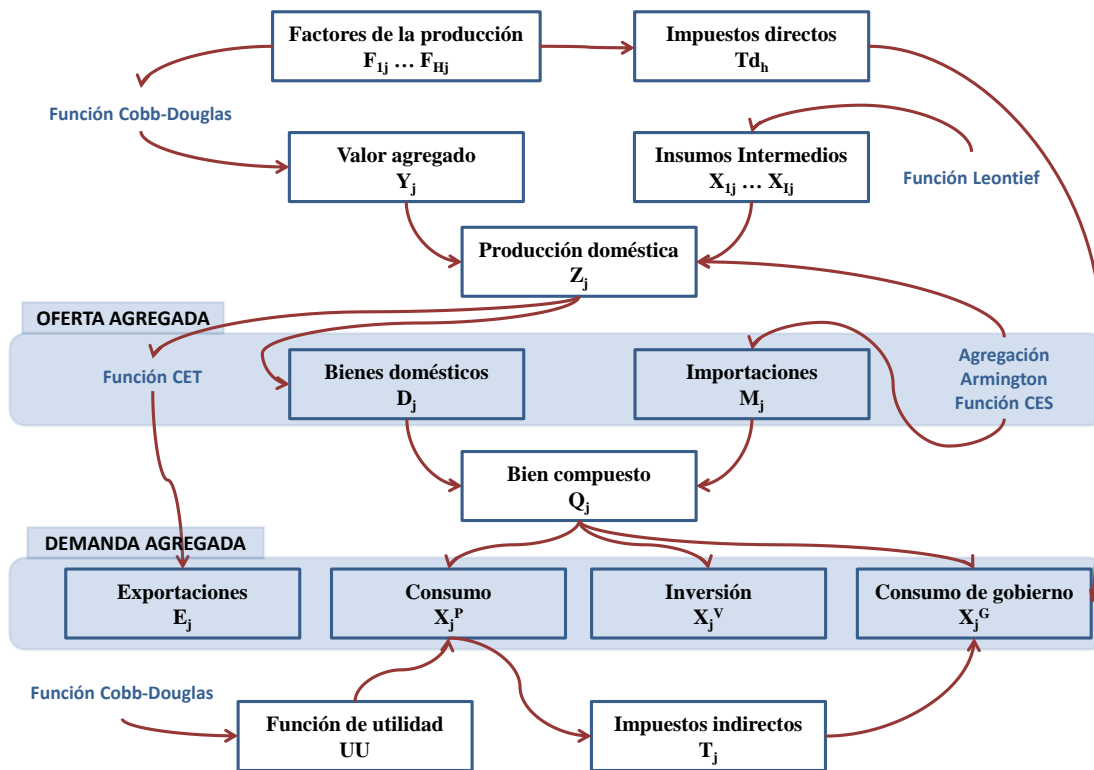
- a) *La tecnología*, la función de producción determina cuánto se puede producir con cada combinación de factores de producción e insumos intermedios y, a la vez, genera los costos de ajustar el capital o el empleo;
- b) *Las preferencias*, los hogares maximizan su función de utilidad en torno al consumo y el ocio, pero restringidos por un conjunto de variables, generalmente su ingreso, y
- c) *El marco Institucional*, los agentes interactúan en un entorno particular, en la que los hogares y productores afrontan reglas de política económica.

Siguiendo la exposición de Hosoe (2004), y la Gráfica , un MEGA para análisis empírico incluye variables de oferta y demanda agregada. Específicamente, El h-ésimo factor de la producción ($F_{1j} \dots F_{hj}$) aporta el valor agregado (Y_j) del j-ésimo producto, el que combinado con los insumos intermedios ($X_{1h} \dots X_{hj}$) genera la producción doméstica (Z_j).

⁷ Aquel enfoque que incluye la incertidumbre en la construcción de los modelos.

De ella, una parte se exporta (E_j) y otra se ofrece como bien doméstico (D_j), y este último agregado a las importaciones (M_j) constituyen la composición de bienes (Q_j), denominada oferta agregada. En equilibrio, la oferta agregada debe ser igual a la demanda agregada, la que está compuesta por el consumo privado (X_j^P), el gasto en inversión (X_j^V), el gasto de gobierno (X_j^G) y las exportaciones (E_j). El consumo privado de la mercancía producida por la empresa j -ésima se determina con base en una función de utilidad (UU). El gasto en inversión de la empresa j -ésima se financia con el ahorro privado (S), el ahorro de gobierno (S^g) y el ahorro externo (S^f). El gasto de gobierno en la empresa j -ésima se sufraga con los impuestos directos (Td), los impuestos indirectos que aporta la empresa j -ésima el (T_j) y los impuestos al sector externo. En la Gráfica el subíndice h se refiere a los factores de la producción, el j se asocia a las empresas o actividades productivas y el i a las mercancías.

Gráfica 1. Estructura de los MEGA para análisis empírico.



Fuente: (Cervantes & León Castañeda, Aspectos Metodológicos de los Modelos de Equilibrio General, 2014).

A continuación se analiza el MEGA para análisis empírico, primero se muestra la toma de decisión de las empresas, en sus fases de valor agregado y de producción doméstica, posteriormente la inversión, el comercio internacional con sus importaciones y exportaciones, posteriormente el ingreso tributario y gasto público, ulteriormente el ahorro privado y público, el consumo privado, así como las condiciones de vaciado del mercado de bienes y de factores.

El MEGA para análisis empírico en la producción supone que la empresa j-ésima combina los factores de la producción, trabajo y capital, con los insumos intermedios. Para simplificar la exposición, la producción se divide en dos etapas:

En la primera etapa el valor agregado es generado por el trabajo y el capital. La empresa j-ésima maximiza el beneficio del valor agregado (π_j^Y), ingreso total del valor agregado ($p_j^Y Y_j$) menos el costo total del uso de factores de la producción ($\sum r_h F_{hj}$), sujeto a la tecnología representada por una función de producción tipo Cobb-Douglas⁸ (homogénea de grado uno), matemáticamente:

$$\begin{aligned} \max_{Y_j, F_h} \pi_j^Y &= p_j^Y Y_j - \sum r_h F_{hj} \\ \text{s.a. } Y_j &= b_j \prod_h F_{hj}^{\beta_{hj}} \end{aligned}$$

La maximización del beneficio determina la demanda óptima de los factores de la producción, a saber:

$$F_{hj} = \frac{\beta_{hj} p_j^Y}{r_h} Y_j \quad \forall h$$

En donde:

π_j^Y : beneficio del valor agregado de la empresa j-ésima;

p_j^Y : precio del valor agregado de la empresa j-ésima;

⁸ Es una forma de función de producción que representa las relaciones entre el producto y la variación de los insumos como el trabajo, el capital y la tecnología. Para más información referirse a los trabajos desarrollados por Cobb y Douglas (1928) en "A Theory of Production".

Y_j : valor agregado de la empresa j-ésima;

r_h : precio del factor de la producción h-ésimo ($r_h \geq 0$);

F_{hj} : factor de la producción h-ésimo ocupado por la empresa j-ésima ($F_{hj} \geq 0$);

b_j : parámetro de escala de la función de producción, y

β_{hj} : Proporción del parámetro de la función de producción ($0 \leq \beta_{hj} \leq 1$, $\sum_h \beta_{hj} = 1$) o elasticidad producto del factor h-ésimo.

En la segunda etapa, la producción doméstica se realiza al adicionar el valor agregado con los insumos intermedios. La empresa j-ésima maximiza el beneficio de la producción doméstica (π_j), ingreso total de la producción doméstica ($p_i^s Z_j$) menos el costo total del valor agregado de los factores de la producción ($p_j^y Y_j$) menos el costo total de los insumos intermedios ($\sum p_i^q X_{ij}$), sujeto a la tecnología representada por una función de producción tipo Leontief⁹ (de factores fijos y homogénea de grado uno).

$$\begin{aligned} \max_{Z_j, Y_j, X_{ij}} \quad & \pi_j = p_i^s Z_j - (p_j^y Y_j + \sum_i p_i^q X_{ij}) \\ \text{s.a.} \quad & Z_j = \min \left\{ \frac{X_{ij}}{ax_{ij}}, \frac{Y_j}{ay_j} \right\} \end{aligned}$$

La solución del problema de maximización del beneficio de la producción doméstica arroja la cantidad óptima de insumos intermedios y de valor agregado:

$$X_{ij} = ax_{ij} Z_j, \quad \forall i$$

$$Y_j = ay_j Z_j, \quad \forall j$$

⁹ Leontief (1951) considera que los procesos industriales están caracterizados por coeficientes de insumo-producto fijos. Una función de producción de tipo Leontief asume complementariedad perfecta entre factores o insumos productivos y generalmente se usan para representar la producción en economías de planificación centralizada.

En donde:

π_j : beneficio de la producción doméstica de la empresa j-ésima;

p_j^s : precio de oferta del bien producido por la empresa j-ésima;

Z_j : producción doméstica de la empresa j-ésima;

p_j^y : precio del valor agregado de la empresa j-ésima;

Y_j : valor agregado de la empresa j-ésima;

p_i^q : precio del insumo intermedio i-ésimo ocupado por la empresa j-ésima;

X_{ij} : insumo intermedio i-ésimo ocupado por la empresa j-ésima;

ax_{ij} : coeficiente de requerimientos mínimos del insumo intermedio i-ésimo ocupado por la empresa j-ésima por una unidad de producción doméstica, y

ay_j : coeficiente de requerimientos mínimos de valor agregado de la empresa j-ésima por una unidad de producción doméstica.

Al utilizar una función de producción tipo Leontief, la solución de la maximización de beneficio de la producción doméstica implica una solución de esquina en los insumos intermedios. Para la evaluación de soluciones, en el problema de maximización del

beneficio $\pi_j = p_j^s Z_j - \left(p_j^y Y_j + \sum_i p_i^q X_{ij} \right)$ se sustituye por la siguiente expresión del

beneficio, el que es igual a cero por tratarse de una economía competitiva:

$$\pi_j = p_j^s Z_j - \left(ay_j p_j^y Z_j + \sum_i ax_{ij} p_i^q Z_j \right) = 0 \quad \forall j$$

De donde se desprende que el precio de oferta de la mercancía j-ésima es igual a:

$$p_j^s = ay_j p_j^y + \sum_i ax_{ij} p_i^q \quad \forall j$$

Por otra parte, el gasto en inversión (X_j^V) es igual al ahorro privado (S) más el ahorro del gobierno (S^G) más el ahorro externo en moneda local (εS^f) (por eso se ocupa el tipo de cambio directo). La función inversión se representa por la siguiente ecuación:

$$X_i^v = \frac{\lambda_i}{P_i^q} (S + S^g + \varepsilon S^f) \quad \forall i$$

En donde:

X_i^v : demanda de inversión de la mercancía i-ésima;

λ_i : proporción del gasto de inversión de la mercancía i-ésima ($0 \leq \lambda_i \leq 1$, $\sum_i \lambda_i = 1$);

P_i^q : precio de la mercancía i-ésima;

S : ahorro privado;

S^g : ahorro público;

ε : tipo de cambio directo, y

S^f : ahorro externo en moneda extranjera.

El ahorro total es la suma del ahorro privado (S), el ahorro público (S^G) y el ahorro externo (S^f). asimismo, el ahorro privado es una proporción (ss) del ingreso de los factores:

$$S = ss \sum_h r_h F F_h,$$

En donde:

S : ahorro privado;

ss : proporción del ahorro privado respecto del ingreso de los factores;

r_h : precio del factor de la producción h-ésimo ($r_h \geq 0$), y

FF_h : dotación del factor de la producción h-ésimo.

El ahorro público se genera como una proporción del conjunto de ingresos tributarios:

$$S^g = ss^g \left(\sum_j T_j + \sum_i T_i^m + Td \right).$$

En donde:

S^g : ahorro público;

ss^g : proporción del ahorro público respecto del ingreso de gobierno;

$\sum T_j$: ingresos tributarios de impuestos indirectos de la mercancía i-ésima;

$\sum T_i^m$: ingresos tributarios de la importación de la mercancía i-ésima, y

Td : ingresos tributarios de impuestos directos.

Por su parte, en el comercio internacional se supone que la economía es pequeña y tomadora de precios. En este tenor, el precio de la mercancía exportada i-ésima en moneda local (P_i^e) es igual al tipo de cambio directo (ε) multiplicado por el precio de exportación de la mercancía i-ésima expresada en términos de moneda extranjera (P_i^{We}), esto es:

$$p_i^e = \varepsilon p_i^{We} \quad \forall i$$

En donde:

P_i^e : precio de exportación de la mercancía i-ésima en moneda local;

ε : tipo de cambio directo, y

P_i^{We} : precio de exportación de la mercancía i-ésima en moneda extranjera.

El precio de la mercancía importada i-ésima en moneda local (P_i^m) es igual al tipo de cambio directo (ε) multiplicado por el precio de la mercancía importada en moneda extranjera (P_i^{Wm}), cuya ecuación es:

$$P_i^m = \varepsilon P_i^{Wm} \quad \forall i$$

En donde:

P_i^m : precio de importación de la mercancía i-ésima en moneda local;

ε : tipo de cambio directo, y

P_i^{Wm} : precio de importación de la mercancía i-ésima en moneda extranjera.

Al ocupar los precios externos, la balanza de pagos se puede representar por la igualdad entre la suma del valor de las exportaciones en moneda extranjera de la mercancía i-ésima más el ahorro externo en moneda extranjera, lo que debe ser igual al sumatorio del valor de las importaciones en moneda extranjera de la mercancía i-ésima, matemáticamente:

$$\sum_i P_i^{We} E_i + S^f = \sum_i P_i^{Wm} M_i$$

En donde:

P_i^{We} : precio de exportación de la mercancía i-ésima en moneda extranjera;

E_i : cantidad de exportación de la mercancía i-ésima;

S^f : ahorro externo en moneda extranjera;

P_i^{Wm} : precio de importación de la mercancía i -ésima en moneda extranjera, y

M_i : cantidad de importaciones la mercancía i -ésima.

El modelo de economía abierta supone imperfecta sustituibilidad entre las importaciones y los bienes domésticos, a pesar que los bienes pertenezcan a una misma categoría. Por ello, las importaciones (M) y los bienes domésticos (D) se agregan en un bien compuesto (Q) utilizando el supuesto Armington¹⁰. Así, el problema se plantea como la maximización del beneficio del bien compuesto i -ésimo, el que es igual al ingreso total del bien compuesto menos el costo de las importaciones menos el costo de los bienes domésticos, sujetos a una función de elasticidad de sustitución constante (CES) que depende de las importaciones y del bien doméstico, matemáticamente:

$$\begin{aligned} \max_{Q_i, M_i, D_i} \quad & \pi_i^q = p_i^q Q_i - (p_i^m M_i + p_i^d D_i) \\ \text{s.a.} \quad & Q_i = \gamma_i \left(\delta m_i M_i^{\eta_i} + \delta d_i D_i^{\eta_i} \right)^{\frac{1}{\eta_i}} \end{aligned}$$

Las condiciones de equilibrio de la maximización del beneficio del bien compuesto aportan las cantidades demandadas óptimas de importaciones y del bien doméstico de la mercancía i -ésima, a saber:

$$M_i = \left(\frac{\gamma_i^{\eta_i} \delta m_i p_i^q}{(1 + \tau m_i) p_i^m} \right)^{\frac{1}{1-\eta_i}} Q_i \quad \forall i$$

$$D_i = \left(\frac{\gamma_i^{\eta_i} \delta d_i p_i^q}{p_i^d} \right)^{\frac{1}{1-\eta_i}} Q_i \quad \forall i$$

En donde:

¹⁰ Asume que los bienes domésticos e importados/exportados son sustitutos imperfectos empleando una función CES (Armington 1969).

π_i^q : beneficio del bien compuesto i-ésimo;

P_i^q : precio de bien compuesto i-ésimo;

Q_i : cantidad del bien compuesto i-ésimo;

P_i^m : precio de importación del bien i-ésimo en moneda local;

M_i : cantidad importada de la mercancía i-ésima;

P_i^d : precio del bien doméstico i-ésimo;

D_i : cantidad del bien doméstico i-ésimo;

γ_i : parámetro de productividad de la función CES del bien compuesto i-ésimo;

δm_i : proporción del parámetro de importación de la función CES del bien compuesto i-ésimo ($\delta m_i \geq 0$; $\delta m_i + \delta d_i = 1$);

δd_i : proporción del parámetro del bien doméstico de la función CES del bien compuesto i-ésimo ($\delta d_i \geq 0$; $\delta m_i + \delta d_i = 1$);

η_i : parámetro relativo a la elasticidad de sustitución del bienes i-ésimo ($(\eta_i = (\sigma_i - 1) / \sigma_i)$; $\eta_i \leq 1$), y

σ_i : elasticidad de sustitución del bien i-ésimo
$$\sigma_i = - \frac{d \left(\frac{M_i}{D_i} \right)}{\left(\frac{M_i}{D_i} \right)} \bigg/ \frac{d \left(\frac{P_i^m}{P_i^d} \right)}{\left(\frac{P_i^m}{P_i^d} \right)}.$$

De forma análoga, las empresas venden la producción doméstica al sector externo por medio de exportaciones y a la economía local como bienes domésticos. Se asume que las exportaciones son imperfectamente transformables en bienes domésticos. Así el problema es maximizar el beneficio de la producción doméstica, igual al ingreso total de la exportación y del bien doméstico i-ésimo menos el costo de las exportaciones menos el

costo de los bienes domésticos, sujetos a una función de elasticidad constante de transformación (CET) que depende de la exportación y del bien doméstico i -ésimo, matemáticamente:

$$\begin{aligned} \max_{Z_i, E_i, D_i} \pi_i^z &= (p_i^e E_i + p_i^d D_i) - (\tau_i + p_i^s) Z_i \\ \text{s.a.} \quad Z_i &= \theta_i \left(\xi e_i E_i^{\phi_i} + \xi d_i D_i^{\phi_i} \right)^{\frac{1}{\phi_i}} \end{aligned}$$

Al optimizar se obtienen la función de oferta de exportación y del bien doméstico i -ésimo, a saber:

$$E_i = \left(\frac{\theta^{\phi_i} \xi e_i (1 + \tau_i) p_i^s}{p_i^e} \right)^{\frac{1}{1-\phi_i}} Z_i \quad \forall i$$

$$D_i = \left(\frac{\theta^{\phi_i} \xi d_i (1 + \tau_i) p_i^s}{p_i^d} \right)^{\frac{1}{1-\phi_i}} Z_i \quad \forall i$$

En donde:

π_i^z : beneficio de la producción doméstica del bien i -ésimo;

P_i^e : precio del bien exportado i -ésimo en moneda local;

E_i : cantidad exportada del bien i -ésimo;

P_i^d : precio del bien doméstico i -ésimo;

D_i : cantidad del bien doméstico i -ésimo;

P_i^s : precio de oferta del bien i -ésimo;

τ_i : tasa impositiva a la producción del bien i -ésimo en moneda local;

Z_i : producción doméstica del bien i -ésimo;

θ_i : parámetro de productividad de la función de transformación del bien i -ésimo;

ξe_i : proporción del parámetro de exportación de la función CET del bien i-ésimo ($\xi e_i \geq 0$; $\xi e_i + \xi d_i = 1$);

ξd_i : proporción del parámetro del bien doméstico de la función CET del bien compuesto i-ésimo ($\xi d_i \geq 0$; $\xi e_i + \xi d_i = 1$);

ϕ_i : parámetro relativo a la elasticidad de transformación del bienes i-ésimo ($(\phi_i = (\psi_i + 1) / \psi_i)$; $\phi_i \geq 1$), y

ψ_i : elasticidad de transformación del bien i-ésimo $\psi_i = - \frac{d \left(\frac{E_i}{D_i} \right)}{\left(\frac{E_i}{D_i} \right)} \bigg/ \frac{d \left(\frac{p_i^e}{p_i^d} \right)}{\left(\frac{p_i^e}{p_i^d} \right)}$.

Asimismo, las políticas gubernamentales pueden afectar la asignación de recursos a través de los impuestos y tarifas. Cuando se asume que el gobierno aplica impuestos indirectos sobre la producción de los bienes, los ingresos tributarios procedentes de impuestos indirectos son:

$$T_j = \tau_j p_j^s Z_j \quad \forall j$$

En donde:

T_j : Ingresos tributarios del impuesto indirecto aplicado a la empresa j-ésima

τ_j : tasa impositiva aplicada a la empresa j-ésima

p_j^s : precio de la mercancía producida por la empresa j-ésima

Z_j : producción doméstica de la empresa j-ésima

Cuando el gobierno grava los ingresos, los impuestos directos son:

$$Td = \tau d \sum_h r_h FF_h$$

En donde:

Td : Ingreso tributarios del impuesto indirecto;

τd : tasa impositiva aplicada a las mercancías;

r_h : precio del factor de la producción h-ésimo ($r_h \geq 0$), y

FF_h : dotación del factor de la producción h-ésimo.

Los impuestos a las importaciones se representan por la siguiente expresión:

$$T_i^m = \tau m_i p_i^m M_i \quad \forall i$$

En donde:

T_i^m : ingresos tributarios de la importación del bien i-ésimo;

τm_i : tasa impositiva aplicada a la importación del bien i-ésimo;

p_i^m : precios de la mercancía importada i-ésima, y

M_i : cantidad importada de la mercancía i-ésima.

El gasto de gobierno es igual a los ingresos tributarios que generan los impuestos directos, indirectos y a la importación menos el ahorro público, matemáticamente se representa por la siguiente ecuación:

$$X_i^g = \frac{\mu_i}{p_i^g} \left(Td + \sum_j T_j + \sum_j T_j^m - S^g \right) \quad \forall i$$

En donde:

X_i^g : gasto público;

μ_i : proporción del gasto público en la mercancía i-ésima ($0 \leq \mu_i \leq 1$; $\sum_i \mu_i = 1$);

p_i^g : precio del insumo intermedio i-ésimo;

Td : ingresos tributarios del impuesto directo;

$\sum_j T_j$: ingresos tributarios de impuestos indirectos aplicados a la empresa j-ésima;

$\sum_i T_i^m$: ingresos tributarios de impuestos aplicados a la mercancía i-ésima, y

S^g : ahorro público.

Por otra parte, el consumo de los hogares se representa de la siguiente manera:

$$X_i^p = \frac{\alpha_i}{p_i^g} \left(\sum_h r_h FF_h - S - Td \right) \quad \forall i$$

En donde:

X_i^p : consumo privado;

α_i : proporción del consumo privado en la mercancía i-ésima;

p_i^g : precio del insumo intermedio i-ésimo;

$(r_h)(FF_h)$: ingreso del factor de la producción h-ésimo ($r_h \geq 0$);

S : ahorro privado, y

Td : ingresos tributarios de impuestos directos.

El modelo tiene dos condiciones de vaciado de mercado. La primera condición es la igualdad entre la oferta agregada y la demanda agregada (incluidos los insumos intermedios):

$$D_i + M_i = Q_i = X_i^p + X_i^s + X_i^v + \sum_j X_{ij} \quad \forall i$$

La segunda condición de vaciado de mercado se presenta en el mercado de factores de la producción, en donde el total de factores empleados es igual a su dotación:

$$\sum_j F_{hj} = FF_h \quad \forall h$$

En donde:

$\sum_j F_{hj}$: sumatorio del factor de la producción h-ésimo ocupado por la empresa j-ésima ($F_{hj} \geq 0$);

FF_h : dotación del factor de la producción h-ésimo.

Las variables endógenas del modelo son las siguientes:

$$Y_j, F_{hj}, X_{ij}, Z_j, X_i^s, X_i^v, E_i, M_i, Q_i, D_i, X_i^p, r_h, p_j^y, p_j^s, p_i^q, p_i^e, p_i^m, p_i^d, \varepsilon, S, S^s, Td, T_i^m \text{ y } T_j$$

El MEGA para análisis empírico contiene múltiples relaciones entre sus variables, entre las más relevantes destacan:

- A. El aumento del ahorro del gobierno disminuye el gasto de gobierno.
- B. El aumento del ahorro privado, el público y el externo incrementan el gasto de inversión.
- C. Las exportaciones tienen una relación inversa con el precio de exportación y positivo respecto al precio de producción.

- D. El bien doméstico muestra una relación inversa con el precio de demanda y una positiva respecto al precio de producción.
- E. El alza del ahorro de las familias baja el consumo de mercancías; en contraste, el aumento de su ingreso eleva su consumo.
- F. El empleo de factores de producción se eleva cuando baja su precio y se incrementa con el alza de la producción.

1.4.3 Matriz de contabilidad social

Una matriz de contabilidad social (SAM por sus siglas en inglés) es una herramienta que concentra y organiza toda la información cuantitativa que representa la estructura económica (flujo circular de la economía) de un país o región y que sirve al modelo como su base estadística, la inclusión de los insumos intermedios en las matrices de insumo-producto fue el avance principal que permitió el desarrollo en número de los MEGA.

Una SAM es la fuente indispensable de información para un MEGA, sobre ella se calibra el modelo y se hacen las simulaciones de política pública siguiendo los mecanismos de optimización para analizar los efectos de dicha política o shock.

La información que se organiza en la matriz es cuadrada y toma como referencia un año base que juega un papel clave debido a que toda la información que se recopile debe corresponder a ese año en particular; y también a que las políticas simuladas deben de ir ligadas al año considerado. Lo más conveniente es elegir como año base años “bien comportados” ya que son los que mejor representan la situación económica de un país.

La SAM debe de estar ligada a un marco conceptual, es decir debe mostrar la información de manera detallada y la relación entre las variables de acuerdo a lo que las políticas aplicadas al modelo quieran evaluar.

Los MEGA más comunes son los fiscales, los comerciales y los ambientales, por lo que la información representada en la SAM deberá incluir todas las variables necesarias por este tipo de políticas.

Dentro de la matriz, las cuentas que aparecen se asocian cada una con las variables que el modelo representa, la matriz es un sistema de registro de doble entrada en el cual las columnas representan los gastos, mientras que las filas representan el ingreso. Por último, el equilibrio contable entre gasto e ingreso en cada una de las cuentas es una de las características fundamentales de la SAM.

El Cuadro 1, ilustra una matriz de contabilidad social que representa una economía muy primitiva que cuenta únicamente con dos sectores de la producción que producen dos bienes para un consumidor representativo usando dos factores en la producción (capital y trabajo). Como se observa la matriz cuenta con dos entradas que representan las transacciones entre los agentes económicos considerados (ingreso, gasto).

Cuadro 1. Matriz de Contabilidad Social

			Actividades		Bienes		Factores		Hogares	Total
			1	2	3	4	5	6	7	
			Sector 1	Sector 2	Bien 1	Bien 2	Capital	Trabajo	Consumidor	
Actividades	1	Sector 1								
	2	Sector 2								
Bienes	3	Bien 1								
	4	Bien 2								
Factores	5	Trabajo								
	6	Capital								
Hogares	7	Consumidor								
Total										

Fuente: (Mendoza, 2008)

Finalmente, es importante señalar que la obtención de datos resulta muy complicada (en el caso de este trabajo las fuentes de datos para biocombustibles son escasas, debido a ello pocos artículos se consideraron) a veces porque no todos los años se publica la información que el modelo requiere otras, la información se encuentra demasiado agregada, o simplemente no se cuenta con información disponible. Los datos utilizados en una SAM se obtienen de diferentes fuentes; anuarios estadísticos, cuentas nacionales, matrices de insumo producto, censos, encuestas, todo esto dependiendo de las variables a incluir en el modelo.

1.4.4 Calibración del modelo

Una vez identificadas las características y variables a incluir en la construcción del modelo y la SAM se procede a calibrar el modelo, que no es más que la obtención de los parámetros desconocidos de manera que estos sean consistentes con lo observado en la economía.

Para esto, es necesaria la solución algebraica de un sistema de ecuaciones que representan las soluciones de equilibrio del modelo tomando en cuenta las cantidades y precios del año base.

La solución mediante la calibración obtiene de manera endógena los parámetros, los precios y las cantidades para el año base, todos los valores que se obtienen deben de ser iguales a la unidad, con esto se asegura que la calibración fue exitosa; además de que al momento de medir alguna política pública esta condición nos asegura medir los cambios relativos.

Hay 2 supuestos fundamentales que deben de ser tomados en cuenta durante el proceso de calibración:

- El primero es que la economía se encuentra en equilibrio para el año base.

- Y el segundo, es aquel que considera a la “Ley de Walras” que establece que si de los n mercados $n-1$ se encuentran en equilibrio, entonces todos los mercados estarán en equilibrio, lo que implica establecer el valor de uno de los precios de manera exógena.

Una vez calculado el equilibrio del año base mediante la calibración del modelo; se procede a modificar el valor de la o las variables afectadas por la política económica considerada, el modelo se vuelve a calibrar arrojando un nuevo equilibrio, también denominado contrafactual de equilibrio que incluye los cambios en todas aquellas variables que fueron afectados por dicha política pública para comparar los resultados.

1.4.5 Métodos de solución para modelos no lineales

A pesar de la no linealidad de las variables en ciertos modelos, se han creado algoritmos que permiten solucionar los MEGA; y gracias a los avances computacionales actuales, estos modelos se pueden resolver con relativa facilidad.

Normalmente, para alcanzar una solución se comienza usando valores iniciales estimativos que sujetos a la regla de normalización se ajustan de manera iterativa¹¹. Después, se procede a determinar los precios de capital, el mercado laboral y funciones de producción hasta alcanzar los niveles de producción y demanda de los factores de la producción por último, demanda y oferta se equilibran y los precios se reajustan para comenzar una nueva iteración hasta que se satisfagan las ecuaciones de equilibrio.

Actualmente, existen varias posibilidades para resolver sistemas de ecuaciones no lineales, a continuación enlistamos los métodos más comunes:

- Johansen propone linealizar el modelo y resolverlo por simples inversiones matriciales.

¹¹ Un método iterativo trata de resolver un problema matemático mediante aproximaciones sucesivas a la solución, empezando con una estimación inicial.

- Scarf propone resolver el problema con el método de puntos fijos, sin embargo resulta ser un método demasiado complejo.
- Otro método para resolver este tipo de problemas es el de Gauss-Seidel que requiere representar al modelo de forma canónica (variables endógenas del lado izquierdo de las ecuaciones).
- Otra posibilidad es el método de Newton, que involucra el uso de una matriz de derivadas de las funciones de exceso de demanda, esto para aproximar la solución cuadráticamente para valores iniciales bien elegidos.
- Finalmente, un método distinto al de optimización no lineal es el de complementariedad mixta. Este método simplifica la solución de problemas de optimización no lineales y disminuye la probabilidad de algún tipo de error.

El software más usado para resolver problemas de optimización no lineal es el GAMS elaborado por el Banco Mundial con el apoyo de organizaciones norteamericanas.

1.4.6 Análisis de sensibilidad del modelo

Como se mencionó anteriormente una de las desventajas más importantes de los MEGA respecto a otras metodologías es que su base estadística no es muy fuerte, ya que solo consideran datos de un año base en particular, la debilidad de los parámetros obtenidos es la principal razón por la cual los críticos de dicha metodología tienden a desconfiar de los resultados que arrojados por los modelos.

El análisis de sensibilidad nos permite verificar la robustez del modelo comprobando la estabilidad y unicidad del modelo y que las variables exógenas no estén afectando significativamente los resultados.

En primer lugar, el análisis de sensibilidad se realiza sobre los parámetros y las variables exógenas; principalmente sobre las elasticidades con el fin medir el grado de inferencia que dichas variables pudieran tener en los resultados de diferentes simulaciones.

En segundo lugar, el usuario debe de saber cómo interpretar los resultados del modelo y ver que los cambios relativos hagan sentido con la situación económica que intenta representar.

Lo más común en el análisis de sensibilidad es correr el modelo con al menos dos algoritmos distintos y comprobar que los resultados no varíen de un algoritmo a otro; otra forma es hacer estudios complementarios generalmente de tipo sectorial para verificar que los resultados arrojados por el modelo tengan sentido económico.

2. CAPÍTULO 2

ESTUDIOS A LOS QUE SE HAN APLICADO

2.1 INTRODUCCIÓN A LOS MEGA AMBIENTALES

La preocupación por evaluar las externalidades ambientales derivadas de las actividades económicas como la emisión de GEIs¹², los efectos sobre precios, cantidades, estructura económica y social han sido tema central dentro de los objetivos establecidos por los gobiernos, las industrias y la sociedad.

A partir de los años 70, el preocuparse únicamente por las metas de crecimiento empezó a ser insuficiente. En 1972 con la publicación “Limits of Growth” realizada por el Club Roma el debate sobre equilibrar crecimiento económico e impactos ambientales comenzó a tomar fuerza.

Posteriormente con la introducción del concepto de “desarrollo sustentable” que por definición es el desarrollo que permite satisfacer las necesidades presentes sin condicionar las necesidades de generaciones futura, las políticas ambientales cobraron aún más relevancia, los encargados de realizar políticas económicas y sociales empezaron a incorporar variables ambientales en la toma de decisiones.

El presente apartado tiene como objetivo presentar de manera puntual los MEGA que han incorporado variables y políticas ambientales, no solo para medir el impacto económico; también para medir el impacto ambiental de dichas políticas.

La mayoría de los modelos ambientales se enfocan en analizar qué sucede con las variables económicas al introducir políticas ambientales (generalmente un gravamen) para disminuir las emisiones generadas por los insumos intermedios y los productos sectoriales finales. Sin embargo, estos no son los únicos modelos ambientales analizados, al ser los recursos escasos existen modelos que miden los efectos de políticas en la reasignación o restricción de recursos para preservarlos para generaciones futuras, otros MEGA consideran sectores ambientales y nuevos sectores que repercuten en el medio ambiente, ya sea por sus

¹² Los gases de efecto invernadero considerados en el Protocolo de Kyoto son los siguientes: CO₂, CH₄, N₂O, además de tres gases industriales fluorados (HFC, PFC y SF₆).

emisiones, por el uso de tierra, etc. Este capítulo en específico estudia modelos que gravan la emisión de gases contaminantes, que integran a los biocombustibles dentro de su estructura económica y que administran algún recurso.

2.2 MEGA AL CONTROL DE EMISIONES

En años recientes la economía mundial ha experimentado un crecimiento sostenido de sus niveles de producción respecto a décadas anteriores. La Revolución Industrial junto con la división del trabajo e implementación de nuevas técnicas de producción, son el primer antecedente que explica el nivel de industrialización reciente.

Este crecimiento se ha visto acompañado de grandes beneficios sin embargo; también ha generado efectos negativos. Para nadie es novedad que las emisiones contaminantes están directamente relacionadas con los procesos productivos, si bien el sector doméstico también aporta una cantidad importante de emisiones, las industrias son las principales emisoras¹³.

En este apartado se mide el impacto que distintas políticas económicas enfocadas a reducir la cantidad de emisiones tienen en las variables macroeconómicas. Las políticas abarcan políticas como los permisos de emisión, impuestos pigouvianos, control en la producción, entre otras.

Los modelos considerados en este apartado pueden ser mundiales y locales, muchos de los cuales buscan no solo obtener un beneficio ambiental sino algún otro beneficio económico, lo que se conoce como doble dividendo¹⁴.

La Tabla 1 resume los once artículos que se consideraron y que están enfocados en reducir la cantidad de emisiones mediante distintas políticas económicas siendo la más común aquella que grava la emisión de GEIs.

¹³ Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) durante 2010 el nivel de emisiones de CO₂ fue de 30.6 gigatoneladas, un record hasta la fecha.

¹⁴ Un doble dividendo débil es aquel que utiliza la recaudación obtenida por impuestos ambientales para reducir otros impuestos distorsionantes disminuyendo los costes de una regulación ambiental. Un doble dividendo fuerte es aquel que mejora las condiciones medio ambientales y la eficiencia económica de manera simultánea (Labandeira, Labeaga, & Rodríguez, 2004).

Tabla 1. MEGA a las Emisiones

MEGAs Emisiones						
Autores	Año Publicado	Año de la Matriz	Región	Política Económica	Tipo de Modelo	Conclusiones
Labandeira, Labeaga y Rodríguez	2004	1995	España	Impuesto a la emisión de CO2	Estático	Cuándo el impuesto se recicla habría un doble dividendo fuerte. El trabajo, los salarios y el PIB a precios de adquisición se incrementarían, mientras que las emisiones y la demanda de bienes energéticos disminuirían. Cuando el impuesto no se recicla, no habría doble dividendo.
Pérez	2003	2000	México		Estático	Las emisiones, la demanda por bienes energéticos, el PIB y el bienestar disminuirían.
Drouet, Scellia y Vielle	2006	2001	Suiza		Dinámico	La pérdida de bienestar sería muy alta debido a la estructura económica Suiza. Los sectores energéticos y el sector doméstico se verían fuertemente afectados.
Wing	2004	1999	Estados Unidos		Dinámico	La producción, las emisiones, el PIB, el uso de energía y el bienestar disminuirían. El incremento en el precio de los energéticos se elevará drásticamente.
Kumbaroglu	2003	1991	Turquía	Impuesto a la emisión de GEIs	Dinámico	Habría un doble dividendo en el mediano plazo únicamente en los escenarios que gravan las emisiones de Nox por la disminución en las importaciones. En el escenario que grava las emisiones de SO2, la inversión se incrementaría en el largo plazo, mientras que el PIB disminuiría. El escenario con mayor costo económico es aquel que grava las emisiones de azufre por no incentivar la inversión en nuevas tecnologías.
Lanzi	2006	2000	Mundial	Multipolíticas	Dinámico	Las políticas mas eficiente para reducir las emisiones y minimizar el costo económico son aquellas que gravan la emisión de GEIs y no solo de CO2.
Pezzey y Lambie	2001	2001	Australia y Mundial	Multipolíticas	Dinámico y Estático	Únicamente se comparan modelos con características particulares y se hacen recomendaciones sobre su eficiencia de acuerdo a las políticas que se quieran implementar.
Eguino	2009	2002	España	Mercado de permisos de emisión	Dinámico	El PIB, la producción y las emisiones disminuirían. Se daría un efecto desplazamiento de sectores intensivos en bienes energéticos hacia sectores no intensivos.
Polo, Cardenete y Fuentes Saguar	2009	2000	Andalucía	Impuesto a los Insumos	Estático	El PIB, las emisiones, la renta real y la producción disminuirían. El sector público acusaría superávit, que al reciclar el impuesto desaparecería, por lo que no habría doble dividendo.
Bovenberg y Gouldberg	1996	1990	Estados Unidos		Dinámico	Habría una disminución en el nivel de emisiones y en la función de bienestar. La disminución en el bienestar se ve atenuada cuando el ingreso obtenido del impuesto se recicla disminuyendo los impuestos.
Al-Amin, Hamid y Siwar	2009	2000	Malasia	Impuesto a los Productos	Estático	El PIB y las exportaciones sufrirían un ligero decremento, las emisiones disminuirían de manera importante y el gobierno acusaría superávit.

2.2.1 Impuesto al consumo de combustibles fósiles, España, 1995

Labandeira, Labeaga y Rodríguez (2004) evalúan el impacto de un impuesto medio ambiental que grava el consumo de combustibles fósiles en la economía española considerando una reducción simultánea en las cotizaciones sociales cuando el impuesto se recicla, utilizando un MEGA estático, tomando como referencia una matriz de contabilidad social correspondiente al año 1995.

El modelo consta de diecisiete sectores productivos y cinco sectores institucionales (un hogar representativo, el sector público, el sector externo, las sociedades y las instituciones sin fines de lucro al servicio de los hogares). Una aportación importante del modelo es la diferenciación entre bienes energéticos para el hogar, para el transporte privado y para otros bienes. Las emisiones de CO₂ que se contabilizan en el modelo son únicamente las de distintos sectores y las de los hogares, al ser las únicas instituciones consumidoras de energía en la economía española.

Se simulan dos políticas económicas; la primera evalúa los efectos de una reforma fiscal verde cuando se introduce un impuesto a las emisiones de CO₂ (12.28 euros por tonelada de CO₂), cuyos ingresos se utilizan para financiar una reducción en las cotizaciones sociales a cargo de los empleadores. La segunda considera la misma reforma con la diferencia de que los ingresos generados por el impuesto son íntegramente devueltos a los ciudadanos mediante transferencias.

Un impuesto a las emisiones de CO₂ con reducciones simultáneas de las cotizaciones sociales tendría un doble dividendo fuerte (ambiental y fiscal) y efectos distributivos poco significativos y específicos (al dividir los hogares en deciles se encontró que los hogares pertenecientes a los dos últimos deciles son los más beneficiados, mientras que los hogares pertenecientes al cuarto y quinto decil son los menos beneficiados).

Una reforma fiscal con el mismo impuesto pero sin reducir las cotizaciones sociales es inferior respecto a la anterior, los efectos sobre el bienestar global y la distribución en España tendría menor impacto.

Disminuyendo simultáneamente las cotizaciones sociales, una reducción de 11.7% en el tipo marginal de las cotizaciones ocasionaría que la demanda de trabajo se incrementara ligeramente en 0.1% y las rentas reales de trabajo en 0.2%. Las rentas reales de capital tendrían una disminución de 0.7% lo que impactaría el PIB a precios básicos con una disminución de 0.7%, el PIB a precios de adquisición experimentaría un incremento de 0.2%. La reforma fiscal verde afectaría de manera negativa la producción de bienes energéticos primarios y en menor intensidad al sector eléctrico; sin embargo, los demás sectores experimentarían incrementos significativos en la producción. La reforma resulta ser muy eficiente en cuestiones ambientales ya que disminuiría las emisiones de CO₂ en 7.7%. Los sectores con reducciones más importantes serían el eléctrico, los hogares, los servicios de transporte y el químico. En términos monetarios el bienestar social tendría una variación positiva de 251.3 millones de euros mientras que en términos del dividendo ocasionado por la reforma se presentaría un primer dividendo ambiental de 221.2 millones de euros y un segundo dividendo fiscal menor de 35 millones de euros.

Por último, los resultados de la reforma con transferencias, demuestran que en términos generales esta política económica tendría efectos negativos respecto a la primera. En términos del PIB a precios básicos habría una reducción de un 0.8%, mientras que el PIB a precios de adquisición tendría un ligero crecimiento apenas de 0.05%, lo que impactaría la demanda de trabajo con una disminución de 0.2% y una caída de las rentas reales de trabajo y capital de 1.8% y 1%. El impacto en los sectores energéticos serían más negativos respecto a la reforma anterior y los sectores beneficiados ahora formarían parte de los sectores más perjudicados, como consecuencia las reducciones en las emisiones de CO₂ aumentarían en 1%. Finalmente, el bienestar social experimentaría una pérdida de 254.3 millones de euros por la reducción en el bienestar no ambiental de 0.1% equivalente a 50.1 millones de euros.

2.2.2 Impuesto al consumo de combustibles Fósiles, México, 2000

Pérez (2003) evalúa los costos en el bienestar y la eficiencia económica al introducir un impuesto al consumo de combustibles fósiles (carbón y derivados, extracción de petróleo y gas, refinación de petróleo, gas, etc.) con el fin de disminuir la cantidad de emisiones, mediante un MEGA estático para México, utilizando una matriz de contabilidad social correspondiente al año 2000.

El modelo cuenta con catorce sectores (sector primario, carbón y derivados, extracción de petróleo y gas, mineral de hierro, sector minero, sector industria alimenticia, sector industria del vestido, sector industria maderera, refinación de petróleo, petroquímica básica, sector química y cemento, sector metal-construcción, electricidad y agua, sector servicios) que producen bienes internamente; un bien es importado del sector externo. Los precios de los bienes se determinan internamente, y el precio del bien externo por el resto del mundo, únicamente los precios relativos son relevantes para el sistema. Se consideran dos factores de producción únicamente; capital y trabajo. El ingreso se obtiene mediante los factores de la producción y las transferencias del gobierno. El gobierno financia su gasto con impuestos, al introducir el impuesto ambiental se busca mantener el déficit en equilibrio mediante transferencias a los consumidores; los bienes importados y los producidos se consideran sustitutos imperfectos por lo que el sector externo siempre está en equilibrio.

Se implementa un impuesto a las emisiones de CO₂ sobre cada combustible fósil proporcional a la cantidad de carbono emitida al ser consumido (impuesto óptimo de Pigou), con un rango que varía para los distintos bienes entre 10% y 50%.

La política tendría dos efectos directos principales, el primero es la disminución en la demanda de energía, y el segundo un costo social con distorsiones en la economía.

Las emisiones de CO₂ disminuyen alrededor de 5% cuando los sectores energéticos se gravan simultáneamente. Si el gravamen es de 50% la disminución en las emisiones de CO₂ alcanzaría hasta 17% disminuyendo drásticamente las emisiones. Finalmente, el costo social ocasionaría la pérdida de bienestar. Cuando se gravan los sectores energéticos simultáneamente en 50% la pérdida de bienestar es tres veces mayor respecto al escenario

en el que se gravan en 10%. El PIB tendría una contracción cercana al 2.5% por el incremento en precios que disminuiría la demanda de energía.

2.2.3 Impuesto a las emisiones de carbono, Suiza, 2001

Suiza se caracteriza por la baja participación de los sectores intensivos en energía dentro de su economía, siendo la industria química la que más CO₂ emite a la atmósfera representando un 3% del total. El 40% del total de las emisiones los emite el sector doméstico mientras que un 20% y 15% son emitidas por el sector de transportes y el sector servicios respectivamente.

Drouet, Sceia y Vielle (2006) cuantifican el impacto de un impuesto al carbono que sería necesario para lograr una reducción en las emisiones de carbono de acuerdo a los objetivos de mitigación establecidos por Suiza para los años 2020 (reducción del 20%) y 2050 (reducción del 50%), mediante un MEGAD, tomando como referencia una matriz de contabilidad social global del año 2001.

Utilizan como base el modelo GEMINI-E3¹⁵, que considera una economía global conformada por veintiocho regiones y dieciocho sectores representativos, el modelo utiliza una matriz de contabilidad social (GTAP6¹⁶), tomando en cuenta los mercados energéticos con commodities incluidos, así como los flujos comerciales que se dan entre las distintas regiones.

Para simplificar el análisis, los autores resumen el modelo como una economía de seis regiones (Suiza incluida) y dieciocho sectores, la parte dinámica del modelo depende de las tasas de interés real que surgen del equilibrio entre ahorro-inversión y de las proyecciones de los precios del petróleo (2010-36 dólares, 2030-57 dólares y 2050-69 dólares) que se espera sean bajos por la caída en inversión debido a las restricciones en los contratos y los accesos en las regiones productoras. El gas natural se asume indexado en 0.5% a los precios

¹⁵ Es un modelo diseñado para medir el impacto de las políticas ambientales, es un modelo dinámico multi-país, multisectorial que incorpora de manera detallada los impuestos indirectos.

¹⁶ Global Trade Analysis Project es una base de datos global que describe los patrones de comercio, producción, consumo, servicios y el uso de los commodities como bienes intermedios entre los países.

del petróleo y del carbón, que consideran precios estables en el largo plazo. El PIB está proyectado para crecer a una media de 2% en países desarrollados y 3.5% en países en vías de desarrollo, lo que traería consigo un crecimiento global de 1.2% anual para el periodo comprendido entre los años 2001 y 2020 y un 0.6% para los años posteriores del 2020 al 2050. Las emisiones de carbono global inician en 6.7 GtC¹⁷ en el año 2000, y se espera que alcancen los 17 GtC en el 2050. Finalmente, la demanda final de energía se sitúa en los 23.3 Mtep¹⁸ para el año 2050.

A pesar de no ser la política más eficiente para lograr las reducciones establecidas por no considerar a los GEIs en su totalidad, se asume un impuesto que grava las emisiones de CO₂. El resto de las regiones a excepción de OEU (otros países de Europa) y PVD (otros países) que no implementan políticas ambientales alcanzan sus objetivos gravando la emisión de todos los GEIs.

Debido a la estructura de la economía Suiza que cuenta con sectores no intensivos en energía, la pérdida de bienestar por el impuesto es muy alta en comparación con el resto del mundo ya que su costo marginal por disminuir las emisiones es muy alto respecto a otros países, otra razón que impacta el resultado es que la política implementada en el resto de las regiones es más eficiente al gravar a los GEIs en conjunto.

Para el año 2020, el precio por tonelada de las emisiones de carbono sería de 468 dólares, mientras que las reducciones en el consumo de bienes energéticos disminuiría en 62% para gas natural, 25% para petróleo refinado y cerca de 93% para el consumo de carbón. Los sectores más afectados serían el sector doméstico, el sector energético y el sector transportes, esto se traduce en una pérdida de alrededor de 1% para el sector doméstico equivalente a 3,211 millones de francos suizos del 2001.

Finalmente, en el año 2050 el precio por tonelada de las emisiones de carbono alcanzaría los 1,440 dólares, principalmente porque el modelo no considera innovación tecnológica y por tanto la única forma de alcanzar los objetivos es mediante el impuesto ambiental, las reducciones en el consumo de bienes energéticos alcanzarían el 76% para gas natural, 43%

¹⁷ Giga tones de Carbón

¹⁸ Millones de toneladas equivalentes de petróleo.

para petróleo refinado y cerca del 97% para el consumo de carbón, mientras que la pérdida en el sector doméstico sería del doble comparado a la simulación del 2020 alcanzando un 2%.

2.2.4 Impuesto a la emisión de CO₂, Estados Unidos, 1999

Wing (2004) evalúa el impacto que un impuesto a las emisiones de CO₂ tiene en la economía de los Estados Unidos, utilizando un MEGAD que toma como referencia datos de una matriz de contabilidad social de 1999.

El modelo considera los siguientes sectores agregados: minería del carbón, petróleo crudo y gas, distribución de gas natural, energía eléctrica, petróleo refinado, manufactura intensiva en energía, transporte, otras actividades manufactureras, servicios y actividades extractivas primarias. Los sectores energéticos se desagregaron detalladamente, mientras que otras actividades se agregaron a otros sectores por no emitir cantidades importantes de CO₂ a pesar de que su contribución al crecimiento económico es mayor.

Capital y trabajo son los únicos factores de la producción; por el lado de la demanda el modelo considera un agente representativo que demanda commodities para satisfacer sus necesidades de consumo, inversión y exportaciones.

Se implementa un impuesto a la emisión de carbono que va desde los \$50 dólares hasta los \$200 dólares por tonelada, tanto por el lado de la oferta como por el lado de la demanda en la producción.

La limitación en la emisión de CO₂ incrementaría los precios de los bienes energéticos, disminuiría el uso de energía, la producción de outputs, el PIB y el bienestar en general.

Un impuesto de \$50 dólares por tonelada de emisión incrementaría los precios del petróleo y el gas natural en 20% y el precio del carbón al doble. Por otro lado, un impuesto de \$200 dólares por tonelada de emisión incrementaría los precios del petróleo y el gas natural en tres cuartos, mientras que el precio del carbón se incrementaría cinco veces y media. Este

incremento en precios también impactaría la cantidad de combustibles fósiles utilizados por los productores y los hogares.

En términos generales y considerando las distintas simulaciones, todos los sectores verían una disminución en el uso de carbón de entre 60% y 97%, la demanda de petróleo y gas disminuiría entre 17% y 46% y la demanda de electricidad entre 6% y 15%. Como consecuencia, la producción en el sector eléctrico caería entre 7% y 14%, entre 22% y 52% en la extracción de petróleo y gas natural, entre 59% y 83% en la producción de carbón, entre 19% y 50% en la extracción de petróleo crudo, entre 1% y 4% en las industrias intensivas en energía y en el sector transporte y solo entre 0.1% y 0.4% en el resto de la economía.

Finalmente, las emisiones se reducirían a la mitad con un impuesto de \$100 dólares por tonelada de emisión y en casi dos tercios cuando el impuesto asciende a \$200 dólares por tonelada, el sector minería del carbón y otros sectores intensivos en el uso de energía contribuirían con casi la mitad de la reducción de las emisiones. Es posible lograr la reducción de emisiones en algunos sectores a bajo costo; sin embargo, algunos sectores tendrían que gravarse por arriba de los \$100 dólares por tonelada de emisión para lograr los objetivos establecidos.

2.2.5 Impuesto a la emisión de gases contaminantes, Turquía, 1991

Con un crecimiento en las importaciones de bienes energéticos del 5.1% anual que representa un 20% del total de las importaciones, Turquía tiene un importante déficit en su cuenta corriente que alcanza hasta 78% del PIB, lo que los ha llevado a implementar políticas para generar mercados energéticos competitivos.

La importancia de los cambios estructurales y reformas en los mercados energéticos de Turquía son uno de los principales retos que el país ha afrontado durante los años recientes. Muchos inversionistas se han visto atraídos por la posibilidad de obtener grandes ganancias por el creciente desarrollo de los mercados energéticos que han sido favorecidos por los cambios en el marco legal y regulatorio. Sin embargo, la mayoría de los inversionistas no

consideran el impacto medioambiental que esto ocasiona, teniendo grandes presiones para disminuir el nivel de emisiones y lograr uno de los objetivos planteados por la Unión Europea para la adhesión de Turquía.

Kumbaroglu (2003) cuantifica los efectos que la implementación de distintos impuestos a la emisión de ciertas emisiones contaminantes tiene en las principales variables económicas de Turquía, utilizando un MEGAD, tomando como referencia una matriz de contabilidad social que considera datos de 1991.

Se toma como referencia el modelo ENVEEM¹⁹ que considera las interacciones entre el medio ambiente, sector energético y economía. El modelo consta de siete sectores productivos, tres industrias energéticas (petróleo y gas, eléctrico y sólidos) y cuatro no energéticas (transporte, manufactura, industria básica, servicios y otros). La parte dinámica del modelo se explica por las variables trabajo y progreso tecnológico que se consideraran exógenas al modelo.

Se plantean cinco impuestos a tres distintos gases que son los siguientes:

- S1.- 100 dólares por tonelada a las emisiones de SO₂.
- S3.-300 dólares por tonelada a las emisiones de SO₂.
- N1.- 100 dólares por tonelada a las emisiones de NO_x.
- N3.- 300 dólares por tonelada a las emisiones de NO_x.
- SUL5.- 500 dólares por tonelada al azufre producido por los combustibles.

Al hacer las simulaciones se observa una caída en la producción así como una mejora en cuestiones medioambientales. Las simulaciones que resultan en el llamado doble dividendo son aquellas que gravan al NO_x, esto porque las emisiones causadas por el NO_x son ocasionadas en su mayoría por el consumo de combustibles importados, principalmente petróleo. Al elevar el precio de las importaciones se da un efecto “shift away²⁰” disminuyendo el producto del sector transporte e incrementando el de otros sectores, lo que ocasiona el incremento en la producción y las exportaciones y finalmente del PIB. La

¹⁹ Environmental-Energy-Economy Model, es un modelo que hace énfasis en las interacciones energético-ambientales.

²⁰ Efecto que se da en el cambio de una industria a otra.

simulación que tiene el costo económico más elevado es la que grava al azufre, esta simulación tiene el impuesto más alto, además de no estimular la introducción de nuevas tecnologías por no disminuir el impuesto pagado por los productores.

En los escenarios S1 y S3, en el corto y en el mediano plazo el PIB, la inversión las exportaciones y las importaciones disminuirán respecto al escenario BAU²¹, por la contracción económica, mientras que en el largo plazo la única variable económica que aumentaría es la inversión por el aumento del gasto en tecnologías verdes.

En los escenarios N1 y N3, en el corto plazo se observa una caída en el PIB, la inversión y las importaciones por la contracción de la actividad económica, las exportaciones se verían beneficiadas ya que tendrían un incremento respecto al modelo BAU. En el mediano y largo plazo todas las variables a excepción de las importaciones aumentarían, esto se explica por la caída en las importaciones principalmente, del petróleo (20% de las importaciones totales) que tendría un efecto directo en el incremento del PIB, mientras que el incremento en la inversión se explica por el incremento del gasto en tecnología limpia.

En el escenario SUL5, en el corto, mediano y largo plazo se observa una caída en todas las variables económicas. Esta simulación es la menos efectiva para la economía incurriendo en el costo socio-económico más elevado de todas las simulaciones.

Finalmente, en lo que se refiere a la tabla de agregados energéticos, la única variable que se incrementa es la relación petróleo y gas/sólidos; excepto en las simulaciones NO_x, esto debido a que la mayoría de las emisiones de SO₂ son provocadas por los sólidos, mientras que petróleo y gas, sólidos y electricidad disminuyen al aplicar las simulaciones.

2.2.6 Políticas para reducir la emisión de GEIs, Mundial, 2000

Lanzi (2006) evalúa el impacto ambiental y económico que distintas políticas multigás enfocadas a reducir la emisión de los gases de efecto invernadero (en específico el N₂O,

²¹ Business as Usual

CH₄, y CO₂) tienen en la economía mundial, utilizando un MEGAD que toma como referencia una matriz de contabilidad social global para el año 2001.

Se utiliza la base de datos GTAP que considera una economía de dieciocho sectores y ocho regiones, este se modifica para incluir las emisiones de N₂O y CH₄ que incrementan proporcionalmente a la producción en los distintos sectores. Otro aspecto importante es que el modelo considera a las emisiones como producto de los outputs producidos por los sectores.

Únicamente se consideran las emisiones de CH₄ (agricultura, residuos y energía) y N₂O (agricultura, producción industrial y actividades de mercado) por ser complicado obtener cifras estadísticas sobre las emisiones de GEIs distintos al CO₂, las emisiones domésticas son proporcionales al ingreso regional, por lo tanto entre más rico es un país más emisiones producirá su sector doméstico.

Se simulan tres políticas para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y cuantificar su impacto en la economía.

- Un mercado internacional para el intercambio de permisos de emisión de CO₂, en el que cada país tiene un tope sobre la cantidad de emisiones.
- Un impuesto a las emisiones de CO₂ para comparar los costos relativos y la eficiencia respecto al primer política.
- Una combinación de regulaciones sobre los 3 gases considerados por el modelo.

Los resultados estiman que utilizando políticas multigas las emisiones podrían disminuir en aproximadamente 20%, lo que acercaría a los países a lograr sus objetivos ambientales disminuyendo costos económicos. El costo al bienestar generalmente es mayor cuando no se incluyan todos los GEIs dentro de las políticas ambientales y únicamente se consideren las emisiones de CO₂; las políticas que consideran a los GEIs en conjunto disminuyen las emisiones y el costo económico respecto a ambos escenarios: BAU y CO₂.

La política que considera un sistema de permisos, muestra que las regiones que más disminuirían sus emisiones son Estados Unidos, Europa del Este, y la Ex República Soviética, también son los que más permisos de emisión comprarían, debido al nivel de

emisiones de Estados Unidos y a que Europa del Este y la ex-URSS siguen con su proceso de industrialización. El país que incurriría en un mayor costo económico es Estados Unidos, viéndose favorecidos por la política Japón, la Unión Europea, Canadá, Nueva Zelanda, entre otros; sin embargo, el costo de que Estados Unidos no forme parte de este mercado sería muy elevado llegando a representar casi el doble, al pasar los precios por tonelada de emisión de 15.8 dólares a 27.8 dólares. Otro aspecto a resaltar es la llamada fuga de carbono²², ya que a pesar de que regiones que consideran a China e India reducirían sus emisiones por los permisos, regiones que no entraron al “Sistema de Intercambio de Emisiones” incrementarían sus propias, aumentando incluso su producción en el sector petrolero. En lo que actividad sectorial se refiere, los sectores afectados serían el sector productor de carbón y los sectores energéticos no eléctricos que inducirían a un cambio hacia fuentes de energía alternas lo que incrementaría la producción del sector eléctrico. Cuando se consideran las emisiones de CH₄ y N₂O, las reducciones principales serían en el sector energético, el sector agrícola y en el sector ganadero.

Al introducir un impuesto al carbono que varía de acuerdo a las regiones y que considera una reducción de las emisiones de 22% igual a la que produce el “Sistema de Intercambio de Emisiones” los resultados muestran que si bien el costo general de un impuesto al carbono sería mayor en comparación al “Sistema de Intercambio de Emisiones” el costo para Estados Unidos como región autónoma es mucho menor y para la región Roa1 (Nueva Zelanda, Australia, Canadá, etc.) es ligeramente menor.

Finalmente, la última política considera una reducción exógena de las emisiones de CH₄ y N₂O para ciertos sectores. En el caso de las emisiones de CH₄ se considera una reducción del 0.1% en las emisiones del sector ganadero, mientras que para el N₂O se considera una reducción del 0.05% en el sector de frutas y vegetales (agrícola). Con esta reducción habría una disminución de las emisiones no solo de los sectores objetivos, sino también en otros sectores energéticos por la relación intersectorial que tiene una reducción de las emisiones de CO₂.

²² Cuando los contaminantes emigran, un claro ejemplo es cuando países desarrollados trasladan sus industrias a países en vías de desarrollo para cumplir con sus obligaciones de reducción de emisiones.

2.2.7 Control de emisiones de GEIs, un análisis comparativo, Australia, 2001

Pezzey y Lambie (2001) comparan cuatro modelos, cada uno elaborado de manera específica para evaluar las similitudes, ventajas y desventajas que cada uno de ellos tiene en el análisis tanto regional como global con el fin de recomendar políticas económicas diferentes, utilizando cuatro MEGA considerando distintas matrices de contabilidad social.

Algunas de las características de cada modelo empleado se enlistan a continuación:

- **MMRF-Green (Monash Multi-Regional Forecasting Green):** modelo dinámico de la economía australiana, el que mejor cuantifica impactos regionales, desagrega de manera detallada los hogares promedio y el sector energético, incorpora emisiones de distintos GEIs, considera que una parte de la energía eléctrica es generada con fuentes de energía renovables, captura efectos de corto plazo como el desempleo originado por los salarios no flexibles. Divide la economía australiana en ocho regiones y cincuenta y siete subregiones con cuarenta sectores industriales que producen cuarenta y cinco bienes.
- **MM600+ (Murphy Model):** modelo estático de la economía australiana, desagrega de manera detallada las actividades sectoriales, los productos, y la representación de impuestos, únicamente incorpora emisiones de CO². Divide la economía australiana en ocho regiones y ciento ocho sectores industriales que producen seiscientos setenta y dos bienes.
- **GTEM (Global Trade and Environment Model):** modelo global dinámico con Australia representada como una región sin desagregar el sector doméstico, incorpora emisiones de distintos GEIs, considera que una parte de la energía eléctrica se genera con fuentes de energía renovables y es el único que representa el crecimiento poblacional de manera endógena. Divide la economía mundial en cuarenta y cinco regiones y cincuenta sectores industriales.
- **G-Cubed (Global General Equilibrium Growth Model):** modelo global dinámico con Australia representada como una región sin desagregar el sector doméstico, es el modelo que representa al sector energético de manera menos detallada, únicamente incorpora emisiones de CO², captura efectos de corto plazo como los

ajustes de capital que se dan por los flujos comerciales y el desempleo originado por los salarios no flexibles. Divide la economía mundial en ocho regiones y doce sectores industriales.

Todos los modelos presentados en este apartado son determinísticos, es decir no influye la incertidumbre.

Se recomiendan distintas políticas que se podrían implementar en los modelos, que van desde las políticas no precio (campañas, educación de la población, etc.), que no afectan precios relativos hasta otras más agresivas con los precios como la reducción de la producción en sectores intensivos en emisiones, impuesto a las emisiones, la creación de un mercado de permisos de emisión, entre otras.

Por las características de los modelos, en los modelos nacionales los resultados se centrarían en cómo se afecta el empleo y la producción, mientras que en los modelos globales se centrarían en los flujos comerciales con otras regiones y en la competitividad de Australia contra el resto del mundo.

Al ser un estudio comparativo (ventajas, desventajas, metodología, etc.) entre los modelos, únicamente se recomiendan políticas económicas que se ajusten mejor a cada modelo dependiendo de sus características y del objetivo que cada política busque.

2.2.8 Mercado de permisos de emisión, España, 2002

El “Protocolo de Kyoto” establece para los países desarrollados reducir las emisiones un 5.2% por debajo de los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012; sin embargo, para el caso particular de España el objetivo era no exceder en más de 15% las emisiones respecto a 1990. Para el año 2007 ya habían aumentado en 52%.

Eguino (2009) evalúa el impacto económico de la mitigación de gases de efecto invernadero a niveles previamente establecidos en el “Protocolo de Kyoto” en España, utilizando un MEGAD, elaborado a partir de una matriz de contabilidad social que utiliza datos del 2002.

El modelo considera veintidós sectores productivos que cuando se desagregan comprenden sectores energéticos (carbón, petróleo, gas y electricidad), sectores relevantes por sus emisiones (agricultura, transporte e industria) y sectores relevantes por su peso económico (servicios privados y públicos). El total de las emisiones GEIs; CO₂, CH₄, NO y gases fluorados se agrupan en dos bloques de emisión: las de combustión asociadas directamente a la producción o inputs (proceden directamente de la quema de combustibles fósiles) y emisiones de proceso asociadas a la producción final u outputs (originadas en el proceso productivo). Las emisiones son consideradas un factor productivo más, vienen directamente asociadas a los permisos de emisión, los consumidores al generar emisiones también deben adquirirlos. El gobierno por su parte, obtiene ingresos extra por los permisos de emisión, que serían canalizados mediante transferencias a los consumidores.

La parte dinámica del modelo dependerá del crecimiento económico y el cambio tecnológico; el crecimiento económico (valor asignado entre 2.5% y 5%) depende del aumento del factor trabajo (crecimiento demográfico y las mejoras en la productividad) y el aumento del factor capital (inversión y la tasa de depreciación) y para evitar que el stock de capital se consuma en su totalidad en el último periodo se aplica la condición de transversalidad (aproxima un modelo de horizonte infinito a uno de horizonte finito). El progreso tecnológico es considerado exógeno y dependerá de las mejoras futuras en eficiencia de emisiones en la generación de emisiones por unidad de output. Por otro lado, las emisiones futuras dependerán del crecimiento económico y del cambio tecnológico. Para el modelo se supone que las emisiones de proceso convergerán con cierto retraso a un incremento de 1.5% anual y las de combustión a un 1% anual.

La política ambiental simula un mercado de permisos de emisión transferibles: el gobierno subasta en cada periodo de tiempo una cantidad determinada de permisos de emisión que se adquieren y se intercambian libremente en el mercado. Mediante la política, los objetivos se logran a un costo mínimo.

Los resultados muestran una reducción en el PIB, producción y consumo privado para el año 2050 respecto al escenario BAU; en términos numéricos una reducción de 2% de las emisiones supone una contracción del PIB del 0.2%. Los efectos negativos se disminuirían si se da un cambio en el mix energético hacia combustibles menos intensivos en emisiones

o mediante el desarrollo e innovación tecnológica. El precio de los permisos de emisiones alcanzaría un precio de 24 euros por tonelada en el 2030 y de 92 euros por tonelada en el 2050 por el paso del tiempo y el crecimiento económico que haría el factor más escaso.

Se establecen dos escenarios; el escenario BAU y el Escenario Kyoto 2050 que supone una reducción de las emisiones para el periodo comprendido entre 2008-2012 que no superen en un 15% las emisiones de 1990 y estabilizarlas en esos niveles hasta el 2050.

En el escenario BAU, las emisiones crecerían hasta alcanzar los 719 millones de toneladas de CO₂ en el 2050, mientras que en el escenario Post Kyoto se estabilizarían en los 357 millones de toneladas de CO₂, el PIB disminuiría en 1.2% en el Escenario Post Kyoto por el decrecimiento en inversión. El consumo privado aumentaría inicialmente y posteriormente disminuiría por al ajuste en las expectativas de los consumidores, aumentando así las emisiones en principio.

Respecto a la actividad sectorial se daría un efecto de desplazamiento hacia sectores menos intensivos en GEIs, principalmente hacia el sector terciario. La agricultura disminuiría por ser intensiva en emisiones de proceso, la industria por ser intensiva en emisiones de combustión (sector extracción, de carbón y extracción de crudo y gas natural), mientras que el sector servicios tendría un ligero incremento. Finalmente, una reducción del 51% respecto al escenario BAU se traduciría en una reducción del consumo energético (reducciones de carbón 63%, petróleo 36%, gas natural 24% electricidad 14% con respecto al escenario BAU) del índole de 23%.

2.2.9 Impuesto a los insumos intermedios, Estados Unidos, 1990

Bovenberg y Goulder (1996) evalúan el impacto que un impuesto a los insumos intermedios de la producción tendría en Estados Unidos, utilizando un MEGAD que toma como referencia una matriz de contabilidad social con base en el año 1990.

El modelo considera trece industrias (seis de las cuales corresponden a industrias productoras de energía) que producen diecisiete bienes de consumo, la estructura del

modelo permite la sustitución entre las distintas fuentes de energía y otros insumos. Las importaciones se asumen como sustitutos imperfectos de los bienes domésticos, a excepción del petróleo y gas. La parte dinámica del modelo está representada por el crecimiento de capital (endógena) y el trabajo (exógena).

Se asume un impuesto pigouviano de 11 dólares por tonelada de emisión para corregir las externalidades ambientales generadas en el proceso de producción. Con este impuesto, la reducción en el nivel de emisiones sería de 8% y el costo marginal en el bienestar sería de 75 dólares por tonelada de emisión cuando los ingresos se devuelven en un solo pago y de 25 dólares por tonelada cuando el ingreso obtenido de dicho impuesto es devuelto vía una disminución en los impuestos.

2.2.10 Impuesto a los bienes energéticos, Andalucía, 2000

Polo, Cardenete y Fuentes Saguar (2009) cuantifican el impacto en el nivel de producción ocasionado por implementar un impuesto a las emisiones de CO₂, disminuyendo los efectos negativos ocasionados por esta política mediante la redistribución de los ingresos generados reduciendo las cotizaciones sociales, mediante un MEGA estático para la región de Andalucía, España, para el año 2000.

El modelo cuenta con cuatro tipos de agentes: quince productores, un consumidor representativo, una administración pública y un sector externo, los dos factores que se consideran son el capital y el trabajo, también se consideran cuatro impuestos, dos directos y dos indirectos y la introducción de un impuesto medioambiental que grava la compra de bienes energéticos responsables de las emisiones de CO₂. De los quince sectores mencionados cinco corresponden a sectores energéticos (carbón, petróleo crudo y gas natural, refino de petróleo, electricidad y gas manufacturado), mientras que el resto incluye bienes y servicios no energéticos.

El autor implementa un impuesto medioambiental del 10% (7.52% carbón, 1.30% refino y 1.18% gas) para aquellos bienes energéticos que generan emisiones de CO₂; en una

segunda simulación se utiliza el ingreso adquirido para disminuir las contribuciones sociales y disminuir el efecto negativo en la producción.

En la primera simulación, las emisiones contaminantes disminuirían, la renta real disponible tendría una disminución considerable, el sector público tendría superávit, mientras que el sector externo acusaría déficit por el incremento en precios.

En la segunda simulación, el impuesto medio ambiental se recicla, habría una disminución de las emisiones contaminantes; si bien la renta real disponible no disminuye de manera considerable, la situación del PIB no mejora respecto a la primera simulación, ya que el incremento en la renta se vería compensado por la contracción de los superávits del sector público y el sector externo.

Al considerar el modelo el vaciado de los mercados y la no existencia de fricciones en el mercado de trabajo y no existir desempleo, se concluye que no habría un efecto de doble dividendo, obteniendo únicamente el dividendo ambiental por la disminución en las emisiones contaminantes. La renta real disponible (consumo y ahorro), el nivel de producción, y el sector externo (importaciones de petróleo) tendrían disminuciones considerables en ambos escenarios. El sector público tendría superávit en el primer escenario que desaparecería en el segundo al reciclar el impuesto medio ambiental ocasionando que la contracción de la renta real disponible sea considerablemente menor respecto al primero.

Los sectores más afectados serían los siguientes: carbón, gas, energía eléctrica, así como sectores que utilizan estos bienes energéticos como insumos intermedios, los efectos precio se verían atenuados en otros sectores que son intensivos en trabajo, al permanecer constante el precio de este factor. Finalmente, para los sectores no energéticos el impacto no sería considerable siendo si acaso los más afectados el químico, transportes y la construcción únicamente, cuando el impuesto se recicla y la recaudación del gobierno se mantiene inalterada.

2.2.11 Impuesto a las emisiones derivadas de los outputs de la producción, Malasia, 2000

Al ser Malasia un país en vías de desarrollo diversos investigadores se han preocupado por cuantificar el impacto económico de aplicar un impuesto medio ambiental. Malasia adoptó un modelo económico que prioriza el comercio internacional, teniendo como la base de su crecimiento las exportaciones. Esto se ha visto reflejado en un crecimiento sostenido de aproximadamente 7% durante las últimas décadas. Dentro del “9 Plan de Desarrollo de Malasia²³” se establecieron algunos objetivos medio ambientales que, sin embargo, no se lograron principalmente porque las políticas ambientales existentes no fueron efectivas y el impuesto ambiental que se implementó no fue el apropiado ya que no grava a todos los sectores contaminantes.

Al-Amin, Hamid y Siwar (2009) evalúan el impacto que la reducción en las emisiones de CO₂ tendría en la actividad económica, principalmente en indicadores como el PIB y las exportaciones, utilizando un MEGA estático en Malasia, tomando como referencia una matriz de contabilidad social con datos del año 2000.

Se consideran diez industrias y cuatro bloques de ecuaciones: el de los precios; la producción, las instituciones, las restricciones y las emisiones. Las emisiones gravadas por el modelo derivan del producto.

Se establecen tres escenarios. En el primero se implementa un impuesto medio ambiental al producto de los sectores económicos, en el segundo se duplica el impuesto y en el tercero se triplica.

Un impuesto medio ambiental repercutiría de forma importante en la disminución del PIB. Una disminución de las emisiones de carbono en 1.21% reduciría el PIB nominal en 0.8% y las exportaciones en 2.1%. En la segunda simulación las emisiones de carbono disminuirían en 2.3% reduciendo el PIB nominal en 1.9% y las exportaciones en 4%, finalmente en la tercera simulación disminuiría el nivel de las emisiones en 3.4%, lo que reduciría el PIB nominal en 3.2% y las exportaciones en 5.7%.

²³ Plan que incluye todos los objetivos (económicos, políticos, sociales ambientales, etc.) para lograr el desarrollo en Malasia.

Las simulaciones establecidas en los distintos escenarios arrojan los siguientes resultados:

VARIABLES ECONÓMICAS	Escenario A	Escenario B	Escenario C
Emisiones	-1.21%	-2.35%	-3.40%
PIB	-0.82%	-1.90%	-3.17%
Exportaciones	-2.08%	-3.97%	-5.71%
Ahorro de las Empresas	-1.30%	-2.92%	-4.80%
Ingresos del Gobierno	26.67%	53.07%	79.28%
Consumo Domestico	-2.32%	-4.84%	-7.48%
Ahorro Domestico	-1.01%	-2.36%	-3.94%

2.2.12 Conclusiones MEGA al control de emisiones

Analizando los resultados de las políticas ambientales aplicadas para controlar la emisión de gases nocivos para el medio ambiente parecería que existe una relación inversa entre el nivel de emisiones y el crecimiento económico, salvo en un par de políticas con características particulares.

Si bien es cierto que generalmente gravar los niveles de emisión representa un costo económico, la verdad es que los efectos económicos negativos se pueden atenuar y en algunos hasta revertir, únicamente hay que considerar ciertos aspectos a la hora de construir el modelo.

La inclusión de los GEIs en su totalidad es recomendable para disminuir el impacto económico, a pesar de que la inclusión de los gases resulta un tanto complicado debido a que generalmente los datos disponibles no son suficientes, se ha demostrado que una política ambiental que considere a los GEIs en su totalidad disminuye el costo económico respecto a una que solo considera emisiones de CO₂.

Otra forma de disminuir el impacto negativo dentro de la actividad económica es reciclando el impuesto ambiental disminuyendo la contribución de los trabajadores o empresarios. En el caso de España esta política económica disminuyó el nivel de emisiones y repercutió de manera positiva en el crecimiento económico, lo que es conocido como el doble dividendo.

La estructura económica también juega un papel clave dentro de las políticas ambientales, por ejemplo, tenemos los casos extremos de Suiza y Turquía; en el caso de Suiza el costo marginal de disminuir el nivel de emisiones resulta muy elevado al ser un país con niveles de emisión relativamente bajos. Por el contrario, Turquía es un país emergente con fuerte actividad industrial que gravando ciertos bienes importados que causan una cantidad importante de emisiones ocasionaría un efecto sustitución, lo que impactaría su crecimiento económico positivamente.

Otro aspecto a considerar, es que la mayoría de los modelos no reparan en la posibilidad de abatimiento ni de cambio tecnológico hacia tecnologías más limpias, el incluir estas variables dentro de los modelos seguramente disminuiría el impacto negativo dentro de la actividad económica.

Finalmente, sería importante cuantificar las acciones propuestas por la UNEP²⁴ en su iniciativa para una economía verde dentro de los modelos, ya que consideran variables como los acervos de capital natural, los servicios ambientales, la eficiencia en el uso de recursos, la mejora en los servicios de ecosistemas, entre otros. Esto implicaría el uso de un modelo dinámico ya que los efectos propuestos como la creación de empleos, la introducción de nuevas tecnologías, entre otros se verían reflejados en el largo plazo además del desarrollo de datos suficientes para ser incluidos dentro de la SAM.

²⁴ United Nations Environment Programme

2.3 MEGA AL IMPULSO DE BIOCOMBUSTIBLES

En los años recientes, la economía mundial ha experimentado un importante crecimiento en la producción de biocombustibles²⁵. Los problemas como el cambio climático, el elevado precio del petróleo y la volatilidad asociados con la producción y consumo de combustibles fósiles, han enfatizado la necesidad de reemplazarlos por fuentes de energía alternas. Los países desarrollados, en su mayoría, han establecido programas ambiciosos para fomentar la producción doméstica de biocombustibles, incentivando a los productores mediante subsidios, aranceles a las importaciones y otras políticas.

Algunos argumentos a favor de la producción masiva de biocombustibles son su baja intensidad en emisiones y la reducción de la dependencia del petróleo. Sin embargo, hay ciertos efectos negativos que se deben considerar al promover políticas económicas que incentiven su producción; como el deterioro en la calidad del suelo, el incremento en el precio de la renta de tierras, las crisis alimentarias, la escasez en su producción, entre otros.

Hasta principios de los 90, la producción de biocombustibles se limitaba a pocas regiones, como Brasil, y se caracterizaba por bajos niveles de producción y por tener efectos aislados dentro de la economía. Históricamente, no existía una relación directa entre sectores energéticos y agrícolas, pero la producción masiva de biocombustibles integro ambos sectores.

La producción de biocombustibles afecta la mayoría de las variables económicas, no únicamente al sector agrícola y los precios del petróleo, sino que impacta al consumo, la balanza comercial, el PIB y el bienestar. Al dejar de tener efectos aislados y afectar a la economía en su conjunto, los MEGA son instrumentos de medición útiles para cuantificar el impacto de las políticas económicas enfocadas a la producción de biocombustibles.

Por la dificultad en obtener información y ser sectores relativamente nuevos, muy pocos modelos se han desarrollado, en este apartado se analiza el impacto de los biocombustibles en la economía. Arndt, Benfica Rui, Tarp, Thurlow, y Uaiene (2008) cuantifican el impacto en el crecimiento y la pobreza que el incremento en la producción de biocombustibles

²⁵ De 2008 a 2012 el incremento de biodiesel a nivel mundial fue de 65%. Para más información consulte www.infocampo.com.ar

tendría en Mozambique, Bryant & Campiche (2009) simulan un sector de biocombustibles en la economía mundial y Kretschmer & Peterson (2008) introducen un sector de biocombustibles mediante distintas técnicas y comparan las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

La Tabla 2 resume los tres artículos que se consideraron en el apartado de biocombustibles, los cuales son simulaciones locales y globales, que incorporan el sector de biocombustibles en el análisis.

Tabla 2. MEGA a Biocombustibles

MEGAs Biocombustibles						
Autores	Año Publicado	Año de la Matriz	Región	Política Económica	Tipo de Modelo	Conclusiones
Bryant y Campiche	2009	2001	Mundial	Incorporan un sector de biocombustibles	Estático	El modelo no arroja resultados.
Arndt, Benfica, Tarp, Thurlow y Uaiene	2008	2003	Mozambique	Consideran 4 escenarios en los que se incrementa la producción doméstica de biocombustibles	Dinámico	El PIB se incrementaría y la pobreza disminuiría. Se incrementarían las importaciones de alimentos y los precios de los cereales.
Kretschmer y Peterson	2008	2001	Mundial	Multipolíticas	Dinámico	Habría un incremento en el producto agrícola, el empleo, el PIB y el precio de los cereales. El precio del petróleo disminuiría debido a la caída de su demanda.

2.3.1 Biocombustibles, pobreza y crecimiento, Mozambique, 2003

En Mozambique 70% de la población aún vive en zonas rurales, mientras que la mitad de la población rural vive en condiciones de pobreza extrema. La mayor parte de la población rural depende de los cultivos que producen, casi todos para autoconsumo siendo un grupo reducido aquel que produce excedentes para prácticas comerciales. En términos generales aproximadamente tres cuartos de la población total de Mozambique (urbana y rural) depende de actividades agrícolas, siendo el sector más importante dentro de la economía. En términos de población urbana, las estadísticas muestran que la mitad de la población recibe su ingreso de actividades relacionadas con la agricultura.

La agricultura en Mozambique se divide en 2 subsectores, aquella que se utiliza para autoconsumo caracterizada por usar tecnología rudimentaria y altos niveles de volatilidad y un pequeño pero creciente sector comercial. La tierra pertenece al Estado. En la actualidad existen solicitudes por más de 12 millones de hectáreas que representa más del doble del área actualmente utilizada para el cultivo de caña de azúcar y jatropha²⁶ para la producción de biodiesel.

Arndt, Benfica Rui, Tarp, Thurlow y Uaiene (2008) cuantifican el impacto que la inversión en biocombustibles tendría en el crecimiento y distribución del ingreso en Mozambique, utilizando un MEGAD, utilizando un matriz de contabilidad social que contiene datos del año 2003.

El modelo considera cincuenta y seis sectores de los cuales veinticuatro son agrícolas y siete son sectores encargados de procesar alimentos. Se identifican cinco factores de la producción de los cuales tres son tipos del factor trabajo (trabajo calificado, semi-calificado y no calificado), tierra destinada para la agricultura y capital. El sector doméstico se divide en diez grupos representativos que dividen a la población en urbana y rural así como por ingreso familiar desagregado por quintiles.

La variable dinámica del modelo es la inversión en biocombustibles que no se desarrollara por completo sino hasta dentro de 12 años, por lo que los autores implementan una serie de ecuaciones que dinamizan el modelo, con las que se asume un crecimiento en el escenario base de 6.1% para el año 2015.

Se consideran cuatro escenarios. El primero simula un incremento en la producción de jatropha acompañado con un crecimiento más rápido de los cultivos alimenticios. El segundo y tercero simulan un incremento en la producción de caña de azúcar y jatropha respectivamente. Finalmente, el cuarto simula un incremento simultáneo en la producción de ambos cultivos considerando la derrama tecnológica.

La inversión en biocombustibles dentro de Mozambique incrementaría el PIB en 0.6%, y disminuiría la pobreza en 6% en un periodo de 12 años, el escenario enfocado en pequeñas

²⁶ Arbustos o arboles utilizados en la producción de biodiesel.

plantaciones tendría un efecto mayor contra la pobreza respecto al enfocado en grandes plantaciones ya que utiliza en mayor medida fuerza de trabajo no calificada.

En el primer y segundo escenario, los cultivos de jatropha y caña de azúcar se expanden por separado (280,000 y 550,000 hectáreas respectivamente), habría un incremento del producto, una disminución de la pobreza, un aumento de las importaciones de alimentos y un incremento en los precios de los cereales. Sin embargo, en el escenario en el que se expande la jatropha el aumento en el producto agrícola sería mayor, ya que su cultivo emplea más trabajadores no calificados y beneficia el ingreso de los pequeños agricultores en lugar de beneficiar a las grandes plantaciones, por lo tanto su impacto en el bienestar sería mayor. En el caso de la producción de caña de azúcar y etanol, el incremento en el producto sería mayor, ya que a pesar de no incrementar significativamente el producto agrícola el sector manufacturero sería el principal beneficiado por su naturaleza capital-intensiva en la producción.

El tercer escenario considera un incremento en el cultivo de la jatropha así como de la productividad para cultivos alimenticios con derrama tecnológica. La cantidad de tierra utilizada para la producción de biocombustibles disminuiría, lo que atenuaría la competencia por el uso de tierra y ocasionaría que el precio de los cereales no se eleve respecto a los escenarios anteriores. La derrama tecnológica impactaría positivamente el crecimiento económico, siendo en este escenario mayor el crecimiento.

Finalmente, el cuarto considera una expansión en ambos cultivos que se vería beneficiada por la derrama tecnológica. Habría un crecimiento del producto de 0.7% más por año, donde los sectores manufacturero y agrícola serían los más beneficiados con un crecimiento del 2.4% y 1.5% mayor anual. Se crearían alrededor de 455,000 nuevos empleos lo que disminuiría la pobreza en 5.9% a partir del 2015.

2.3.2 Impacto de los biocombustibles, Multiregión, 2001

“The Energy Independence and Security Act of 2007” establece metas ambiciosas respecto al uso de energías renovables para el futuro. Algunos de los mandatos establecen el incremento en el uso de biocombustibles (el uso de 15 billones de galones de etanol para el 2015 y el uso de 21 billones de galones de celulosa de etanol para el 2022 entre otros) para disminuir la influencia de países con mercados energéticos fósiles desarrollados.

Bryant y Campiche (2009) miden el impacto que un sector de biocombustibles mundial tendría en ciertas variables económicas, utilizando un MEGA estático global, con datos del 2001.

Se utiliza la sexta versión de la base de datos GTAP que contiene información de los flujos y movimientos que se dan entre ochenta y siete regiones en el mundo. Cada región considera cincuenta y siete actividades productivas y sus correspondientes commodities finales. Los sectores productivos pagan cinco factores primarios de producción: recursos naturales, tierra, capital, trabajo calificado y trabajo no calificado. Debido a que el GTAP no cuenta con información sobre biocombustibles, el modelo incorpora sectores relacionados con la producción de materias primas para producir etanol (switchgrass²⁷, rastrojo de maíz recolectándose aproximadamente 30% y granos de cereal que se utilizan para producir etanol a un costo de 1.08 dólares), modificando los sectores del carbón y petróleo para reflejar el impacto que los biocombustibles tendrían en el mercado de bienes energéticos.

Todos los biocombustibles producidos se usan como inputs en la producción de productos derivados del petróleo. Por último, el modelo considera un servicio de transporte global y comercio con precio único debido a la dificultad de cuantificar los flujos de intercambio comercial. Se incorporan sectores de materias primas relacionados con la producción de biocombustibles y un sector de biocombustibles al modelo para medir el impacto dentro de la economía en conjunto.

²⁷ Una hierba alta que crece en el norte de América que se forma en grandes grupos.

2.3.3 Introducción de los biocombustibles a la economía mundial, Global, 2001

En el contexto mundial de seguridad energética y políticas de protección ambiental, la producción de biocombustibles ha tomado relevancia sobre todo durante las dos últimas décadas. Ambiciosos objetivos que incluyen la producción de biocombustibles a gran escala para sustituir a los combustibles fósiles y políticas enfocadas en reducir el impacto ambiental de las actividades económicas se han incluido en la agenda de diversas organizaciones mundiales como la ONU, la UNEP, la comisión Europea, entre otros.

Los biocombustibles son vistos como una fuente de energía renovable alterna que puede sustituir a los combustibles fósiles en distintas actividades; como en el sector transporte, sector eléctrico, en la provisión de calor para los hogares, etc.

Por este motivo, el incremento en el uso de biocombustibles es un objetivo establecido en países tales como Estados Unidos que en su “Ley de Seguridad Social” del año 2007 estipula que para 2022 36 mil millones de galones del total de combustible usado en el sector transporte deberá corresponder en específico a biocombustibles. El problema es que para que esto sea posible la producción a gran escala de biocombustibles se debe desarrollar y actualmente Brasil es el único país capaz de producir la cantidad necesaria a precios que puedan competir con los combustibles convencionales.

Kretschmer y Peterson (2008) presentan la forma de introducir un sector de biocombustibles dentro de la economía global mediante distintos enfoques considerando el trabajo previo de varios autores, utilizando un MEGAD que toma como referencia una matriz de contabilidad social para el año 2001.

El modelo toma como referencia la base de datos GTAP6 que incluye datos para ochenta y siete países y regiones y cincuenta y siete sectores, también se incluye la producción de biocombustibles dentro de la matriz de contabilidad social elaborada.

Un par de políticas fueron simuladas y se enlistan a continuación:

- Un reemplazo de petróleo crudo por biomasa de 25% como insumo intermedio en la industria de refinación de carburantes en Estados Unidos para el año 2020.

- Un incremento en el uso de biocombustibles de 5.75% para el año 2010 y de 10% para el año 2020 en la Unión Europea.

El primer escenario no considera las políticas gubernamentales enfocadas a incrementar la producción de biocombustibles impulsadas por Estados Unidos, por lo que el impacto en la función de bienestar no sería del todo realista. A pesar de esto, el consumo público y privado se incrementarían en 0.4% aproximadamente y el PIB real en 0.2%, el precio del petróleo disminuiría en 4.8% respecto al benchmark y el empleo (principalmente en el sector agrícola) y el precio de las exportaciones aumentarían.

En la segunda simulación, el precio de las semillas oleaginosas y los cereales incrementaría ligeramente respecto al escenario de referencia, alcanzando un incremento de 8% y 5.5% respectivamente para el año 2020. Este incremento tan bajo se explica debido a que la tierra es una variable endógena dentro del modelo y a que se asume que únicamente la Unión Europea está obligada a incrementar el uso de biocombustibles de acuerdo a sus objetivos. Finalmente, las importaciones de productos agrícolas por parte de la Unión Europea incrementarían así como el uso de tierra en el resto de las regiones.

2.3.4 Conclusiones: MEGA al impulso de biocombustibles

Al referirnos a los MEGA que consideran a los biocombustibles dentro de sus políticas simuladas, es muy complicado llegar a conclusiones generales por la escasez de trabajos referentes al tema.

El escaso desarrollo de las bases de datos que incluyen a los biocombustibles es el motivo principal por el cual el número de trabajos es limitado, por lo que el desarrollo de fuentes estadísticas que abarquen la actividad económica desprendida por este sector es importante para que la bibliografía referente al tema se incremente.

Si bien es cierto que no podemos generalizar las conclusiones sobre este tema hay ciertos aspectos particulares que sería importante señalar. A grandes rasgos podemos argumentar que la producción de biocombustibles a gran escala tendría un impacto positivo en el

crecimiento económico y el nivel de ingreso de la población, sobre todo para la población agrícola. Sin embargo; es importante resaltar que la producción de biocombustibles también tiene ciertos efectos negativos a considerar al momento de evaluar la política, como el incremento del precio de los cereales, el desgaste excesivo de la tierra, el desplazamiento de las familias, entre otras.

Finalmente, es importante mencionar que a pesar de que en la actualidad hay muchas políticas enfocadas en incrementar la producción de biocombustibles, Brasil es el único país que puede producir una cantidad importante a precios moderados, por lo que un mercado a nivel mundial que satisfaga todas las necesidades dista mucho de ser factible en la actualidad.

2.4 MEGA COMO POLÍTICA ECONÓMICA SOBRE EL AGUA

Uno de los principales problemas que caracteriza a la economía mundial es la escasez de agua. Su asignación eficaz a través de las regiones es de suma importancia, ya que la eficiencia de varios sectores que utilizan el agua como insumo intermedio depende de ella.

El sector agrícola por ejemplo, utiliza la mayor parte del total del agua consumida, los bienes agrícolas son intercambiados entre los distintos países, por lo tanto una distribución eficaz del agua juega un papel importante en términos de comercio internacional y crecimiento económico.

La importancia de la asignación eficaz cobra más relevancia para los países subdesarrollados; ya que en la mayoría, gran parte de su población vive en zonas rurales y se dedica a actividades agrícolas, siendo en algunos casos su única fuente de ingreso; aunado a esto, el consumo de agua es una necesidad fisiológica de los seres vivos, por lo que la escasez o abundancia del bien no tiene consecuencias únicamente económicas, sino también sociales y en la calidad de vida de la población.

El cambio climático, el incremento de la población mundial y del consumo de agua per cápita ha acrecentado la escasez en algunas regiones. Las proyecciones predicen que en

algunos años los problemas de escasez serán aún mayores, por lo que es importante evaluar los impactos que la escasez y reasignación del agua tienen dentro de la economía en general.

En este apartado se analizan los efectos de distintas políticas económicas en el uso del agua como por ejemplo: la aplicación de una política fiscal en el uso de agua (Gutiérrez, Venegas, & Bravo, 2005), la creación de un mercado que permite el intercambio de los derechos de agua (Tirado, Gómez, & Lozano, 2006), una reasignación del bien del sector agrícola para favorecer otras actividades (Seung, Englin, & Harris, 1997) y una reducción en el suministro de agua, tanto a nivel regional (Berck, Robinson, & Goldman, 1990) como a nivel global (Berritella, Hoekstra, Roson, & Tol, 2006).

La Tabla 3 resume los cinco artículos considerados para el análisis de los MEGA hidrológicos, al ser el agua un recurso escaso, distintas políticas se han simulado con el fin de administrar el recurso para futuras generaciones.

Tabla 3. MEGA Hidrológicos

MEGAs Hidráulicos						
Autores	Año Publicado	Año de la Matriz	Región	Política Económica	Tipo de Modelo	Conclusiones
Berritella, Hoekstra, Roson y Tol	2006	1997	Mundial	Reducción del Suministro	Estático	El precio del agua se incrementaría y el bienestar disminuiría. Las regiones restringidas aumentarían sus importaciones y disminuirían las exportaciones del bien. Por último, el sector agrícola de las regiones sin restricción sería más competitivo con la política.
Berk, Robinson y Goldman	1990	1982	Valle de San Joaquín		Dinámico	Disminuirían la superficie agrícola utilizada, el empleo, ingreso agrícola y PIB de la región. El precio del agua aumentaría.
Seung, Englin y Harris	1997	1991	Nevada	Reasignación del Recurso	Dinámico	Los sectores no agrícolas tendrían un ligero incremento en su producto; el empleo, los salarios, producto agrícola y PIB disminuirían.
Gutiérrez, Venegas y Bravo	2005	1993	México	Política Fiscal	Estático	Cuándo la propiedad es privada, un subsidio sería neutral en el bienestar fomentando el desperdicio de agua; un impuesto tendría efecto negativo en el bienestar sin fomentar el desperdicio.
						Cuándo la propiedad es pública, un subsidio sería positivo en el bienestar fomentando el desperdicio de agua; un impuesto tendría efecto neutro en el bienestar y en la abundancia del bien.
Tirado, Gómez y Lozano	2006	1997	Islas Baleares	Mercado de Derechos	Estático	La asignación del agua mejoraría y su precio disminuiría; el ahorro interno, el producto agrícola, el producto de sectores no agrícolas y el PIB se incrementarían.

2.4.1 Restricción en el suministro de agua, Multiregión, 1997

La distribución desigual del agua entre las regiones y el cambio climático (sequías, aridez en la tierra, etc.) han ocasionado que la distribución adecuada sea un tema central dentro las políticas de un importante número de países. Para el año 2025 se espera un incremento de por lo menos 50% en el uso de agua comparado con niveles de 1995. El agua se utiliza en la producción de varios productos, aproximadamente un 70% del total se utiliza en la agricultura, la producción de productos agrícolas, textiles, entre otros. Por lo que, dentro de un marco global los mercados y el comercio internacional son afectados por las fluctuaciones en el precio y cantidad del bien.

Berritela, Hoekstra, Ronson y Tol (2006) evalúan el impacto que la restricción en el suministro de agua tiene en el comercio internacional y el nivel de producción utilizando un MEGA estático, tomando como referencia una matriz de contabilidad social con datos del año 1997.

Se toma como referencia el modelo GTAP, los autores hacen ciertas modificaciones para considerar los sectores energéticos; por otra parte, el agua se considera un input más de la producción en el modelo ya modificado (GTAP-W)²⁸.

Se consideran diecisiete sectores (destacan seis agrícolas y uno de silvicultura) y dieciséis regiones (USA, Canadá, Oeste de Europa, Japón-Corea, Australia-Nueva Zelanda, Este de Europa, Ex URSS, Medio Oriente, Centroamérica, Sudamérica, Asia del Sur, Sudeste Asiático, China, Norte de África, África Subsahariana y el resto del mundo), los recursos hídricos no se comercializan.

El agua es móvil entre sectores agrícolas, pero inmóvil entre los sectores agrícolas y el sector de servicios de distribución del agua. En la modelación del GTAP un par de industrias se tratan de forma especial; el transporte internacional, que se asume como una industria mundial y no regional y un banco mundial que recolecta los ahorros de todas las regiones y los invierte para que se logre una equidad en las tasas de retorno futuras. Por último, la escasez del agua se introduce al modelo con la aparición de rentas económicas

²⁸ La única diferencia respecto al GTAP es que considera al agua como un insumo más en la producción.

potenciales asociadas a los recursos acuíferos, se introduce una restricción con la creación de un nuevo mercado y un nuevo commodity que se comercia: agua virtual²⁹.

Se plantean cinco escenarios, de los cuales cuatro cuentan con “solución de mercado” en la cual se paga renta por el uso de agua y los impuestos se reciclan, el quinto no cuenta con “solución de mercado”.

Las pérdidas de bienestar son mayores en el escenario sin “solución de mercado”. Los productores agrícolas con restricciones de agua pierden, mientras que los productores agrícolas sin restricciones ganan; entre más grandes son las restricciones al uso de agua mayor son las pérdidas o ganancias; sin embargo, las pérdidas son más que proporcionales a las restricciones mientras que las ganancias son menos que proporcionales.

El primer escenario se toma como base: se simulan reducciones en el suministro de agua para las regiones del Norte de África, China, USA y Asia del Sur. A pesar de que las restricciones son iguales, el precio del agua en USA sería mayor que en Asia del Sur, lo mismo sucede en China que enfrentaría precios más altos que el Norte de África. En términos de comercio, las importaciones se incrementarían y las exportaciones disminuirían en las regiones restringidas, el norte de África, el sudeste de Asia y China tendrían un ligero incremento en su balanza comercial a pesar del déficit en el apartado de agua virtual. El bienestar global disminuiría por las restricciones; sin embargo, en algunas regiones sin restricción se incrementaría por su sector agrícola más competitivo. La única región con restricción que incrementaría su bienestar es USA, ya que la sobreproducción agrícola desaparecería y las pérdidas de este sector se verían compensadas por las ganancias del sector industrial.

En el segundo, la reducción en el norte de África aumenta 44% respecto al escenario sin restricción, el precio del agua se incrementaría en todas las regiones restringidas al igual que la demanda de agua en las regiones sin restricción. A pesar de afectar la región menos competitiva el bienestar en la economía global disminuiría, lo que demuestra la importancia de reducir el suministro de forma gradual y no instantánea.

²⁹ La definición de agua virtual fue creada en 1993 por el investigador británico John Anthony Allan y define al agua como la cantidad de agua real requerida para la fabricación de cualquier producto agrícola o industrial.

El tercero, asume inmovilidad de agua entre sectores agrícolas y ausencia de bienes sustitutos en la producción. El incremento más importante de precio se daría en el norte de África (\$63/m³) cuando el suministro se reduce en 10%. El norte de África, sur de Asia y China importarían más agua virtual respecto al primer escenario e incrementarían su producción de bienes y servicios intensivos en el uso de agua. El bienestar sería menor respecto al primer escenario excepto en Japón-Corea y en el oeste de Europa, que al no tener restricciones tendrían un sector agrícola más competitivo.

El cuarto, considera un caso similar al primero; la única diferencia es que la intensidad del agua no responde a su precio lo que se traduciría en menor flexibilidad para las granjas y para las compañías que suministran el agua. La renta de agua y las importaciones incrementarían respecto al escenario base. El comercio de China, el sur de Asia y el norte de África aumentaría por su incremento de bienes intensivos en el uso de agua; sin embargo, el bienestar global disminuirá.

Finalmente, el quinto, tiene una restricción igual que en el escenario base sin contar con “solución de mercado”. La producción en sectores intensivos en el uso de agua disminuiría más rápido, la pérdida global de bienestar sería considerablemente mayor, aunque las ganancias de algunas regiones sin restricción también aumentarían; todas las regiones restringidas tendrían pérdida de bienestar.

2.4.2 Reducción del suministro de agua, Valle San Joaquín, 1982

Los problemas de drenaje y el incremento en la demanda de agua para uso urbano se han incrementado los últimos años y han ocasionado serios problemas para el sector agrícola en el Valle de San Joaquín.

Berck, Robinson y Goldman (1990) miden el impacto que una reducción al suministro de agua en el sector agrícola tiene en la economía en general, utilizando un MEGAD para la región del Valle de San Joaquín, USA, utilizando una matriz de contabilidad social con datos de 1982.

El modelo tiene catorce sectores, de los cuales seis son agrícolas (lácteos, ganadero, algodón, granos, frutas y otras actividades agrícolas), dos de proceso (uno para los productos lácteos y el otro para las otras actividades agrícolas), un sector manufacturero, uno minero y cuatro sectores de servicios (banca, comercio, carga y otros servicios).

Cinco factores de la producción se consideran: tierra, agua, trabajo, capital y bienes intermedios; de los cuales la tierra y el agua únicamente se utilizan en el sector agrícola. Se asumen tres tipos de tierra; tierra usada para el cultivo del algodón, la utilizada para el cultivo de frutas y la utilizada para pastoreo y cereales. Puede existir un cambio en el uso de tierra, siempre y cuando las tierras más productivas se utilicen en actividades menos productivas y no a la inversa. Por último, se introducen dos variantes en la producción agrícola; la variante de elasticidad alta, en la cual el stock de capital sectorial es fijo y los factores relativamente más sustituibles y la variante de elasticidad baja, en la cual el capital sectorial varía de acuerdo al uso de la tierra.

Se utilizan dos escenarios (elasticidad alta y elasticidad baja) con 5 simulaciones cada uno, en el que cada simulación considera disminuciones sucesivas del 10% en el suministro de agua en el sector agrícola.

Habría un cambio en la cantidad de superficie utilizada por el sector agrícola y una disminución en el empleo, ingreso agrícola y el PIB del Valle San Joaquín.

En las simulaciones con elasticidad alta el suministro de agua disminuiría primero en los sectores de algodón y en el de otras actividades, a medida que la disminución se acerca al 50% respecto al escenario base la superficie utilizada para el cultivo de cereales casi desaparece. Por otro lado, en el escenario con elasticidad baja la superficie utilizada para el cultivo de cereales casi desaparece cuando el suministro de agua disminuye en 30%.

El caso más extremo, con elasticidad baja y reducción del 50% del suministro, el valor agregado agrícola caería \$758 millones de dólares y el ingreso de los propietarios \$401 millones de dólares; sin embargo, el PIB de la región solo disminuiría en \$305 millones de dólares o 3%.

La diferencia entre la disminución del PIB total y la disminución en la producción del sector agrícola sería de \$453 millones de dólares, explicada por el incremento en la producción de otras actividades y la transferencia de aproximadamente 22,000 trabajadores a otros sectores; las pérdidas serían menores en los escenarios con elasticidad alta. El precio del agua también se afectaría por la política, su precio en el caso más extremo (elasticidad baja y una reducción de 50% del suministro de agua) se incrementaría hasta los \$88 dólares por pie de tierra, comparado contra los \$51 dólares del escenario base, los terratenientes no serían compensados por el incremento.

2.4.3 Reasignación del agua, Nevada, 1991

Los visitantes anuales estimados del refugio Stillwater oscilan entre los 28,000 y 40,000, lo que genera gastos de aproximadamente 1.1 millones de dólares, que representa un ingreso de aproximadamente 440,000 USD.

Seung, Englin y Harris (1997) miden el impacto que la reasignación de agua tiene en la economía y bienestar del condado Churchill, Nevada, utilizando un MEGAD, sin hacer mención al año de la matriz de contabilidad social que tomaron como referencia.

El modelo considera ocho industrias, de las cuales tres son agrícolas (ganadería, otros granos y pastizales) y cinco comprenden otros sectores y servicios (minería, construcción-manufactura-transporte, comercio, servicios financieros-aseguradoras-bienes raíces y servicios).

Se consideran tres hogares representativos que se diferencian entre sí por su nivel de ingreso (alto, medio y bajo). Cuando el nivel de ahorro supera las inversiones, el excedente sale del condado a otras regiones y viceversa. Una cantidad de agua y tierra establecidas se utilizan en la producción de los sectores agrícolas, por lo que la disminución de agua en el sector disminuye la producción y el uso de tierra total. Los demás sectores producen sus bienes únicamente con capital y trabajo.

Los autores consideran una reasignación del agua del sector agrícola hacia el “Stillwater National Wildlife Refuge” para favorecer las actividades que ahí se desarrollan (pesca con caña, caza de aves silvestres, etc.).

Por la reasignación del suministro de agua de las actividades agrícolas el producto (agrícola y total), empleo, salarios y bienestar en general disminuirían.

Los resultados se analizan al sexto año de implementar la política; los turistas del condado y los gastos realizados sobre todo en sectores de comercio y de servicios aumentarían con la reasignación.

La producción del sector agrícola disminuiría en 95.13 millones de dólares o en 30.1% respecto al escenario base, la producción de sectores no agrícolas se incrementaría en 5.8 millones o 0.2%, y para el total de la economía en el condado existiría una disminución en la producción equivalente a 89.72 millones de dólares o 2.4%. La demanda de trabajo del sector agrícola disminuiría, lo que ocasionaría que los trabajadores emigren a otras regiones o se empleen en sectores no agrícolas disminuyendo los sueldos y salarios reales por el exceso de oferta.

Finalmente, el incremento en la demanda final de los sectores relacionados a la recreación ascendería a 6.71 millones que equivale a 7.1% de la reducción en la producción del sector agrícola, el incremento en estas actividades es tan pequeño que no compensaría las pérdidas generadas en el sector agrícola por la reasignación, lo que en términos generales se traduce en una disminución del bienestar de los habitantes del condado Churchill.

2.4.4 Asignación de los derechos del agua, Islas Baleares, 1997

La escasez de agua en las Islas Baleares es un problema recurrente que se ve agravado durante la temporada de turismo y en temporada de sequía, esto es principalmente por las características ambientales de las islas que no cuentan con la existencia de ríos permanentes ni con un gran número de presas. Durante ambas temporadas las reservas de agua descienden entre 30% y 50% respecto a sus niveles promedio, mientras que la población se

incrementa en aproximadamente 35% durante la temporada alta de turismo. Las políticas recurridas por las autoridades varían; desde restricciones en temporadas de sequía y la construcción de plantas desalinizadoras hasta las importaciones del líquido proveniente del interior del continente europeo.

Tirado, Gómez y Lozano (2006) evalúan los cambios que la introducción de un mercado del agua tiene en la función de bienestar, utilizando un MEGA estático de las Islas Baleares, que toma como referencia una matriz de contabilidad social con datos de 1997.

Se consideran diez sectores económicos, dos sectores agrícolas (con riego y sin riego), un sector que incluye la ganadería, la minería pesca y el resto de las actividades primarias, dos productores de agua para beber (de forma tradicional y basado en la desalinización del agua), y los sectores energético, manufacturero, de la construcción, turismo y servicios.

Cada sector produce un bien o servicio particular excepto los sectores productores de agua para beber, la única diferencia entre ambos radica en su estructura de costos que para las plantas desalinizadoras asciende a 0.58 euros por metro cúbico, con una capacidad de producción de 30 hectómetros cúbicos.

Se consideran cinco factores de la producción y una función Stone-Geary³⁰. La novedad del modelo es que el agua y el agua de mar también son considerados como factores de la producción. El suministro de agua se asume fijo, y los derechos son distribuidos entre el sector agrícola y el sector que suministra el agua no son negociables, esta condición solo se elimina para medir las ganancias potenciales en la función de bienestar.

Se implementa un mercado en el que se permiten intercambios de los derechos de agua, se corren once simulaciones las cuales consideran reducciones sucesivas del 5% respecto a la dotación de agua inicial.

³⁰ La función tipo Stone-Geary se usa con frecuencia para modelar problemas que involucran niveles de subsistencia de consumo. En estos casos se debe de consumir un nivel mínimo de ciertos productos sin importar el precio del bien o el ingreso disponible.

Es más eficiente una asignación del agua por medio de un mercado que la construcción de plantas desalinizadoras, este tipo de asignación también beneficia al sector agrícola sobre todo en temporada de sequía.

En un principio se observa una mejor asignación del agua entre el sector agrícola y la producción de agua potable mediante el mercado. En caso de sequía, el impacto negativo en el consumo de agua potable sería reducido por la creación de un mercado que permitiría el intercambio del bien sin incrementar los precios, esto considerando una sequía que reduzca en 30% las dotaciones iniciales; contrario a un escenario sin mercado en el que la producción disminuye hasta que el precio del agua potable es suficiente para reactivar su producción.

A pesar de que el efecto seguiría siendo negativo en temporada de sequía para el sector agrícola, el pago a los factores de la producción sería mayor. Más importante aún, en el escenario sin mercado, el ingreso rural disminuiría contrario al escenario con mercado en el que el ingreso siempre se incrementaría. La reducción en la agricultura por la disminución en el mercado de granos que necesitan riego sería parcialmente compensada por el incremento en la actividad del sector que no necesita riego. Por último, el mayor suministro de agua potable y los precios más bajos asociados a la situación de mercado tendrían un impacto positivo en los niveles de producción de otros sectores, la creación del mercado implica que no se gastaría en la creación de infraestructura (presas, plantas desalinizadoras, etc.) y por lo tanto el nivel de ahorro se incrementaría.

2.4.5 Política fiscal Hidrológica, México, 1993

Gutiérrez, Venegas y Bravo (2005) evalúan el impacto de una política fiscal en la administración de los recursos hidrológicos, mediante un MEGA estático de México tomando como referencia una matriz de contabilidad social del año 1993.

Se utilizan dos matrices de contabilidad social, Grijalva-Usumacinta como zona de abundancia relativa de agua y Nazas-Aguanaval como zona de escasez relativa, para medir el impacto de la política fiscal en la abundancia del recurso. El agua se considera un

insumo de la producción (agua útil), sin hacer énfasis en la forma que es consumida (irrigación, agua potable, etc.), también se clasifica el agua por la forma en que se obtiene en agua de origen superficial y agua de origen subterráneo.

Se consideran cinco productores y seis bienes distintos, de los cuales cuatro son tipos de agua transformada (ya que el agua no se puede utilizar en su estado puro) que se utilizan como bienes intermedios en la producción de bienes finales. Hay dos tipos de consumidores y dos formas de derechos de propiedad; el caso en el que los agentes privados son dueños de los derechos y cuando el gobierno es dueño de los derechos. Cuando la propiedad es pública, los ingresos de la venta de agua son destinados a su conservación, no hay transferencias a los consumidores.

El gobierno grava el uso de agua, la producción de agua residual, el trabajo, capital y el consumo de los dos bienes. Transfiere en forma directa a los consumidores el total de del ingreso por impuestos; en el caso de propiedad pública del agua, en la cual el gobierno vende sus derechos, el ingreso obtenido únicamente es utilizado para mantener los niveles de agua ahorrada.

Cuando los derechos son públicos un impuesto que grave el uso del agua no tendría efectos en el bienestar, mientras que un subsidio al agua tratada tendría un efecto positivo.

Cuando los derechos son privados, el subsidio al consumo de agua tratada tendría un efecto neutral en el bienestar, mientras que un impuesto al uso de agua tendría un efecto sistemáticamente nocivo en el bienestar social.

Respecto a la abundancia de agua, cuando el recurso es abundante y la propiedad pública, el impuesto al uso de agua sería una política neutral, mientras que el subsidio propiciaría el desperdicio. Por otro lado, cuando los recursos son de propiedad privada, un impuesto al uso aumentaría los acervos de agua, mientras que el subsidio de agua tratada disminuiría el volumen de agua almacenada.

Cuando el recurso es escaso y la propiedad privada, la política de subsidio induciría una ligera disminución en los acervos de agua, cuando se aplica un impuesto la política sería ligeramente efectiva. Por otro lado, cuando la propiedad es pública, los subsidios

propiciarían una disminución dramática del acervo de agua, mientras que un impuesto tendría un efecto neutral.

2.4.6 Conclusiones: MEGA como política económica sobre el agua

Diversas políticas públicas se simularon para la asignación eficiente del agua, políticas que van desde la reasignación del recurso, la reducción en el suministro o inclusive la simulación de un gravamen por su uso, son solo algunos ejemplos de las políticas simuladas en este apartado.

Los resultados muestran que cuando la administración del agua se da mediante los distintos mecanismos considerados, su precio se incrementaría evitando el desperdicio y asignando el recurso de manera eficiente.

Respecto a los efectos sectoriales, el sector agrícola sería el más perjudicado, el producto de los sectores no agrícolas por el contrario experimentaría un incremento en su producto, que no se vería reflejado en un incremento del producto en general.

La política más eficiente resulta ser la que asigna el recurso mediante un mecanismo de derechos ya que incrementaría el producto agrícola y el producto en general, la asignación del agua mejoraría y aunado a esto su precio disminuiría. Por último, una política de tipo impositiva sería positiva para la abundancia del recurso, mientras que una política de subsidio fomentaría el desperdicio.

CONCLUSIONES

Los MEGA al cuantificar los efectos directos e indirectos que cambios en una variable tendrían en el resto de la economía, son una herramienta de simulación bastante útil y con ventajas considerables respecto a otras metodologías al momento de evaluar políticas públicas. No obstante, es importante señalar que existen ciertas limitaciones y críticas hacia los modelos; siendo la principal, la debilidad de su base estadística por la manipulación de sus parámetros al calibrarlos a un año base considerado.

Otra crítica concierne a las bases de datos que utilizan, ya que en muchos casos los datos proporcionados son insuficientes y se incurre en la necesidad de asignar valores a las variables exógenas.

Respecto a su base teórica económica, se puede concluir que los modelos cuentan con cimientos lo bastante fuertes al tener fundamentos microeconómicos lo suficientemente sólidos, la importancia aquí radica en construir un modelo lo más parecido a la realidad que intenta representar, es decir que el modelo considere las variables, ecuaciones y datos de lo que pretende evaluar.

Para el caso de los MEGA ambientales la introducción de variables ambientales y sectores que impacten el medio ambiente ya sea de forma positiva o negativa (generalmente los sectores energéticos tienen el mayor impacto) resulta clave al momento de construir el modelo. Distintas líneas de investigación se han establecido, siendo en número las más importantes aquellas que gravan la emisión de gases contaminantes

De los diecinueve artículos incluidos, once competen a emisiones, cinco a modelos hidrológicos y tres a la producción de biocombustibles, nueve son estáticos y diez dinámicos; hay modelos globales y pero la mayoría son locales, enfocándose únicamente en el impacto que las políticas tendrían sobre un país en particular. Todos los MEGA ambientales tienen objetivos y delimitaciones espaciales y temporales diversas. No obstante se registran las siguientes particularidades:

En el caso de los modelos que tienen como objetivo disminuir los niveles de emisión mediante distintas políticas, se observa que la mayoría tendría una disminución en la

actividad económica, disminuyendo varios indicadores como la producción, la demanda de bienes energéticos y el PIB, también habría un desplazamiento en la actividad económica hacia sectores no intensivos en el uso de energía. La estructura económica también afectaría la función de bienestar. Todos los modelos incurrirían en un primer dividendo ambiental disminuyendo los niveles de emisión; sin embargo, el doble dividendo se presentaría en muy pocos casos (Andalucía y Turquía) dependiendo de la política económica que se aplicada. Finalmente, se puede concluir que para los MEGA que gravan a las emisiones, es importante incluir otro tipo de variables ambientales y considerar la estructura económica para atenuar los efectos económicos negativos y en ciertos casos revertirlos.

De los biocombustibles, se concluye la existencia de algunas similitudes que al contar con muy pocos modelos sobre el tema no se pueden generalizar. Lo que se puede señalar es que la introducción del sector disminuiría el precio de los bienes energéticos tradicionales, incrementando el precio de algunos cereales que se utilizan para la producción de biocombustibles, en el caso particular de Mozambique habría un incremento en el producto y una disminución de la pobreza, argumentos que los principales defensores de los biocombustibles señalan como una de las ventajas de su implementación; sin embargo, al no contar con suficiente información, no podemos generalizar esta suposición.

Finalmente, los modelos hidrológicos, muestran que una reducción en el suministro o la reasignación del recurso del sector agrícola para otras actividades impactaría el bienestar, disminuyendo el producto agrícola, el empleo el PIB y el bienestar en general incrementando el precio del recurso. La asignación, sería más eficiente mediante de un mecanismo de mercado y en el caso particular de las Islas Baleares el precio del agua disminuiría. Finalmente, la escasez y el bienestar también se podrían impactar al aplicar políticas de gravamen o subsidio.

A lo largo de este trabajo se demostró que los MEGA son una herramienta adecuada en la medición de políticas públicas, sin embargo; sus ventajas y limitaciones deben de considerarse al momento de decidir si su metodología es la correcta para evaluar lo que se desea. Los MEGA, son una herramienta de simulación que académicos y encargados de evaluar políticas publicas deberían de considerar en sus ejercicios de simulación para contar con otra perspectiva. Si bien, los MEGA son una herramienta que se ha venido

desarrollando desde hace ya varias décadas y el número de artículos cada vez se incrementa, considero que no se han explotado lo suficiente, confió en que el desarrollo de bases de datos más desagregadas, la actualización regular de las bases y la inclusión de nuevas variables para las matrices hagan de los MEGA una herramienta indispensable en la evaluación de políticas públicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Amin, Hamid, A., & Siwar, C. (2009). Computable General Equilibrium Techniques for Carbon Tax Modeling. *American Journal of Environmental Sciences*, 330-340.
- Arndt, C., Benfica Rui, Tarp, F., Thurlow, J., & Uaiene, R. (2008). Biofuels, Poverty, and Growth: A Computable General Equilibrium Analysis of Mozambique. *Environment and Development Economics*, 81-105.
- Berck, P., Robinson, S., & Goldman, G. (7 de Enero de 1990). *The Use of Computable General Equilibrium Models to Assess Water Policies*. Obtenido de Department of Agricultural and Resource Economics.
- Berritela, M., Hoekstra, A., Roson, R., & Tol, R. (2006). *The Economic Impact of Restricted Water Supply: A CGE Analysis*.
- Bovenberg, L., & Goulder, L. (1996). Optimal Environmental Taxation in the Presence of other Taxes: General Equilibrium. *The American Economic Review*, 985-1000.
- Bryant, H., & Campiche, J. (2009). A Static Computable General Equilibrium Model of World Energy and Agricultural Markets. *AFPC Research Reportr 09-1*.
- Cervantes, M. (2013). *Microeconomía: Teoría, Simuladores Computacionales y Retos*.
- Cervantes, M. (2014). Simulación de un Impuesto Lineal al Ingreso en México con un Modelo de Equilibrio General Computable. *Otros Artilugios*, 19-23.
- Cervantes, M., & León Castañeda, E. (2014). Aspectos Metodológicos de los Modelos de Equilibrio General. *Otros Artificios*, 14-17.
- Conrad, K. (2001). Computable General Equilibrium Models in Environmental and Resource Economics. *Discussion Papers*.
- Doumax, V. (2009). Assessing the Economic Impacts of Biofuels : The Use of Computable General Equilibrium Modeling.
- Drouet, L., Sceia, A., & Vielle, M. (2006). Evaluation of a Swiss Carbon Tax with the CGE Model.
- Eguino, M. G. (2009). Costes de Mitigación y Escenarios Post-Kyoto en España: Un Análisis de Equilibrio General para España. *Revista de Economía aplicada*, 89-121.
- Escudé, G. (2010). Modelos de Equilibrio General Dinámico y Estocástico: Una Introducción.
- Gómez, C., & Tirado, D. (2004). Water Exchanges versus Water Works: Insights from a Computable General Equilibrium Model for the Balearic Islands. *Water Resources Research*.

- Gómez-Plana, A. G. (2002). Simulación de Políticas Económicas: Los Modelos de Equilibrio General Aplicado.
- Gonzalez, M. (2006). Dante un MEGA Dinámico para el Control del Cambio Climático en España.
- Gutierrez, M. A., Venegas, F., & Bravo, H. (2005). Política Fiscal en el Manejo de los Recursos Hidráulicos: Un Modelo de Equilibrio General Computable. *Estudios Económicos*, 219-261.
- Hosoe, N. (2004). *Computable General Equilibrium Modeling with GAMS*.
- Kretschmer, B., & Peterson, S. (2008). Integrating Bioenergy into Computable General Equilibrium Models – A Survey. *Kiel Working Papers*.
- Kumbaroglu, G. S. (2003). Environmental Taxation and Economic Effects: A CGE Analysis for Turkey. *Journal of Policy Modeling*, 795-810.
- Labandeira, X., Labeaga, J., & Rodríguez, M. (2004). Efectos de una Reforma Fiscal Verde en España.
- Lamble, R., & Pezzey, J. (2001). *CGE Models for evaluating Domestic Greenhouse Policies in Australia*.
- Lanzi, E. (2006). Multigas Greenhouse Gases Emissions in a Computable General Equilibrium Model.
- Leon Castañeda, E., & Cervantes, M. (2014). Análisis de Aspectos Comerciales a través de Modelos de Equilibrio General Aplicado. *Nuevos Artilugios*, 28-30.
- Mendoza, A. P. (2008). Introducción al Uso de Modelos Aplicados de Equilibrio General. *Nueva Epoca*.
- Miguel, C. d. (2004). Evaluación a través de Modelos de Equilibrio General Computables.
- O’Ryan, R., de Miguel, C., & Miller, S. (2003). Ensayo sobre Equilibrio General Computable: Teoría y Aplicaciones. *Documentos de Trabajo no. 73*.
- Pérez, H. B. (2003). *El Cambio Climático y los Modelos de Equilibrio General*.
- Polo, C., Cardenete, A., & Fuentes Saguar, P. (2009). Efectos de un Impuesto Medioambiental en Andalucía: Una aproximación mediante un Modelo de Equilibrio General Computable. *XII Encuentro de Economía Aplicada*. Madrid.
- Seung, C. K., Englin, J., & Harris, T. (1997). Application of a Computable General Equilibrium Model to Derive Impacts of Surface Water Reallocation Policy. *Western Agricultural Economics Association*. Reno/Sparks Nevada.

Shrestha, R., & Malla, S. (s.f.). A CGE of Carbon Tax in Developing countries: The case of Thailand. *28th Annual IAEE International Conference*. Taipei.

Tirado, D., Gómez, C., & Lozano, J. (2006). Un Modelo de Equilibrio General Aplicado a Baleares.

Urquiza, A. M., & Cervantes, M. (2014). Evaluación de Políticas Fiscales con Modelos de Equilibrio General Aplicado. *Nuevos Artilugios*, 25-27.

Velázquez, J., & Cervantes, M. (2014). Evaluación de Políticas para el el Medio Ambiente con Modelos de Equilibrio General Aplicado. *Nuevos Artilugios*, 31-34.

Wing, I. S. (2004). Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis.