

Capítulo 4. Metodología

4.1. Modelo de Equilibrio General Computable

La economía de una nación está compuesta por diferentes industrias productivas, las cuales están estrechamente relacionadas, es decir que los cambios en un mercado impactarán directamente a su propio sector y de manera indirecta afectará a otros mercados. Partiendo de esta premisa se han utilizado los modelos de equilibrio general computable (CGE, *por sus siglas en inglés*) para analizar las posibles perturbaciones macroeconómicas, sectoriales y distributivas de establecer ciertas políticas o choques en los diferentes mercados de manera simultánea (O'Ryan et al, 2004). Esto no se puede hacer en un modelo de equilibrio parcial, porque únicamente se analizarían los impactos en un solo mercado (O'Ryan et al, 2000).

La base metodológica de los CGE se fundamenta en la teoría del equilibrio general. Esta teoría tomó mayor relevancia porque Debreu propuso utilizar el análisis Walrasiano. Este análisis implica que el precio de equilibrio asegurará que no hay excedentes de producción o escasez del bien en la economía. Por lo tanto, Debreu utilizó este análisis para poder representar de forma más adecuada la existencia de equilibrios Pareto eficiente en una economía competitiva bajo ciertas restricciones. A partir de estos fundamentos teóricos, se procedió a aplicar la teoría de equilibrio general, siendo Johansen quien desarrolla el primer modelo de equilibrio general computable para representar la dinámica económica de Noruega, de manera muy sencilla. Por su parte Harberger, fue otro de los pioneros en usar este análisis dinámico para examinar el impacto de un impuesto en un modelo de dos sectores (O'Ryan et al, 2000).

No obstante, el fortalecimiento de los modelos dinámicos de equilibrio general se dio hasta 1973 con el trabajo que realizaron Scarf y Hansen sobre la aplicación y resolución mediante computadora de equilibrios económicos, con un enfoque más complejo sobre la representación de la dinámica económica. Los autores representaron el mecanismo de los mercados múltiples. En los últimos años, diferentes autores como Jorgenson y Wilcoxen (1990), Rutherford (1999), empezaron a utilizar modelos CGE dinámicos para poder explorar diferentes problemas de la política económica. A partir de los avances alcanzados en las herramientas computacionales, los modelos que se utilizaron posteriormente se enfocaron a estudiar diversos temas como políticas de comercio exterior, controles de precios e imposición de impuestos óptimos (Kehoe, 2002).

Con base en lo anterior los modelos de equilibrio general computables tienen como principal objetivo representar de manera más realista la dinámica multisectorial que se da en una economía, y así poder obtener estimaciones numéricas ex-ante a la aplicación de la política pública. Dichos modelos permiten realizar distintas simulaciones considerando diferentes políticas para una economía en particular, y así cuantificar la eficiencia distributiva, económica y ambiental de manera simultánea (O'Ryan et al, 2000).

Modelos de Equilibrio General y Cambio Climático

En la actualidad se han utilizado dichos modelos con el fin de analizar los impactos presentes y futuros del cambio climático, y así determinar las mejores estrategias a seguir. Por lo tanto, diferentes investigadores han estimado los efectos económicos del Protocolo de Kioto, de imponer un impuesto a las emisiones de CO₂ y de crear un mercado de carbono (Babiker et al, 2000a; Ibararán et al, 2001; O'Ryan et al, 2004; Ellerman y Sue

Wing, 2000). Todos ellos concuerdan en que, con ayuda de modelos económicos que integren el análisis multisectorial, es posible evaluar las diferentes opciones para estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero en el planeta. Sin embargo, también resaltan la importancia de utilizar estos modelos para conocer mejor los efectos directos e indirectos que tendrán las políticas de mitigación y adaptación en los aspectos económicos, sociales y medio ambientales. Lo anterior contribuye a garantizar que las líneas de acción que se emprendan generarán mayores beneficios que costos sobre la economía.

En este contexto, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, *por sus siglas en inglés*) desarrolló un modelo multi-sectorial y multi-regional que representa a la economía mundial. El Modelo de Predicciones sobre las Emisiones y Análisis de Políticas (EPPA, *por sus siglas en inglés*) proporciona proyecciones del crecimiento económico mundial y paralelamente simula las emisiones. El MIT realiza estas simulaciones con el objetivo de analizar la eficiencia al aplicar ciertas opciones de mitigación en el mundo. El EPPA provee estimaciones sobre la magnitud y la distribución entre países de los costos de estabilizar las emisiones, esto se mide a través del comercio internacional. En 2008 se estimaron las implicaciones de emprender una política de mitigación que lograra alcanzar la meta de estabilización en el año 2100 en 550ppm.

Además, el modelo EPPA se ha utilizado para diferentes aplicaciones. Una de estas fue estudiar el impacto del Protocolo de Kioto en la economía de Estados Unidos, en los países en desarrollo y en la Unión Europea (Babiker et al, 2000ab; Viguier et al, 2003). Por su parte Paltsev et al, (2004) utilizó dicho modelo para analizar el impacto de establecer una política para reducir emisiones afectando el costo del combustible.

Actualmente, países de la Unión Europea, Estados Unidos, Chile, y México utilizan modelos de equilibrio general computables para modelar los impactos que generará aplicar ciertas políticas de mitigación y adaptación en sus economías (Viguiet et al, 2003; Ibararán et al, 2007; O’Ryan et al, 2004). En particular Ibararán et al, (2008) propone utilizar un modelo dinámico de equilibrio general desarrollado por Boyd (2001), para modelar los impactos del cambio climático en México. El modelo se ha utilizado para evaluar las implicaciones de aplicar distintas políticas públicas. En un inicio el modelo fue diseñado para simular el impacto ambiental del TLCAN en México. Posteriormente se le realizaron diferentes cambios para poder modelar los aspectos del cambio climático. Lo anterior, con el objetivo de evaluar los costos del cambio climático para distintos sectores económicos, y además cuantificar el impacto de las opciones de mitigación y adaptación. Recientemente se utilizó este modelo para cuantificar la vulnerabilidad intersectorial de las políticas de adaptación y mitigación frente al cambio climático, así como para medir el impacto de la sequías sobre el sector agropecuario, forestal e hidroeléctrico (Boyd e Ibararán, 2007). En la **Tabla 3** se presentan algunas de las aplicaciones del modelo BOYD-M más recientes.

En base a lo anterior es altamente recomendable utilizar este modelo para simular la dinámica multisectorial en México. Además, la estructura del modelo analiza las retroalimentaciones e implicaciones económicas que impondrán la adopción de medidas que mitigan el cambio climático en un panorama de mercados múltiples. Esto ayudará a analizar las políticas de mitigación propuestas por el PECC, siendo esta la primera vez que se utilizará un modelo de equilibrio general para evaluar este programa en concreto.

Tabla 3. Aplicaciones recientes del modelo BOYD-M

Estudio	Objetivo	Publicación / Institución contratante
1. Cost of Compliance with the Kyoto Protocol: A Developing Country's Perspective	Analizar posibles estrategias de mitigación para México	<i>Energy Economics</i> Ibarrarán y Boyd 2002
2. Hacia el Futuro: Energy, Economics and the Environment in 21st Century Mexico	Analizar políticas de mitigación bajo competencia perfecta, competencia imperfecta y simulando mercados de emisiones	<i>Springer</i> , Ibarrarán y Boyd 2006
3. Macroeconomic Impacts of Mitigation Policies in Selected Sectors	Analizar el impacto de políticas del sector transporte, electricidad, energético y cemento bajo un marco de equilibrio general	Centro Mario Molina, 2008
4. Evaluación de las implicaciones económicas de las políticas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en México: Análisis de equilibrio general de la vulnerabilidad intersectorial	Incorporar al modelo en la información de la Matriz Insumo-Producto 2003 y simular políticas de mitigación y de adaptación a nivel sectorial	Instituto Nacional de Ecología, 2008
5. Impactos de Cambios en Precios Relativos de Combustibles y Automóviles	Analizar políticas de cambios en precios relativos como estrategias de mitigación	UNAM, 2009
6. MEDEC policies under a general equilibrium approach, Mexico, 2009	Analizar el impacto de equilibrio general de políticas sectoriales de reducción de emisiones	Banco Mundial, 2009
7. Extreme Climate Events and Adaptation: An exploratory analysis of drought in Mexico	Modelar el impacto del cambio climático en la economía mexicana	<i>Environmental and Development Economics</i> , Boyd e Ibarrarán 2009

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Modelo BOYD-M

Con el objetivo de analizar el impacto que tienen las políticas de mitigación emprendidas por el gobierno mexicano a través del Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2009-2012 sobre la economía nacional, se empleó el modelo BOYD-M para simular las interacciones entre la economía y la retroalimentación entre sectores. Dicho modelo está especialmente estructurado para México ya que incorpora ciertas rigideces salariales y la competencia imperfecta existente en los sectores energético y petrolero. Además, el modelo fue actualizado al incorporar la matriz insumo producto del año 2003 elaborada por el INEGI, esto permite reflejar la tecnología existente en la economía mexicana (Ibarrarán et al, 2008). También se actualizaron los valores en torno a las elasticidades, las tasas de crecimiento y depreciación del capital y finalmente las expectativas de producción de petróleo y gas natural.

Estructura del modelo

El modelo para representar la dinámica económica está compuesto por los diferentes mercados (de factores productivos, de bienes y servicios), por distintos productores y consumidores, por el gobierno y por un sector externo. Con el modelo BOYD-M se pueden simular el funcionamiento de los diferentes mercados en un panorama donde todos los mercados, industrias y sectores productivos están fuertemente relacionados, y además operan de manera simultánea. Por lo cual este sistema vinculado puede representarse matemáticamente mediante un sistema de ecuaciones simultáneas. Lo anterior se realiza con el objetivo de analizar el comportamiento de la oferta y la demanda de los distintos

mercados al determinar conjuntamente las cantidades de producción y de consumo, así como sus precios.

Inicialmente el modelo parte de una situación de equilibrio, esta se construye a partir de fuentes de información nacionales como la matriz insumo-producto, las cuentas nacionales y la balanza de pagos. Además, se incorporan ciertos supuestos sobre la producción de petróleo y gas natural, perspectivas de crecimiento económico; y finalmente se actualizan los parámetros del modelo entorno a la tasa de depreciación del capital, las elasticidades de sustitución entre insumos y la elasticidad precio de la demanda del sector energético. Es importante resaltar que con base en esta información el modelo BOYD-M puede representar mejor la dinámica económica en México y por lo tanto puede brindar simulaciones que ayuden a analizar las implicaciones económicas de reducir las emisiones propuestas por el PECC. Dicha información se obtuvo de fuentes nacionales, internacionales y de la literatura publicada en revistas académicas.

Después de la recolección de información necesaria, el modelo selecciona la forma funcional de las funciones de producción y utilidad, y así replica el equilibrio inicial con base en la información alimentada. En esta investigación se consideró como año base el año 2003. De ahí que el modelo se resuelve primero para el año base y posteriormente se proyecta una senda de crecimiento sostenido, donde todos los sectores crecen a la misma tasa. Posteriormente al introducir las políticas concretas, la tasa de crecimiento de los sectores cambia. Para efectuar las simulaciones se utilizó un software que permitiera resolver un sistema de ecuaciones no lineales. El modelo BOYD-M se creó en GAMS/MPSGE, desarrollado por Rutherford.

El modelo tiene como premisa que los sectores económicos están estrechamente vinculados, esto implica que cambios o restricciones en un mercado afectarán de manera directa a su propio mercado vía precios y nivel de producción, y de manera indirecta afectará a otras industrias económicas. Con base en lo anterior, la dinámica multisectorial se puede representar mediante un sistema de ecuaciones simultáneas con N mercados, para lo cual se requiere $N-1$ ecuaciones con el objetivo de obtener todos los precios y cantidades de equilibrio del sistema, garantizando que todos los mercados estén en equilibrio. Es decir, cada ecuación del sistema representa la oferta de un sector o la demanda de un bien y/o servicio de consumo final. En síntesis, cada mercado es representado a través de una ecuación de oferta y otra de demanda.

Por lo tanto, al considerar un análisis de la economía en su conjunto las acciones y las interacciones de todos los agentes económicos se describen mediante el uso de diferentes funciones de utilidad y de producción. En particular, cada sector económico produce bienes y/o servicios de acuerdo a una función de producción anidada de elasticidad de sustitución constante (CES). En este tipo de función, la producción sectorial está especificada como una función no lineal del capital (capital tradicional y capital natural), trabajo e insumos materiales provenientes de otros sectores. Entonces, para poder analizar que tan factible es sustituir un insumo por otro se requiere especificar la elasticidad de sustitución entre capital y trabajo dentro de las funciones de producción y de utilidad.

Además el modelo considera cuatro agentes de consumo, estos se agrupan de acuerdo a su ingreso. Cada agente maximiza una función de utilidad que consiste en el consumo presente de bienes, servicios y ocio, así como del consumo futuro (en forma de ahorro).

También cada función de utilidad se especifica a través de una función CES anidada, como en el caso de la producción.

Entonces, a partir de las formas funcionales el software GAMS/MPSGE permite calibrar de manera sencilla cada función de producción y de utilidad. Esto se logra mediante la maximización de los productores y consumidores, generando así la oferta y demanda por bienes y servicios en la economía, es decir, se obtienen las trayectorias de consumo y producción del año base. De esta manera, se verifica que las ecuaciones del sistema reproduzcan el comportamiento de la economía mexicana en el año 2003. Después de que el modelo está calibrado se introducen las políticas para mitigar las emisiones de GEI, imponiendo un impuesto a la producción en ciertos sectores o por cambio tecnológico.

En base a lo anterior el modelo calcula el valor del PIB, la producción por sector, el consumo por sector y de los hogares, la inversión, la acumulación de capital, los precios relativos, los ingresos del gobierno y finalmente las emisiones de CO₂ derivadas de la actividad económica. Es así como se puede analizar los costos de mitigar el cambio climático. Concretamente el costo de las políticas aplicadas se observa a través de las variables económicas que calcula el modelo para los años 2012, 2020 y 2030, para ello se requiere comparar los diferentes escenarios que se presentarán más adelante.

A continuación se describirá brevemente las partes que integran el modelo para conocer su estructura y funcionamiento. El modelo simula la interacción entre los productores (es decir todos los sectores productivos), los consumidores, el gobierno y el sector externo (este representa el comercio internacional o el resto del mundo). Posteriormente se realizan

ciertas adecuaciones para poder representar mejor el comportamiento de la economía mexicana.

Los productores

En la **Tabla 4.** se presentan los sectores que integran al modelo BOYD-M y su ordenamiento según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN). Dicho modelo tiene doce sectores productivos que producen trece bienes (dado que el petróleo y el gas natural se producen en el mismo sector).

Tabla 4. Sectores productivos

Sectores del Modelo	Sectores del SCIAN
1. Agricultura	111
2. Ganadería	112
3. Pesca	114
4. Forestal	113
5. Minería	212
6. Petróleo y Gas Natural	211, 213111
7. Refinería	324
8. Químicos y Plásticos	325 y 326
9. Manufactura	23, 31, 32, 33, excepto: 325, 326, 3273, 324
10. Electricidad	221
11. Transporte	48
12. Servicios	43,46,491,492,493,51,53,54,55,56,61,62,71,72,81

Fuente: Basada en Ibararán et al., (2008).

Ahora bien, cada sector produce bienes y/o servicios a través de una función de producción que tiene como insumos productivos el capital, el trabajo y los materiales provenientes de otros sectores

Ahora bien, en el modelo se construye un sector productivo con base en la información de la Matriz Insumo-Producto del 2003. Esta matriz permite la posibilidad de sustitución entre los diferentes insumos (trabajo, capital, materiales y energía). La matriz es un registro

ordenado de las transacciones de insumos productivos entre los sectores, orientadas a satisfacer la demanda final de los consumidores, del gobierno y del sector externo. La matriz insumo producto se utiliza para mostrar las relaciones existentes entre los diferentes sectores y sus tecnologías. Las distintas tecnologías son representadas por las funciones de producción. Estas funciones de producción muestran una elasticidad de sustitución constante (CES) entre insumos, es decir que siempre se sustituyen a la misma tasa, independientes del nivel de producción. El cambio tecnológico es tomado como exógeno al modelo.

La producción de cada sector para cada periodo se representa a través de la siguiente ecuación:

$$V_t = \phi_t \left[\delta_L L_t^{(\sigma-1)/\sigma} + \delta_K K_t^{(\sigma-1)/\sigma} + \delta_M M_t^{(\sigma-1)/\sigma} + \delta_E E_t^{(\sigma-1)/\sigma} \right]^{\frac{\sigma}{(\sigma-1)}} \quad (\text{ec. 2})$$

donde V_t es el valor agregado en el periodo t , σ es la elasticidad de sustitución entre insumos que es calculada econométricamente, ϕ_t es un parámetro de eficiencia que desplaza la función de producción, L_t es el trabajo en el periodo t , K_t es el capital en el periodo t , M_t son los materiales en el periodo t , E_t es la energía el periodo t , y cada δ es un parámetro que indica la participación relativa de cada factor, restringido de la siguiente manera:

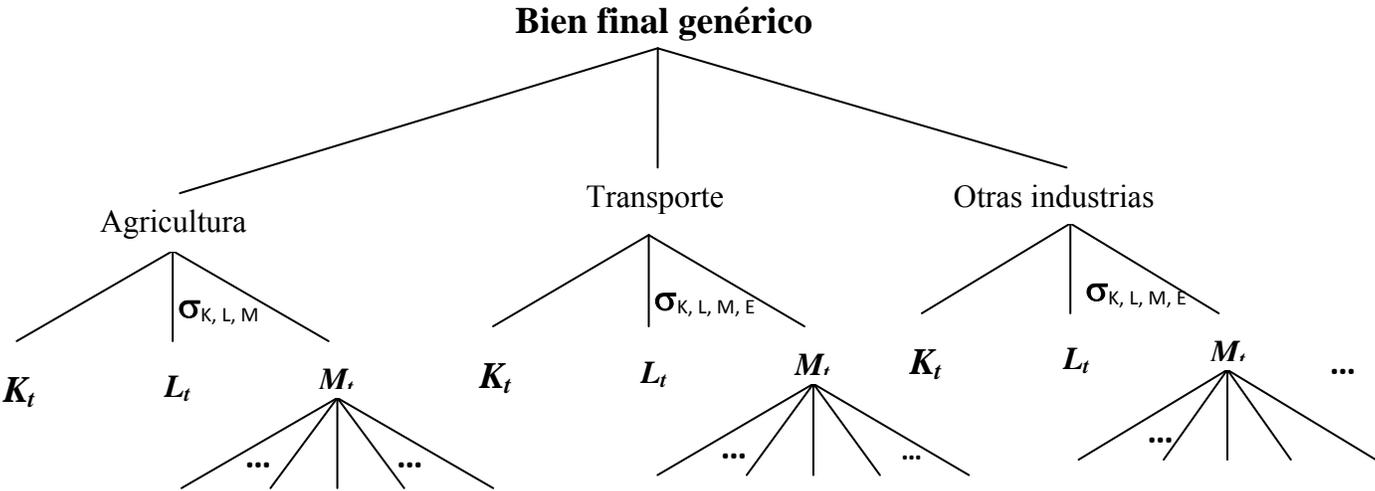
$$\delta_L, \delta_K, \delta_M, \delta_E > 0 \quad \text{y} \quad \delta_L + \delta_K + \delta_M + \delta_E = 1$$

Las restricciones anteriores garantizan que se utilicen todos los factores para la producción, y además se establece por simplicidad que el precio de todos los insumos sea igual a uno en el periodo inicial.

Para el caso de los insumos materiales, M_t , estos se consideran como un insumo compuesto. Dicho insumo, son producidos por funciones de producción CES anidadas, cuyos argumentos son los insumos de los diferentes sectores productivos (**Figura 10**). Los precios de los productos e insumos se determinan endógenamente. Además, los precios que se obtienen ya incluyen los impuestos que se le pagan al gobierno.

En cada período se determina la oferta de productos y la demanda de factores para cada sector productivo, esto se obtiene a partir de la maximización de beneficios, sujeta a la tecnología. Los productores maximizan sus ganancias en un ambiente de mercado competitivo, es decir que producen donde el ingreso marginal es igual al costo marginal y esto determina el precio. Sin embargo, el modelo también contempla la existencia de monopolios en el sector energético, donde para simular el poder de mercado de PEMEX y CFE se fija el precio con base en la elasticidad precio de la demanda del bien producido como se mostrará más adelante.

Figura 10. Función de producción anidada



Fuente: Basada en Ibararán y Boyd, (2006);

Finalmente para vender a los consumidores bienes finales como alimentos, bienes del hogar, servicios, energía, autos, gasolina, transporte, agua y vivienda se requiere transformar los insumos intermedios mediante una matriz “Z”¹. La matriz “Z” muestra las combinaciones de todos los bienes intermedios para que estos sean transformados y obtener así los bienes de uso final. Lo anterior se hace a través del uso de funciones de producción CES anidadas como se muestra en la **Figura 10**. Estas funciones anidadas relacionan al capital, el trabajo, la energía y a los insumos materiales de diferentes sectores (en este caso agricultura, transporte y otras industrias), con los productos finales. Las elasticidades de sustitución se utilizan para medir que tan factible es sustituir un insumo por otro. Además, dichas funciones anidadas permiten la sustitución entre los diferentes insumos para poder mantener el mismo nivel de producción. Es decir, que el bien final presenta una estructura tal que permite sustituir los insumos entre sí a distintas tasas de elasticidad de sustitución (representado por $\sigma_{K, L, M, E}$). Dichas elasticidades son calculadas econométricamente, forman un papel muy importante dentro del modelo ya que reflejan que tan fácil es sustituir un insumo por otro en la producción. Por ello, se recurrieron a estudios recientes que calcularan dichas elasticidades para cada sector que compone al modelo.

Consumidores y distribución del ingreso

El modelo refleja por el lado de la demanda el comportamiento de los consumidores nacionales, extranjeros y del gobierno. Los consumidores compran a los productores los bienes de uso final. El modelo considera ocho bienes de consumo final que son alimentos, bienes del hogar, energía, autos, gasolina, transporte público, agua y vivienda.

¹ La matriz “Z” forma parte de la Matriz Insumo Producto.

En lo que respecta a los consumidores nacionales, el modelo cuenta con cuatro grupos de consumo o agentes, estos se dividieron de acuerdo a su nivel de ingresos. El Agente 1 está conformado por el 20% más pobre de la población, el Agente 2 está compuesto por el siguiente 30%, el Agente 3 por el subsiguiente 30% y el último Agente por el 20% más rico, como se muestra en la **Tabla 5**. Además, todos los agentes cuentan con una dotación inicial de factores de producción, que ofrecen a los productores para financiar la compra de bienes y/o servicios nacionales e importados, ahorrar o pagar impuestos al gobierno. En el caso de los Agentes 1 y 2 no ahorran porque no tienen ingresos por capital. Es importante mencionar que la pertenencia a un determinado grupo de ingreso está dado y aunque el ingreso de los grupos se incremente (o disminuya) con el PIB, los individuos no migran de un grupo a otro.

Tabla 5. Grupos por nivel de ingreso

Categoría	Ingreso
Agente 1	Dos deciles inferiores: 1 – 2
Agente 2	Deciles 3 – 5
Agente 3	Deciles 6 – 8
Agente 4	Dos deciles superiores: 9 – 10

Fuente: Ibararán et al., (2006).

Para cada grupo de consumidores, c , la utilidad total está dada por la siguiente ecuación:

$$U_c = \sum_t U_{c,t} (X_{c,t} R_{c,t}) * (1 + \rho)^{-t} \quad t = 1, \dots, n \quad (\text{ec. 3})$$

donde U_c es la función de utilidad total del agente a lo largo de los n periodos, $U_{c,t}$ es la utilidad derivada del consumo de bienes y servicios ($X_{c,t}$) y ocio ($R_{c,t}$) en el periodo t , y donde ρ es la tasa de preferencia intertemporal. Cada U_c es una función de utilidad de

elasticidad de sustitución constante anidada definida para todos los bienes de consumo y para todos los periodos. El valor de la utilidad de cada grupo de consumidores está dado por la sumatoria del valor del consumo y del valor del ocio (Ballard et al., 1985). Cada consumidor enfrenta la siguiente restricción presupuestal:

$$\sum_{t=1}^n \left(\mathbf{TG}_{c,t} + \mathbf{TF}_{c,t} + (\mathbf{P}_{L,t} * \mathbf{L}_{c,t}) + (\mathbf{r} * \mathbf{K}_t * \mathbf{S}_{c,t}) \right) = \sum_{t=1}^n \left((\mathbf{INV}_t * \mathbf{S}_{c,t}) + (\mathbf{P}_{I,t} * \mathbf{X}_{c,t}) + (\mathbf{P}_{L,t} * \mathbf{R}_{c,t}) \right) \quad (\text{ec. 4})$$

El lado izquierdo de la **ec.4** representa los ingresos que obtienen los consumidores y el lado derecho son los gastos que realizan. $\mathbf{TG}_{c,t}$ y $\mathbf{TF}_{c,t}$ representan las transferencias que dan el gobierno y el sector externo a los consumidores, $\mathbf{P}_{L,t}$ es el precio del trabajo y \mathbf{r} es la renta del capital. \mathbf{K}_t es el nivel del acervo de capital en el periodo t , $\mathbf{S}_{c,t}$ es la proporción del capital total que pertenece al consumidor c . En el lado derecho, es decir la parte de los gastos \mathbf{INV}_t representa la inversión total en el periodo t ; y $\mathbf{P}_{I,t}$ es el vector de precios de los bienes de consumo. Así, esta restricción presupuestaria (**ec. 4**) establece que todo lo que el agente recibe, por transferencias gubernamentales o del sector externo, o en forma de ingreso (por su trabajo y/o ganancias de la renta del capital) deben ser usado para ahorrar, para consumir bienes y servicios.

Finalmente, para establecer al mismo tiempo el nivel de demanda de cada uno de los bienes de consumo, la oferta de trabajo y el nivel de ahorro e inversión, se maximiza la función de utilidad (**ec.3**) sujeta a la restricción presupuestal (**ec.4**).

El Gobierno

El gobierno se modela como un agente separado y responde ante cambios en los precios de los bienes que compra (Ballard et al., 1985). El agente gubernamental se modela a partir de la siguiente función de utilidad Cobb- Douglas como se muestra en ecuación 5.

$$G_u = x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} x_i^{\alpha_i} x_n^{\alpha_n} \quad (\text{ec.5})$$

$$\sum_{i=0}^n \alpha_i = 1$$

$$E = \prod_{i=1}^n P_i^{\alpha_i}$$

donde G_u es la utilidad del gobierno y α_i representan la proporción del ingreso que destina al consumo de cada bien. En otras palabras, la utilidad gubernamental dependerá de los bienes que se producen y consumen en la economía nacional; donde las x_i representan las unidades del bien comprado por el gobierno. E es el gasto total del gobierno; y $P_i^{\alpha_i}$ son los precios de mercado de los bienes producidos adquiridos por el gobierno.

El gobierno se encarga de redistribuir lo recaudado a través de subsidios (exógenos) que brinda a determinados consumidores y productores de tal manera que gasta todo su ingreso. Por lo tanto, se asume que el gobierno no ahorra. Dado que el ingreso que obtiene el gobierno proviene de diferentes fuentes, Ibararán et al, (2008) recomienda distinguir los ingresos que se recaudan por parte de PEMEX y CFE de aquellos que se obtienen de los otros sectores productivos. Lo anterior se propone para analizar el efecto de medidas específicas sobre las distintas fuentes de recaudación.

El modelo maneja impuestos *ad valorem* los cuales incluyen el impuesto al ingreso personal, al trabajo, al capital, a la propiedad, a las ganancias, al valor agregado, a las ventas y aranceles a las exportaciones e importaciones.

El sector externo

El comercio internacional se modela por medio de un agente extranjero. En el mercado internacional cada sector productivo puede exportar o importar. El nivel de importaciones individuales puede cambiar debido a alteraciones en los precios relativos. Las exportaciones son exógenas con un crecimiento constante, estas responden también a cambios en los precios y pueden modificarse por cambios en los costos de producción de los distintos sectores productivos. Por otro lado, los pagos de las transferencias externas se determinan dentro del modelo, haciendo que el modelo se cierre.

En el modelo el tipo de cambio se determina por la interacción del capital disponible para uso externo, de las exportaciones y las importaciones. Además, se considera que existe sustitución imperfecta entre bienes producidos en el exterior y los bienes producidos dentro del país.

Ahora bien, el equilibrio de la balanza comercial está dado por la siguiente ecuación:

$$\sum_{t=1}^n (P_{m,t} * IM_{j,t}) = \sum_{t=1}^n (P_{j,t} * EX_{j,t}) + \sum_{t=1}^n (TF_{c,t}) \quad t = 1, \dots, n \quad (\text{ec.6})$$

donde $IM_{j,t}$ es un vector que representa la cantidad importada de cada uno de los sectores, $P_{m,t}$ es el vector de precios de los bienes importados (incluyendo aranceles), $EX_{j,t}$ es el vector de productos exportados, $P_{j,t}$ es el vector de precios de los bienes exportados y

$TF_{c,t}$ es el nivel de transferencias extranjeras en cada periodo del tiempo las cuales pueden ser positivas, negativas o cero.

4.3. Adecuaciones del modelo

Crecimiento de la mano de obra y formación de capital

El modelo considera que el crecimiento de la oferta laboral es ocasionado por cambios tanto en la población como en el acervo de capital. Los cambios en la población son exógenos y constantes en el periodo de estudio. De lo anterior se desprende la ecuación 7 que representa el crecimiento de la fuerza laboral.

$$L_{t+1} = L_t(1 + \gamma) \quad (\text{ec.7})$$

donde γ refleja conjuntamente el crecimiento de la población y el crecimiento de la productividad del trabajador promedio a lo largo del tiempo (Barro y Xala-i-Martin, 1995). La función de oferta de trabajo (ec.7) se obtiene multiplicando la fuerza de trabajo efectiva por el número de horas que cada trabajador ofrece.

En este modelo el capital que entra a cada sector adquiere características de permanencia con respecto a ese sector. Al inicio se supone que el capital nuevo puede combinarse con otros insumos para poder producir bienes finales. Sin embargo, a lo largo del tiempo, el capital que se destinó a un sector particular se vuelve específico a ese sector y por lo tanto resulta difícil combinarlo después con otros insumos productivos para producir de forma diferente. Básicamente, la formación de capital se modela de acuerdo a la teoría del capital, la cual se representa a través de un sistema de tres ecuaciones ec.8, ec.9 y ec.10.

$$P_{A,t} = P_{k,t+1} \quad t=1, \dots, T$$

(ec.8)

donde $P_{A,t}$ es el precio total ponderado del consumo, y $P_{k,t+1}$ es el precio del capital del siguiente período. Esto significa que el costo de oportunidad por adquirir una unidad de capital en el próximo período es una unidad de consumo en el período actual.

$$P_{k,t} = (1 + r_t) P_{k,t+1} \quad t=1, \dots, T \quad (\text{ec.9})$$

En la **ec.9** el precio del capital en el periodo t es $P_{k,t}$ y deberá ser igual al valor presente de la renta del capital en el periodo t más el precio neto del capital en el siguiente periodo. Finalmente se presenta la **ec.10**.

$$K_{t+1} = K_t(1 - \Delta) + INV_t \quad t=1, \dots, T \quad (\text{ec.10})$$

donde Δ representa la tasa de depreciación de la economía e INV la inversión bruta. Por lo tanto, el acervo de capital en el siguiente periodo deberá ser igual al acervo neto de capital en el periodo actual más la inversión. Al resolverse conjuntamente las ecuaciones **ec.8**, **ec.9** y **ec.10** se asegura que el crecimiento económico sea consistente con el comportamiento de maximización de beneficios de los inversionistas.

Agotamiento del petróleo y mercados imperfectos

En todas las simulaciones se consideró que los recursos petroleros son finitos y que están sujetos a agotamiento. Además, se construye el monopolio existente en el sector petrolero y el de generación de energía. Lo anterior se hace a través de un esquema de fijación de precios. Este esquema fija un sobreprecio en los sectores de energía,

estableciendo que el precio de los bienes producidos por estos dos sectores sea mayor que el ingreso marginal. Lo anterior se realiza para poder reflejar la existencia de poder de mercado. Este hecho es relevante porque al ser sectores grandes, los cambios que se generen en sus niveles de producción y de precios afectarán a la producción agregada y por lo tanto a la economía nacional.

También el modelo asume que México es tomador de precios en el mercado mundial del petróleo. Por lo cual PEMEX es precio-aceptante en el mercado internacional de crudo.

Condiciones terminales del modelo

Desde un inicio se determinó que el modelo simularía el comportamiento de la economía mexicana hasta el año 2030. Entonces, dado que el modelo se resuelve para un número finito de periodos, los consumidores ahorran en el periodo actual para poder consumir en el siguiente periodo. Al llegar al último periodo los consumidores cambiarán sus patrones de consumo gastando todo su ingreso. Sin embargo, para que esto no ocurra Lau, Puhkle y Rutherford (1997) proponen aplicar una serie de condiciones terminales en el modelo de equilibrio general computable. Los autores proponen básicamente dividir el problema en dos sub-problemas, uno definido para el período finito y otro para un periodo infinito. En ambos problemas se incorpora una variable que restringe el crecimiento de la inversión en el periodo final. Lo anterior se hace para asegurar que el crecimiento de la inversión sea igual al crecimiento del ingreso (medido a través del PIB). Simulando así que el comportamiento en el periodo final sea similar al de periodos anteriores.

4.4. Fuentes de información y calibración del modelo

Algunos parámetros del modelo se actualizaron para poder representar de una forma más adecuada la dinámica económica de México y con ello realizar las simulaciones correspondientes a esta investigación. Así, el modelo con el que se cuenta actualmente está calibrado para el año 2003, para lo cual se consultaron diferentes fuentes nacionales e internacionales (**Tabla 6.**) Del INEGI se usó la Matriz Insumo-Producto del 2003. La información sobre los gastos del consumidor en bienes finales por categoría de ingreso de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares, 2002. Además, las importaciones, exportaciones y el gasto del gobierno se obtuvieron de la Matriz Insumo-Producto.

Tabla 6. Fuentes y tipo de información obtenida

Tipo de información	Fuente
• Matriz Insumo-Producto 2003	INEGI, 2003
• Gastos del consumidor en bienes finales por categoría de ingreso.	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2002 (INEGI, 2002)
• Importaciones, exportaciones, gasto del gobierno y estadísticas ambientales.	INEGI, varios años
• Tasas de crecimiento económico y depreciación de capital.	FMI, 2010 SHCP, 2009
• Estimaciones de producción de crudo y gas natural.	SENER, 2010 PEMEX, 2010a y 2010b

Fuente: Elaboración propia.

Específicamente se actualizaron las estimaciones de crecimiento económico y de depreciación del capital; la producción de petróleo y gas natural; las elasticidades entre insumos para cada sector productivo; así como las elasticidades precio de la demanda de

electricidad y del petróleo. Esta información se presenta a continuación y además se describe su uso dentro del modelo.

Crecimiento económico y depreciación del capital

Para hacer las simulaciones correspondientes fue necesario suponer distintos escenarios de tasas crecimiento económico y de depreciación del capital. Los valores que se encontraron para México, provienen de estimaciones realizadas por el Fondo Monetario Internacional (FMI, 2010) y por la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP, 2009) como se muestra en la **Tabla 7**. Sin embargo, para poder modelar un panorama a largo plazo sobre el comportamiento económico de México, de forma más adecuada tomamos los valores reportados por el FMI que son más conservadores. Lo anterior se fundamenta en que desde la apertura comercial de la economía mexicana ha crecido a una tasa promedio de 2.5% aproximadamente, por lo que es difícil justificar una tasa de crecimiento tan alta como la planteada por la SHCP.

Tabla 7. Estimaciones de crecimiento económico y de depreciación del capital.

Concepto	Valores	Fuente
Depreciación del capital	7.5% anual	FMI, 2010
Tasa de crecimiento económico	2002-2014: 3% anual 2015 en adelante: 2.5% anual	FMI, 2010
	2010: 3% anual 2011-2015: 4.2% anual (inercial) 2011-2015: 6% anual (con reformas)	SHCP, 2009

Fuente: Elaboración propia.

Elasticidades de sustitución entre insumos

Se actualizaron también las estimaciones en torno a las elasticidades de sustitución entre capital y trabajo para cada sector productivo. Para determinar los valores de las elasticidades se recurrió a la literatura existente, misma que se cita en la **Tabla 8**. Ahora bien, para representar la relación que existe entre insumos en los distintos sectores se utilizan las de elasticidades de sustitución. Cada elasticidad muestra que tan factible es sustituir capital por trabajo y viceversa, en función de la tecnología disponible en cada sector.

La elasticidad de sustitución puede tomar valores entre cero e infinito, por lo tanto entre más alto sea este valor, mayor posibilidad de sustitución entre insumos. Sin embargo, es importante mencionar que las elasticidades son parámetros críticos dentro del modelo, porque miden en qué proporción se puede sustituir un insumo por otro dentro del sector. Después de haber encontrado el valor de la elasticidad para cada sector productivo se realizaron pruebas de sensibilidad respecto a estos valores para corroborar que los resultados obtenidos fueran robustos, aún cuando se modificaran los valores de las elasticidades ligeramente. Por lo anterior, es importante resaltar el papel que tienen las elasticidades dentro del modelo de equilibrio general computable.

Se obtuvieron dichas elasticidades de diferentes estudios realizados para diferentes países, dado que no se existen estimaciones específicas para todos los sectores económicos en México. En particular para México, Salgado y Bernal (2007) realizaron un estudio donde estiman diferentes funciones de costos e incluyen como insumos de producción al capital (K), el trabajo (L), la electricidad (E) y el transporte (T) en el sector manufacturero

para los años 1996, 2000, 2003. Los valores reportados por los autores se presenta en el **Anexo A**. Sin embargo, el valor que se utilizó para el sector manufacturero fue un promedio de los tres años. Además, por su parte, Hueter (1997), realizó estimaciones para el sector primario en México (**Tabla 8**).

Tabla 8. Valores y referencias de elasticidades de sustitución entre capital y trabajo

Sector	σ_{KL}	Fuente	País
1. Agricultura	0.83	Hueter 1997	México
2. Ganadería	0.83	Hueter 1997	México
3. Forestal	0.83	Hueter 1997	México
4. Pesca	0.83	Hueter 1997	México
5. Minería	0.8	Balistreli, 2002	Estados Unidos
6. Electricidad	0.85	Fu, 2010	Estados Unidos
7. Químicos	0.80	Claro, 2003	Promedio de países
8. Refinación	0.94	Claro, 2003	Promedio de países
9. Transporte	0.98	Balistreli, 2002	Estados Unidos
10. Servicios	0.99	Balistreli, 2002	Estados Unidos
11. Manufacturas	0.93	Salgado y Bernal, 2007	México

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, para el caso de México únicamente se cuenta con estimaciones para cinco sectores productivos por lo cual, se procedió a buscar en otros estudios recientes que reportaran valores de las elasticidades de sustitución en los sectores de minería, electricidad, químicos, refinación, transporte y servicios. El estudio de Balistreli et al., (2002), estima elasticidades de sustitución entre capital y trabajo, para distintas industrias de Estados Unidos de manera muy desagregada como se muestra en la **Tabla A.3** del **Apéndice A**. Esto permitió obtener valores de elasticidad de sustitución para los sectores de minería, transporte y servicios. Para los sectores de refinación y químicos Claro (2003) reporta estimaciones sobre las elasticidades de sustitución para un promedio de países desarrollados y en desarrollo, donde se incluye a México. Finalmente Fu (2010) estimó la elasticidad de sustitución de electricidad para Estados Unidos. En síntesis todos los valores

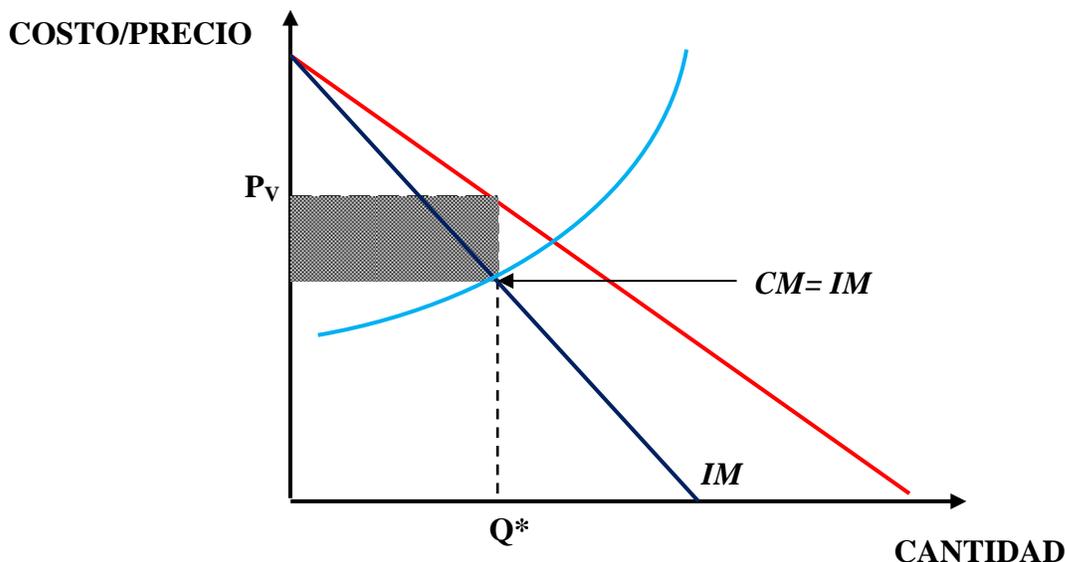
encontrados para los parámetros de las elasticidades de sustitución se reportan en la **Tabla 8**.

Elasticidad precio del sector energético

Una de las ventajas principales del modelo es que se pueden construir monopolios o sectores con poder de mercado en la economía. La razón por la que existen monopolios en el sector energético en México es básicamente regulatoria. Es decir, la Constitución Mexicana establece que son actividades exclusivas del estado por lo que no es posible que otras empresas entren en el mercado. De hecho, el poder monopólico reside en la prohibición expresa a la entrada a otras empresas.

En particular, para el caso de México el modelo contempla que hay monopolios (o mercados imperfectos) en el sector petrolero (PEMEX) y el de generación de energía (CFE). Ahora bien, en estos dos sectores monopólicos el precio de venta de sus productos está condicionado por el efecto de la elasticidad precio de la demanda. Esta elasticidad mide el grado en que varía la cantidad demandada ante variaciones en el precio del producto, además depende si la demanda del bien es elástica o inelástica. Lo anterior se refiere a que cuando la demanda es inelástica, como el caso de los bienes que venden PEMEX y CFE, resulta más difícil que se reduzca la cantidad demanda ante cambios en los precios del bien. Básicamente a pesar de que el precio suba los consumidores no reducirán la cantidad demanda tan fácilmente, generando así mayores utilidades para los monopolios.

Figura 11. Mercados imperfectos



Fuente: Elaboración propia.

En **Figura 11** se muestra de forma gráfica el mecanismo que siguen los mercados monopolistas o imperfectos. La curva de costo marginal para el monopolista es CM, esta es una función creciente de los insumos de producción: capital, trabajo, materiales y energía. La línea roja es la curva de demanda, que refleja la disposición de los consumidores para adquirir una unidad adicional del bien que producen los monopolios. Por debajo de la curva de demanda se observa la curva del ingreso marginal (IM).

Ahora bien, los monopolios maximizan sus beneficios donde las curvas de CM y IM se intersecan, es decir $CM=IM$. Una vez que se selecciona el nivel de producción Q^* , el precio al que se vende el producto a los consumidores (P_v) se determina sobre la curva de demanda. Por lo tanto, al vender al precio P_v , se observan las ganancias extraordinarias que obtienen los monopolios (área sombreada) al vender a un precio mayor que el CM.

Además, es importante recordar que las utilidades de estos dos sectores están en función de la elasticidad precio de la demanda de cada uno.

Específicamente para el caso de México se encontró el valor de la elasticidad precio de energía el cual fue -0.2 (Galindo, 2009). Por su parte, Samaniego (2009) reportó que la elasticidad precio de la energía para los países de América del Sur es de -0.146. Por lo tanto, los valores que presentan Galindo y Samaniego se aproximan ligeramente, lo cual sugiere que la cantidad que demandan los consumidores por energía no cambia tan fácilmente ante cambios en los precios de la energía en México².

Sin embargo, dada la falta de estimaciones para México respecto a las elasticidades precio del petróleo y el gas natural en particular se tuvieron que recurrir a otros estudios especializados para poder obtener dichos valores e incorporarlos al modelo BOYD-M, ya que son valores muy importantes para poder modelar el poder de mercado dentro del modelo. Entonces, con base en los trabajos de Dahl (1993) y Cooper (2003) se obtuvo el valor para la elasticidad precio de la demanda de petróleo para países en desarrollo. Por su parte, el trabajo que realizaron Barnstein y Griffin (2006) reportan la elasticidad precio de la demanda de la electricidad para Estados Unidos, específicamente calcularon que para el corto plazo la elasticidad presenta un valor de -0.2, mientras que para el largo plazo es de -0.32, como se muestra en la **Tabla 9**.

² Ver Anexo A, **Tablas A.4 y A.5**

Tabla 9. Elasticidades precio del sector energético

Estudio	Concepto y país	Valor
Galindo (2005)	Demanda de energía, México	-0.2
Samaniego (2009)	Demanda de energía, América del Sur	-0.146
Dahl (1993)	Demanda de petróleo, países en desarrollo	-0.7
Cooper (2003)	Demanda de petróleo, países en desarrollo	-0.5
Barnstein y Griffin (2006)	Demanda de electricidad, EUA	-0.2 corto plazo -0.32 largo plazo

Fuente: Elaboración propia.

Producción de petróleo y gas natural

El modelo BOYD-M permite modelar también la escasez de los recursos naturales, principalmente del petróleo y el gas natural. Lo anterior sugiere que la economía nacional verá limitada su producción, debido a que estos recursos naturales alimentan prácticamente el resto de las actividades económicas. Por eso es necesario contar con las proyecciones de producción de ambos bienes, como se muestra en la **Tabla 10**.

Tabla 11. Producción de petróleo y gas natural

PRODUCCIÓN DE CRUDO	
Periodo	Producción promedio
2003	3,371 mbd
2009	2,618 mbd
1er. Bimestre 2010	2,613 mbd
2008-2017	2,909 mbd
millones de barriles al día: mbd	

PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL	
Periodo	Producción promedio
2003	4,498 mmpc
2009	6,650 mmpc
1er. Bimestre 2010	6,976 mmpc
2008-2017	6,500 mmpc
millones de pies cúbicos: mmpc	

Fuente: Basada en SENER 2010, PEMEX 2010a y 2010b

4.5. Variables resultantes del modelo

Las variables del modelo son de dos tipos: las exógenas y las que se determinan endógenamente. La tasa de crecimiento y depreciación, el retorno de capital inicial, el crecimiento de la fuerza laboral son variables exógenas. Las variables determinadas en el modelo son el Producto Interno Bruto agregado y sectorial, la inversión, la acumulación de capital, la producción por sector, el consumo por sector y de los hogares, importaciones, exportaciones, precios relativos, salarios y tasas de interés, ingresos del gobierno vía recaudación y además aquella recaudación proveniente de PEMEX y CFE en concreto, gastos presupuestales del gobierno, y el ingreso salarial total. Al mismo tiempo, el modelo calcula las emisiones de CO₂ a partir del consumo de combustibles.

A pesar de que el modelo BOYD-M permite hacer simulaciones complejas en la aplicación de las políticas públicas, la calidad de los resultados depende en su mayoría de la información con la que se le alimenta el modelo. Como se observó en este apartado el modelo requiere mucha información actualizada. Además, requiere información precisa sobre la tecnología con la que se produce en México y la combinación de insumos que esto implica. Principalmente esta información proviene de la Matriz Insumo-Producto 2003. También necesita información sobre cómo se pueden sustituir los distintos insumos productivos para producir bienes intermedios y cómo es que se pueden fabricar bienes finales a partir de los insumos intermedios. Esto es, hay que incorporar estimaciones ya hechas de elasticidades precio y sustitución. Además, de tomar tasas de crecimiento económico y poblacional, así como de depreciación de capital y de extracción de petróleo y gas natural. Cada valor incorporado puede variar, y por esto se requiere realizar pruebas de

sensibilidad de los resultados del modelo, variando los valores encontrados y verificar que los resultados obtenidos sean robustos, y finalmente poder obtener las variables de interés.

Una vez construido el modelo, a continuación se presentan los diferentes escenarios que se simularon con el objetivo de analizar las políticas de mitigación propuestas por el PECC. Así se podrá visualizar desde un enfoque de equilibrio general tanto los beneficios como los costos de emprender dichas políticas para los años 2012, 2020 y 2030.