Gaceta de Economía Año 16 , Número Especial, Tomo I

El costo del cambio climático en México: análisis de equilibrio general de la vulnerabilidad intersectorial

Roy Boyd[*] *y María Eugenia Ibarrarán*[**]

Sumario

El cambio climático impondrá cada vez mayores costos a la sociedad y a los ecosistemas. El contexto socioeconómico y el modelo de crecimiento de México tienen ya inercias en el uso de los recursos y servicios ambientales que han resultado en el deterioro de éstos. Dado que el efecto del cambio climático repercutirá en la economía, es necesario analizar sus impactos en un marco de equilibrio general. Esto permitirá determinar el costo inherente del cambio climático, así como los costos y beneficios de la adopción de políticas de mitigación y adaptación, tanto a nivel agregado como a nivel sectorial. En particular, se modelan los impactos esperados en hidrología, agricultura, sector forestal, sector industrial y energético; y el impacto macroeconómico y distributivo atribuible al cambio climático. El efecto en el agua se incorpora al modelo de equilibrio general computable; ese efecto a su vez se traduce en impactos en otros sectores vía precios y cantidades de equilibrio. El escenario tendencial representa los patrones actuales de consumo y producción de la economía sin modificaciones en el clima. Al incorporar los efectos de sequías y las afectaciones correspondientes a nivel sectorial, se concluye que el costo del cambio climático al 2030 es del orden de 1.1 por ciento del producto interno bruto (PIB) y que estos costos son regresivos para la sociedad.

Clasificación JEL: Q54, Q51

1. Introducción

El cambio climático impondrá cada vez mayores costos a la sociedad y a los ecosistemas. El contexto socioeconómico de México y el crecimiento económico tienen ya inercias de uso de los recursos y servicios ambientales que presentan un problema serio. Esto, aunado al cambio climático, se reflejará en la economía vía

[*] Departamento de Economía, Ohio University.

[**] Departamento de Economía y Negocios, Universidad Iberoamericana Puebla.

una menor cantidad y calidad de recursos. Existen estimaciones del impacto esperado del cambio climático en distintos sectores; por ejemplo, en agricultura, por las sequías como se presenta en (Boyd e Ibarrarán [2008]; Gay [2003]). Por otra parte, se han hecho también esfuerzos para determinar los costos para la economía de introducir distintas combinaciones de medidas para mitigar el impacto de los gases de efecto invernadero (Ibarrarán y Boyd [2006]). Así, este estudio tiene como objetivo ampliar la modelación realizada para simular el efecto del cambio climático sobre toda la economía y determinar la vulnerabilidad intersectorial, así como el costo económico del cambio climático y cómo se traduce en impactos sectoriales, a partir de la Matriz Insumo-Producto 2003 (INEGI [2003]).

Este artículo se estructura de la manera siguiente: la sección 2 plantea cuáles son los principales efectos físicos del cambio climático así como la afectación sectorial esperada; la sección 3 describe el modelo de equilibrio general computable y las adaptaciones que se hicieron para captar los distintos efectos del cambio climático; la sección 4 presenta los escenarios simulados con el modelo y, a partir de ellos, se determina el costo del cambio climático y sus efectos sectoriales; la sección 5 plantea las conclusiones y las implicaciones de política pública.

2. Impacto del cambio climático

México no está exento de sufrir impactos del cambio climático. Gay [2003] y Tejeda [2007] hacen un recuento de los efectos esperados para el caso de México. En general, se espera que el cambio climático tenga un conjunto de efectos ambientales y económicos. Su ubicación, así como la presencia de diferentes regiones climáticas hacen ciertas regiones más propensas a efectos directos e indirectos sobre la actividad económica. . Su ubicación general, así como la presencia de diferentes regiones climáticas hacen ciertas regiones más propensas a efectos directos e indirectos en actividad económica, dadas la densidad poblacional, la disponibilidad de agua y la temperatura promedio.

Para evaluar estos impactos, se han llevado a cabo estudios de vulnerabilidad con el objetivo de analizar las consecuencias de la duplicación de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera. Se han desarrollado dos modelos de circulación general de la atmósfera para hacer predicciones ambientales para México: el modelo Canadiense de Cambio Climático (CCC) y el modelo del

Laboratorio de Dinámica Geofísica de Fluidos (GFDCL-R30).[1] En ambos modelos se asume que la duplicación del CO2 atmosférico es respecto a sus niveles actuales y los impactos resultantes son reportados por Gay [2003]. Los resultados de ambos modelos indican que habrá una modificación sustancial de los patrones generales de precipitación, así como de las zonas de captación hidrológica. La recarga de mantos acuíferos declinará y se incrementarán tanto las sequías como la desertificación. Los ecosistemas regionales se verán alterados significativamente y esto pudiera resultar en una reducción drástica del territorio cubierto por bosques templados y tropicales. Los sectores industriales y energéticos encararán daños potenciales en todo el territorio, aunque serán más vulnerables en el centro y norte del país, así como en los estados de la costa del Golfo de México.

En conjunto, México verá tanto un incremento en temperatura como en la radiación solar recibida. Los modelos, sin embargo, no son tan concluyentes respecto a cambios en la precipitación total. El modelo CCC predice una reducción en la precipitación agregada, en tanto el modelo GFDL-R30 predice un incremento modesto. Se espera que estos cambios tengan un efecto profundo en los patrones climáticos y afecten significativamente la economía.

Por otra parte, debido a la localización subtropical de México, es altamente probable un aumento en la frecuencia, grado y duración de sequías extremas, más allá del promedio mundial, asociadas con el cambio climático. Este aumento en la sequía es quizá el efecto esperado del cambio climático más importante para México, con impactos diferenciados en los distintos sectores.

Hidrología – Hernández *et ál*. [2003] reportan que una duplicación en los niveles de CO_2 causaría que entre un 36 y 39 por ciento del territorio de México enfrente condiciones prolongadas de sequía severa. Los recursos hidrológicos se deteriorarían debido a que el escurrimiento para recargar fuentes de agua subterráneas se vería reducido (Maderey y Jiménez [2003]). Esto, a su vez, tendría efectos negativos en el volumen de agua utilizable y reduciría las reservas existentes de agua poniendo en riesgo la agricultura, la ganadería, la silvicultura y la estabilidad de los ecosistemas, así como la vida urbana, tanto por escasez de agua como por la proliferación de enfermedades transmitidas debido a su uso.

[1] Los Modelos Circulación General así como el CCC y el GFDL-R30 son descritos en Gay [2003].

Agricultura – La sequía continua tendrá su mayor impacto en agricultura y silvicultura. Mientras la proporción del PIB proveniente de la agricultura es menor al 4 por ciento, ésta emplea a más del 15 por ciento de la población (INEGI [2005]); en su mayor parte agricultores de subsistencia. Actualmente, sólo el 16 por ciento de la tierra es adecuada para la agricultura. De entre las 20 a 25 millones de hectáreas adecuadas para la agricultura, 17 millones son alimentadas por lluvia y 4.8 millones son irrigadas (CNA [2001]). Por otro lado, los más pobres de México sobreviven de productos no maderables del sector forestal.

La producción agrícola está constantemente amenazada debido a la alta probabilidad de sequía. En 1994 México entero fue afectado por la sequía, siendo dañadas más de 185 mil hectáreas. Siguieron inundaciones y heladas y todas las regiones del país se vieron afectadas. En 1996 y 1998 tuvieron lugar dos sequías de gran envergadura, una vez más afectando significativamente la producción de alimentos. Una reducción mayor en la productividad, debido al cambio climático, tendrá al menos tres efectos. Primero, la importación de alimentos aumentará creando así un problema de balanza de pagos; segundo, afectará de manera desproporcionada a los más pobres, ya que son precisamente ellos los que están, en su mayor parte, empleados en estos sectores y gastan una proporción importante de su presupuesto en comida y servicios alimenticios; tercero, los campesinos pobres no podrán subsistir de su producción.

Sector Forestal – Al haber cambios en la disponibilidad de agua y en la temperatura, cambiará la constitución de los bosques en México. Los bosques templados fríos y los semi-cálidos serán los más sensibles al cambio climático y su cobertura se reducirá. Al mismo tiempo, los bosques tropicales se extenderán al norte. Los bosques húmedos y sub-húmedos también se expandirán en algunas regiones beneficiándose de incrementos en la precipitación (Villers y Trejo [2003]).

Sector Industrial y Energético – Aun cuando la industria es vulnerable al cambio climático, estos sectores tienen una gran capacidad de adaptación (Sánchez y Martínez [2003]). Cambios en la temperatura y niveles de precipitación pueden, sin embargo, reducir la disponibilidad del agua e incrementar sus costos de producción, aumentando también los costos de producción de bienes finales. Los requerimientos de enfriamiento y calefacción también se verán afectados por el cambio en la temperatura. Algunas industrias se verán mucho más afectadas que otras, dependiendo de su uso de agua y de la necesidad de enfriamiento tanto de las instalaciones como de la producción.

Sánchez y Martínez [2003] proponen que el efecto del cambio climático en un sector económico se refleja vía una reducción en su participación en el PIB, debido a una menor productividad y/o por medio de mayores costos de producción.

Minería – Es el sector con mayor vulnerabilidad porque la mayoría de las operaciones se encuentran en áreas sumamente áridas del norte de México con baja disponibilidad de agua y múltiples usos alternativos. Aumentos en temperatura de aproximadamente 3°C y una reducción en la precipitación exacerbarán los problemas para este sector, bajo ambos modelos.

Industria Pesada – Es relativamente vulnerable a temperaturas altas y bajos niveles de precipitación, especialmente en el norte y centro del país. Los efectos específicos dependen del modelo utilizado ya que pronostican distintos niveles de precipitación.

Producción de combustibles fósiles – Puede sufrir por las sequías debido a que algunas de las refinerías se encuentran en áreas de alta sensibilidad climática al localizarse en las regiones del país donde pudieran surgir problemas de abasto de agua, debido a la reducción del agua disponible y la competencia de la agricultura, población urbana y uso industrial de dicho recurso (Sánchez y Martínez [2003]). Éste es el caso de las refinerías de Salamanca, Tula y Poza Rica. Las demás refinerías no se ven expuestas a estas condiciones. Lo que es probable, es que el aumento en el nivel medio del mar afectará la producción de las plataformas marítimas (bajo ambos modelos), aumentando los costos de extracción.

Generación eléctrica - La sensibilidad de la producción de energía eléctrica ante la sequía es muy alta en el norte y noroeste del país y tanto las plantas hidroeléctricas como las termoeléctricas pudieran sufrir de pérdida de producción cuando las fuentes de agua sean menos abundantes y su flujo menos constante. La vulnerabilidad de las plantas productoras de energía ante sequías severas es alta en el centro, centro oeste y centro este del país.[2] En general, el sector eléctrico se

[2] Ciertamente, los niveles bajos de precipitación han tenido un papel relevante en la producción de electricidad en el pasado en toda América Latina. En 2001, por ejemplo, Brasil ha enfrentado reducciones críticas de la electricidad debido a las lluvias insuficientes, aunado a inversión limitada en el sector energético del país. Para el 2000, el consumo de electricidad se incrementó 58 por ciento respecto a sus niveles de 1990, en tanto la capacidad instalada de producción creció solamente en 32 por ciento durante el mismo periodo. En junio de 2001, el gobierno implementó un programa de

ve afectado en mayor medida en el modelo CCC que en el GFDL-R30, debido a que el primero pronostica menores niveles de precipitación que el segundo.

Impacto macroeconómico y distributivo – Tanto los eventos climáticos extremos, como otros fenómenos debidos al cambio climático, se encuentran entre los eventos más dañinos que pueden afectar al país, ya que típicamente impactan la capacidad productiva así como su infraestructura. Además, al contraerse el crecimiento económico, empeora la balanza comercial. Esto hace también que se incremente la deuda del gobierno a todos los niveles, aumentando la pobreza y entorpeciendo el desarrollo económico (Rasmussen [2004]). Los desastres que pudieran resultar del cambio climático, por su parte, tienen un efecto desproporcionalmente adverso en los pobres y, en consecuencia, un impacto regresivo en la distribución del ingreso, pero aun así, tienen impactos sobre la población de altos ingresos y, sobre todo, sobre el gobierno. México es altamente propenso a estos retrocesos debido a factores estructurales y a que los efectos en su economía pueden ser duraderos (Ibarrarán *et ál*. [2007]).

3. Modelo de equilibrio general computable: estructura y adaptaciones

Para hacer el análisis del impacto del cambio climático sobre la economía mexicana, se emplea un modelo dinámico de Equilibrio General Computable. La afectación al agua se incorpora al modelo por medio de restricciones en la cantidad disponible de agua y esto, a su vez, se traduce en impactos en otros sectores vía precios y cantidades de equilibrio (Decaluwe *et ál*. [1999]; Diao y Roe [2003]; Berritella *et ál*. [2007]). La principal ventaja del modelo es que permite tomar en consideración las interrelaciones entre economía y cambio climático, así como la retroalimentación entre sectores. Además, este modelo está especialmente estructurado para considerar rigideces salariales, así como competencia imperfecta en el sector energético, situaciones que hoy día existen en México.

El modelo que se utiliza fue desarrollado por Boyd y ha sido usado recientemente, entre otras aplicaciones, para cuantificar el impacto de la sequía sobre el sector agropecuario, forestal e hidroeléctrico principalmente (Boyd e

---

racionamiento de energía, el cual previno apagones importantes. Dicho programa terminó el 1 de marzo de 2002 conforme aumentó la capacidad de producción. Colombia se enfrentó a una crisis similar en la década de los noventa (EIA [2005]).

Ibarrarán [2008]). Los resultados muestran la importancia de modelar eventos climáticos extremos mediante un marco de mercados múltiples, ya que dichos sucesos tienen un impacto simultáneo en distintos sectores económicos.

3.1. Breve descripción del modelo

En un modelo de la economía en su conjunto, las acciones y las interacciones de todos los agentes económicos están descritas mediante el uso de varias funciones de utilidad y de producción. Específicamente, cada sector de la economía produce bienes y/o servicios de acuerdo a una función de producción anidada de elasticidad de sustitución constante (CES).[3] En este tipo de función, la producción sectorial es especificada como una función (no lineal) del capital, trabajo e insumos materiales provenientes de otros sectores. Además, en este caso, la producción de algunos sectores está también en función del agua.

El modelo incluye un total de cuatro agentes de consumo agrupados de acuerdo a su ingreso. Cada uno de estos agentes 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. Cada función de utilidad se especifica con una función CES anidada, como la producción. El modelo cuenta con un sector gubernamental y un sector externo. Existe crecimiento de la mano de obra de acuerdo al crecimiento poblacional así como acumulación neta de capital (Ibarraran y Boyd [2006]). Para ello, el modelo empleado es dinámico y cubre 30 años.

Las variables determinadas en el modelo son 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 y gastos presupuestales del gobierno y el ingreso salarial total. La tasa de depreciación y el retorno de capital inicial son tomados como exógenos, de la misma forma que la tasa de crecimiento de la fuerza laboral. Además, se estiman las emisiones de CO_2 equivalente bajo cada escenario.

El modelo está actualmente calibrado para 2003 usando diferentes fuentes. Se uso la Matriz Insumo-Producto elaborada por INEGI para el 2003. La información sobre los gastos del consumidor en bienes finales por categoría de ingreso es de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares, 2002,

[3] Para ver un tratamiento matemático detallado de lo que esto implica, ver Ibarrarán y Boyd [2006].

publicada por el INEGI. La información sobre importaciones y exportaciones fue obtenida de la Matriz Insumo-Producto 2003 al igual que el gasto del gobierno. Por último, las elasticidades de sustitución entre insumos para el sector de manufactura se han tomado del estudio realizado por Salgado y Bernal [2007]. Las fuentes de datos se pueden solicitar a los autores.

3.2. Sectores

El modelo es a nivel nacional y tiene trece sectores productivos y catorce bienes de producción, dado que el petróleo y el gas se producen conjuntamente dentro de un mismo sector (Cuadro 1). Además, se ha añadido un sector de agua como proxy del capital natural. Esto permite analizar el impacto del capital natural y del agua sobre el proceso productivo en los diferentes sectores. De esta manera, se puede cuantificar el efecto que trae consigo, por ejemplo, una sequía prolongada que afecte a la economía mexicana. Así, el capital natural, junto con el capital tradicional, el trabajo y materiales, conforman los insumos del modelo.

El agua es un sector que no se produce por el trabajo ni por el capital directamente. El capital natural es pues un insumo productivo que se utiliza para la producción del sector agua y es asignado a los consumidores por medio de un mayor bienestar social; con ello se combinan explícitamente procesos económicos y naturales. Para determinar el valor del agua en los distintos sectores, se siguió la metodología de Diao y Roe [2003], Decaluwe *et ál*. [1999], Berritella *et ál*. [2007] y lo planteado en un trabajo de la ONU sobre la valoración de recursos de agua (ONU [2006]).

3.3. Adaptaciones del modelo: petróleo y mercados imperfectos

En las corridas relevantes del modelo (tendencial y cambio climático) se asume que los recursos petroleros son finitos y que están sujetos a agotamiento después de algún tiempo, de acuerdo a las estimaciones de agotamiento existentes.

Otra modificación diseñada para obtener realismo empírico es la inclusión de un sobreprecio en los sectores de energía a manera de reflejar la existencia de poder de mercado. Dado que el sector petrolero (PEMEX) y el de la generación de energía (CFE) son monopolios del estado, se hace una manipulación técnica para que el precio de estos dos sectores sea mayor que el ingreso marginal.

Cuadro 1

Sectores productivos y bienes producidos

Sectores del modelo	Clasificación SCIAN
Agricultura y Ganadería	
Pesca	114
Forestal	113
Agricultura	111
Ganadería	112
Manufactura	
Otros manufactura	23, 31, 32, 33 (excepto: 325, 326, 3273, 324)
Químicos y plásticos	325 y 326
Minería	212
Agua	222
Petróleo y gas natural	211, 213111
Transportes	48
Electricidad	221
Servicios	43, 46,491, 492, 493, 51, 53, 54, 55, 56, 61, 62, 71, 72, 81
Refinería	324

Fuente: Elaboración propia, con base en SCIAN 2002.

4. El costo del cambio climático: los resultados

Una vez construido el modelo, se corrieron tres diferentes escenarios para el periodo 2003-2030. En general, los resultados de las variables económicas agregadas se presentan en el Apéndice, tanto en el Cuadro Resumen como en los cuadros de resultados de producción y consumo por sector. También se presenta el cambio en emisiones bajo los distintos escenarios. Los resultados se reportan para el año 2020 (mediano plazo) y 2030 (el año terminal del modelo), tanto en números absolutos (en dólares de 2005), como en desviación porcentual con respecto al escenario de referencia (que no se muestra).

Escenario de referencia. El primer escenario consistió simplemente en la calibración del modelo. Esto comprueba que el modelo es capaz de replicar los datos del año base y que todos los sectores muestran una misma senda de crecimiento constante durante el periodo de análisis.

Escenario tendencial y el efecto del cambio climático. Para estimar el costo del cambio climático se corrieron dos escenarios, el tendencial, que representa seguir como hasta ahora, sin modificaciones en el clima, y el escenario con cambio climático, representado básicamente por medio de sequías y las afectaciones correspondientes a nivel sectorial.

En el escenario tendencial (escenario 1), se asume la situación actual sin el impacto del cambio climático. En este caso, el nivel de producción de petróleo aumenta de acuerdo a la tasa de crecimiento económico hasta el año 2008, pero de ahí en adelante la cantidad producida de petróleo se mantiene constante en 5.2 millones de barriles diarios. Esto se debe a que el agotamiento de las reservas actuales hará imposible que la extracción aumente al ritmo del resto de la economía si no hay inversiones masivas de PEMEX en exploración y perforación. Además, al poner como tope una producción de 5.2 millones de barriles por día, los resultados de este modelo corresponden exactamente a las prospectivas de largo plazo de PEMEX (ver Secretaría de Energía [2000]). Mantener constante la extracción al nivel de 2008 es pues mucho más realista que suponer que esta crece a la tasa de crecimiento de la economía. También se asume que PEMEX y CFE son monopolios públicos con la capacidad de fijar precios. Éstas modificaciones hacen que este escenario sea mucho más realista y por tanto es el indicado para medir el impacto del cambio climático.

Analizando primero el nivel agregado de uso de recursos naturales, se puede observar que, como era de esperarse, el nivel de producción de petróleo se reduce de manera importante en 48 por ciento con respecto al total final reportado en el escenario de referencia de crecimiento estacionario. Estas reducciones no sólo están restringidas a la producción de petróleo. Dado que el petróleo es el principal generador de CO_2, las emisiones de este gas también se reducen. Por tanto, el proceso natural de agotamiento del petróleo puede limitar de alguna manera las emisiones de gases de efecto invernadero, e ignorar dicho agotamiento podría resultar en una sobre estimación de las emisiones.

Dado que el petróleo es un insumo directo o indirecto de otros sectores económicos, una reducción en la producción de petróleo provoca una caída importante en la producción de las refinerías, la manufactura, químicos y electricidad. También hay una reducción en la producción en el sector transporte. La energía es esencial para toda la producción y al aumentar los precios de la energía, también suben los costos de transporte. Los transportistas se ven forzados a reducir su producción y los productores que tienen altos costos se ven obligados a abandonar la industria. Entonces, aun sin políticas de mitigación del cambio

climático, hay incrementos en costos de los factores que van a presionar a los distintos sectores de la economía mexicana. Esto deberá tomarse en cuenta por los tomadores de decisiones que intentan reducir los niveles de emisiones. Dado que el petróleo desempeña un papel tan vital en la economía mexicana, hay una reducción importante en el PIB (ver Cuadro Resumen), el nivel final (*i.e.* 2030) de inversión, el bienestar de los cuatro agentes y el valor final del capital.[4] Éste es pues el escenario tendencial. Como tal, representa la mejor estimación de lo que ocurrirá en la ausencia de cualquier modificación a raíz del cambio climático. Por tanto en el escenario que a continuación se presenta se medirán los cambios como la variación porcentual con respecto a este escenario tendencial.

El escenario con cambio climático (escenario 2), tiene las mismas características que el escenario 1, es decir, agotamiento del petróleo e imperfecciones en el mercado energético y en el mercado laboral, pero se añade sequía de manera consistente con Boyd e Ibarrarán [2008]. En ese trabajo la sequía se modela según Liverman y O'Brien [1991], que determinan que el cambio climático traerá condiciones de mayor temperatura y menor precipitación en México. Esta información se combinó con la modelación hecha por Rosenberg [1993] (*MINK Study*). En este escenario se introduce el efecto de la sequía en los sectores donde es más severa, es decir, en agricultura, ganadería, sector forestal y en la generación de energía mediante hidroeléctricas. Para simular sequías recurrentes, en este caso se plantea que sucede en dos momentos: 2010 a 2015 y de 2019 a 2030. La sequía se modela por medio de una reducción en la productividad de los sectores más afectados.

A partir de estos dos escenarios se puede calcular el costo del cambio climático agregado para la economía. En principio, el cambio climático implica una reducción del PIB con respecto al escenario tendencial equivalente a 1.1 por ciento anual. Asimismo se reducen la inversión y el acervo final de capital mientras se reduce la producción de los sectores primarios. Este costo tiene un claro efecto en bienestar que, además, es regresivo al reducir proporcionalmente más el bienestar de los grupos de menores ingresos debido a que su consumo se centra fuertemente en bienes agropecuarios. Como es de esperarse, los sectores productivos más afectados son la agricultura en más de 11 por ciento, la ganadería en 10 por ciento y el sector forestal, en 15 por ciento; pero en general todos los

[4] Este valor junto con el del bienestar de los agentes y el gasto de gobierno se calcula en dólares de

sectores productivos sufren caídas debido a su relación con estos sectores primarios. Solamente el sector petrolero muestra un pequeño incremento en su producción, debido a su vocación exportadora y, mientras más importaciones son requeridas en el sector agrícola para contrarrestar el efecto negativo de la sequía, se exporta más petróleo para tener divisas y poder financiar estas importaciones. Finalmente, por el lado del consumo, para 2030 el consumo de todos los sectores se ve reducido, sobre todo el de los productos alimenticios.

4.1. Impacto de los distintos escenarios sobre las emisiones

Las emisiones en el escenario tendencial son bastante más bajas que en el escenario de referencia, reflejando que PEMEX y CFE pueden usar su poder de mercado para incrementar precios, además de que habrá un agotamiento de las reservas de petróleo mexicanas.

En el escenario con cambio climático las emisiones son un poco más altas para el año 2020. En 2030, sin embargo, son un poco más bajas. El incremento inicial en emisiones se debe a que con la sequía se necesita una mayor producción de petróleo para incrementar la entrada de divisas para financiar las importaciones de productos agrícolas. En 2030, la economía ya se ha desacelerado lo suficiente y hay una menor demanda por energía.

5. Conclusiones

En cuanto a los escenarios simulados, lo más interesante es la estimación del costo del cambio climático, que es del orden de 1.1 por ciento del PIB anual, como se observa en el 2030. Además, otra aportación importante es la regresividad de este costo, donde los pobres pierden mayor bienestar que los ricos.

A pesar de que por cuestiones de espacio no se pueden presentar, existen una gran cantidad de políticas que pueden implementarse con el objeto de mitigar las emisiones y para facilitar la adaptación al cambio climático. Las políticas de mitigación de emisiones que van desde el uso de impuestos al combustible y a los autos y el cambio tecnológico que promueva la eficiencia energética, hasta impuestos al contenido de emisión de los combustibles fósiles y el establecimiento de mercados de emisiones (Ibarrarán y Boyd [2006]). Las políticas de adaptación están principalmente enfocadas a la conservación de los bosques y a un menor consumo de agua en el sector agrícola, por ejemplo

2005.

(Ibarrarán *et ál*. [2009]). La mayor parte de las opciones parecen ser factibles de aplicarse porque los costos para la economía son relativamente bajos, tienen también un bajo costo en bienestar y muchos de ellos son progresivos. Además van en el sentido correcto en cuanto a la reducción de la ineficiencia económica y el uso racional de recursos, tanto agua como energéticos, contribuyendo por tanto a la protección ambiental.

6. Referencias

Berritella, M., Hoekstra, A.Y Roson, R. y Tol, R. (2007) "The Economic Impact of Restricted Water Supply: A Computable General Equilibrium Analysis", *Water Research*, Vol.41, pp. 1799-1813

Boyd R. y Ibarrarán, M.E. (2008) "Extreme Climate Events and Adaptation: An Exploratory Analysis of Drought in Mexico", *Environmental and Development Economics*. Versión electrónica.

CNA (2001) "Plan Nacional Hidráulico 2001-2006", Comisión Nacional del Agua, México.

Decaluwé, B., Pantry, A. y Savard, L.(1999) "When water is no longer heaven sent: Comparative pricing analysis in an AGE model", *Documento de trabajo*. Universidad de Laval.

Diao, X., y Roe, T. (2003) "Can a water market avert the double-whammy of trade reform and lead to a win-win outcome?", *Journal of Environmental Economics & Management*, Vol. 45, pp. 708-723.

Energy Information Administration (EIA-DOE) (2005), Disponible en internet: http://www.eia.doe.gov. Consultado: Mayo 2008.

Gay, Carlos (ed.) (2003) "México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país", Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad Nacional Autónoma de México.

Hernández, M.E, Torres, L.A. y Valdez (2003) "Sequía meteorologica" en Gay, Carlos (ed.) *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del paí,*. Secretaría

de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad Nacional Autónoma de México.

Ibarrarán, M.E. y Boyd, R. G. (2006) "Towards the future: Energy, Economics and the Environment in 21st Century Mexico", Springer.

Ibarrarán, M.E., Ruth, M.S., Ahmad, S. y London, M. (2007) "Climate change and natural disasters: Macroeconomic performance and distributional impacts", *Environment, Development and Sustainability*.

Ibarrarán, M.E. y Boyd, R.G. (2008), "MEDEC policies under a general equilibrium approach", The World Bank, mimeo.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)(2003), "*Matriz Insumo-Producto 2003*", http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=14013.

INEGI (2005), *II Conteo de Población y Vivienda 2005*", http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/conteos/conteo2005/default.asp?c=10215.

Liverman, D.M. y O'Brien, K.L. (1991) "Global warming and climate change in Mexico", *Global Environmental Change*, Vol.15, pp. 351-364.

Maderey, Laura E. y Jiménez, A. (2003). "Los recursos hidrológicos del centro de México ante un cambio climático global" en Gay (ed), *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y UNAM.

Organización de las Naciones Unidas (2006) "Integrated environmental and economic accounting for water resources", United Nations Statistic Division.

Rasmussen, T. N. (2004) "Macroeconomic implications of natural disasters in the Caribbean", *Documento de trabajo*, WP/04/224, Fondo Monetario Internacional.

Salgado, H. y Bernal, L.E. (2007) "Translog cost functions: An application for Mexican manufacturing", Banco de Mexico.

Rosemberg, Norman J. (1993) "Towards an integrated impact assessment of climate change: The MINK Study", Batelle, Pacific Northwest Laboratories.

Sánchez, Ma.T. y Martínez, M. (2003) "La vulnerabilidad de la industria y los sistemas energéticos ante el cambio climático global" en Gay (ed), *México:*

una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y UNAM.

Secretaría de Energía (2000), Programa Nacional de Energía 2001-2006, México.

Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) (2002), http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/censos/scian/menu.asp?c=5433.

Tejeda, Adalberto (2007). "Estado de la investigación de los aspectos físicos del cambio climático". *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 62, pp. 31-43.

Villers-Ruiz, L. y Trejo-Vázquez (2003). "El cambio climático y la vegetación en México" en Gay (ed), *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad Nacional Autónoma de México.

7. Anexo

Cuadro resumen

Escenarios 1 y 2. El costo del cambio climático.

	Escenario 1 *		Cambio % 1 – Ref.		Escenario 2		Cambio % 2 - 1	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
PIB	116.285288	148.95162	-6.4213	-9.1924	115.765	147.343	-0.4474	-1.0797
Inversión	24.8055	34.41375	-9.7867	-6.4698	24.51225	33.9135	-1.1822	-1.4536
Gobierno	20.393	25.712	-2.2923	-3.6246	20.436	25.583	0.2109	-0.5017
Acervo final de capital	----	406.874	----	-7.2677	----	403.246	----	-0.8917
Bienestar acumulado	----	----	----	----	----	----	----	----
Agente 1	----	90.478	----	-6.1490	----	90.04	----	-0.4841
Agente 2	----	264.326	----	-5.8970	----	263.184	----	-0.4320
Agente 3	----	407.986	----	-5.6671	----	406.37	----	-0.3961
Agente 4	----	681.068	----	-6.0953	----	678.242	----	-0.4149

Producción

	Escenario 1 *		Cambio % 1 – Ref.		Escenario 2		Cambio % 2 - 1	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Agricultura	3.207	4.073	-5.1183	-9.9491	2.873	3.606	-10.4147	-11.4658
Ganadería	2.597	3.332	-6.0759	-9.9459	2.356	2.999	-9.2799	-9.9940
Forestal	0.272	0.346	-6.2069	-10.8247	0.233	0.293	-14.3382	-15.3179
Pesca	0.179	0.223	-6.7708	-12.8906	0.179	0.221	0.0000	-0.8969
Petróleo	3.635	3.635	-33.7284	-48.3722	3.651	3.767	0.4402	3.6314
Gas Natural	0.963	1.005	-26.4324	-42.6042	0.968	0.999	0.5192	-0.5970
Minería	0.817	1.032	-7.8918	-13.0581	0.814	1.018	-0.3672	-1.3566
Refinación	2.873	3.117	-25.5314	-39.6281	2.877	3.09	0.1392	-0.8662
Transporte	12.163	15.229	-6.5607	-12.5775	12.187	15.142	0.1973	-0.5713
Electricidad	2.899	3.6	-15.7757	-21.8411	2.896	3.567	-0.1035	-0.9167
Químicos	5.667	5.909	-30.1664	-45.5893	5.715	5.848	0.8470	-1.0323
Servicios	83.873	106.212	-3.7436	-8.9138	84.038	105.612	0.1967	-0.5649
Manufactura	63.129	80.801	-7.3839	-11.4189	62.711	79.504	-0.6621	-1.6052

Consumo.

	Escenario 1 *		Cambio % 1 – Ref.		Escenario 2		Cambio % 2 - 1	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Alimentos	21.441	27.009	-0.052876	-0.108437	21.241	26.566	-0.9328	-1.6402
Bienes de consumo	13.11	16.309	-0.078772	-0.143615	13.038	16.104	-0.5492	-1.2570
Servicios	21.723	27.399	-0.051729	-0.106243	21.716	27.196	-0.0322	-0.7409
Autos	3.336	4.181	-0.063973	-0.123296	3.318	4.13	-0.5396	-1.2198
Energía	1.615	1.997	-0.132653	-0.198636	1.615	1.983	0.0000	-0.7011
Transporte	4.459	5.557	-0.06813	-0.132261	4.463	5.522	0.0897	-0.6298
Gasolina	3.972	4.799	-0.117137	-0.202824	3.971	4.763	-0.0252	-0.7502
Agua	0.783	0.989	-0.047445	-0.100909	0.783	0.982	0.0000	-0.7078
Vivienda	2.354	2.973	-0.04812	-0.101813	2.355	2.954	0.0425	-0.6391

Nota: en la primera parte del cuadro, todas las celdas están dadas en totales anuales en 2030 (en dólares de 2005), o totales acumulados para el periodo de 2000 a 2030 en dólares de 2005. En las siguientes columnas, todos los números representan un cambio porcentual entre los escenarios.

Cambio porcentual en emisiones bajo distintos escenarios.

	Esc. 1– Ref.	Esc. 2– Esc. 1
2020	-34.2	0.3
2030	-49.1	-1.1