



**GOBIERNO
FEDERAL**

SHCP

SEMARNAT

LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

SÍNTESIS

www.semarnat.gob.mx
www.gobiernofederal.gob.mx



Vivir Mejor

LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

SÍNTESIS

Dr. Luis Miguel Galindo
Coordinador

“La Economía del Cambio Climático en México” es un estudio coordinado por el Dr. Luis Miguel Galindo Paliza, de la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México, a petición de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En él participaron el Centro Mario Molina, el Instituto Nacional de Ecología y el Centro de Estudios de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los recursos financieros fueron otorgados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la cooperación internacional el Reino Unido y del Banco Interamericano de Desarrollo. Se contó también con el apoyo técnico del Banco Mundial y de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas. El enfoque, la metodología y las recomendaciones de política son responsabilidad del coordinador del estudio. La presente publicación es una síntesis de la investigación realizada.

INDICE

PRÓLOGO

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN EJECUTIVO	5
1. El cambio climático.	10
1.1 El cambio climático: evidencia internacional.	10
1.2 El cambio climático en México: evidencia y proyecciones.	14
2. Evolución reciente y perspectivas de la economía mexicana.	18
3. Principales impactos del cambio climático en México.	21
3.1 Sector agropecuario.	21
3.2 Recursos hídricos.	28
3.3 Cambio de uso/cobertura del suelo.	33
3.4 Biodiversidad.	36
3.5 Eventos extremos: huracanes y ENOS.	39
3.6 Turismo y desastres naturales	40
3.7 Impactos del cambio climático en la salud.	42
4. Alternativas de mitigación.	44
4.1 Energía.	44
4.2 Estrategias de mitigación para México.	47
5. Los costos de la inacción y beneficios de la mitigación.	54
5.1 Valuación económica del cambio climático en México.	54
5.2 El cambio climático y las políticas públicas en México.	56

PRÓLOGO

La variabilidad del clima ha sido una constante de la historia. Desde los primeros registros que el ser humano dejó plasmados acerca de su relación con el clima, la primera y más común de las observaciones ha sido que el clima es cambiante y, en buena medida, impredecible.

A esta variabilidad natural del clima se ha sumado, en las décadas recientes, la inquietante comprobación de que las actividades del propio ser humano están incidiendo en el cambio del clima con efectos indeseables. A ello se refiere la denominación de cambio climático antropogénico, es decir: las alteraciones en el delicado equilibrio del clima del planeta causadas por el propio ser humano.

El cambio climático antropogénico, así, se ha convertido en una seria causa de preocupación para las políticas públicas, tanto desde una perspectiva global como desde el punto de vista de las afectaciones de carácter local que el ser humano ha provocado en el clima, que, a su vez, conllevan serios riesgos para la viabilidad del progreso económico, del bienestar y de la salud.

Sólo por mencionar algunos de los efectos indeseables del cambio climático antropogénico podemos citar fenómenos meteorológicos extremos, tales como sequías que reducen la producción de alimentos o lluvias torrenciales que provocan peligrosas inundaciones; caída de la productividad de las actividades agropecuarias; mayor frecuencia de incendios forestales; daños severos a las infraestructuras costeras, como puertos y bahías, a causa de una elevación inusitada del nivel del mar; afectaciones más o menos graves al intercambio comercial y al turismo y, desde luego y en un primerísimo lugar, perturbaciones graves a la salud debidas, por ejemplo, a los llamados “golpes de calor” así como a la transmisión de enfermedades por vectores.

Para el gobierno del Presidente Felipe Calderón Hinojosa los efectos nocivos del cambio climático antropogénico han sido un serio motivo de preocupación, que se ha traducido en la puesta en marcha de políticas públicas diseñadas deliberadamente para mitigar sus efectos y, también, para propiciar una inteligente y sana adaptación al cambio climático que permita disminuir los daños económicos y de salud asociados al mismo, así como transformar los sistemas de producción, distribución y consumo para reducir la vulnerabilidad económica y social ante estos fenómenos.

La economía y la ecología inevitablemente están hermanadas. La propia etimología de ambas palabras nos remite al cuidado, conservación y aprovechamiento de la casa, es decir del hogar común que es el planeta y, más específicamente, de nuestro entorno nacional que es aquél en el que nos desenvolvemos como seres humanos con vocación de progreso material y de bienestar espiritual, con un anhelo profundo de lograr la felicidad.

Partimos de la convicción de que una de las irrenunciables tareas de los gobiernos es combatir las carencias humanas que son claramente evitables, como lo señaló Manuel Gómez Morín hace ya varias décadas. Es en ese contexto donde se inscribe el combate al cambio climático provocado por el hombre, y a sus efectos nocivos, entre las prioridades de la agenda gubernamental.

Así, nuestro país ha ratificado sin reticencias la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático así como el llamado Protocolo de Kyoto. Del mismo modo ha liderado, en diversos foros internacionales, las propuestas de los países en desarrollo, como la de un Fondo Verde que debiera complementar los instrumentos existentes para garantizar la viabilidad financiera de las medidas encaminadas a combatir y mitigar el cambio climático.

A la fecha México ha presentado tres Comunicaciones Nacionales conteniendo los inventarios del país en materia de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y se apresta a concluir una cuarta este mismo año. Esto ubica a México como líder de los países en desarrollo en esta materia.

Este libro representa, en el ámbito de la investigación y de la divulgación de los conocimientos que la humanidad ha adquirido acerca del cambio climático, una muestra clara de ese compromiso del Gobierno Federal. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales encomendaron a la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México su realización.

“La economía del cambio climático en México” ha sido una obra coordinada por el doctor Luis Miguel Galindo y busca hacer una estimación seria y fundamentada acerca de los posibles costos económicos que el cambio climático antropogénico generará para nuestro país, en especial para aquellos sectores de la población que, por su condición de pobreza, son los más vulnerables.

Es un valioso estudio que contribuye a precisar con rigor las implicaciones económicas del cambio climático para México. Una de sus principales conclusiones es alentadora y encierra una profunda lección para las políticas públicas: Los costos de una eficaz y eficiente acción para combatir el cambio climático no deseado, y mitigar sus efectos, son muy inferiores a los daños económicos que podemos evitar y a las potencialidades de crecimiento y desarrollo que podemos conseguir. Esto significa que actuar con decisión y oportunidad en esta materia es una excelente inversión pública. Una inversión, podríamos concluir, imprescindible.

El estudio que hoy el lector tiene en sus manos, y que nos complace presentar, será de inmensa utilidad para orientar las líneas de acción y las estrategias de las políticas públicas. También deseamos que sea el primero de una serie de estudios serios y profundos en la materia realizados en México, y alentados por las más diversas instancias públicas y privadas, nacionales e internacionales, en beneficio de todos los que compartimos este gran hogar que es nuestro planeta.

Agustín Carstens Carstens
Secretario de Hacienda
y Crédito Público

Juan Rafael Elvira Quesada
Secretario de Medio Ambiente
y Recursos Naturales

Preface

While the Stern Review looked at the impacts of climate change at a global level it is at a local level where the impacts will be realised and both adaptation and mitigation responses will take place. Although the problem of climate change is global in nature, it is only through detailed understanding of what climate change means at a national level that countries will come together and form an effective global response. Because of this I was delighted that colleagues from the Stern Review and I had the chance to discuss the issues with members of the study team and learn about the excellent work they have done on analysing the Economics of Climate Change in Mexico.

The main finding of the Stern Review was that the cost of taking action to reduce the impacts of climate change are less than the costs of inaction. This simple statement is built on detailed analysis of the wide-ranging potential impacts of climate change and an understanding of mitigation and adaptation responses. To do this properly requires reflecting on the nature of the problem which means incorporating risk and uncertainty (that means that some very severe outcomes are possible) and that it affects human health, biodiversity and the way that we can live in addition to traditional economic sectors. It means measuring what counts rather than counting what we can easily measure to avoid reporting only a subset of the risks. This study does a good job in doing that. By reflecting the risks that Mexico would face from unabated climate change it shows that Mexico has a strong interest in action to reduce climate change impacts.

The Mexican study shows that without action the Mexican economy will suffer significant economic costs as a consequence of climate change. Despite partial short term gains in some activities and regions there are net costs overall and that these costs will increase during this century, in particular in the agricultural and water sectors. Furthermore, there will be important losses outside the economic sectors and market prices, that people value such as biodiversity. Moreover the key conclusion is that it is a better for the Mexican economy to actively participate in an effective international agreement than just face the economic costs of adaptation.

That the Mexican Government has supported this study, indicates that the policymakers are increasingly clear that not only is climate change, if left unmanaged, a severe, or insuperable challenge to their growth and poverty reduction goals, but also that action will lead to a wide range of business opportunities for growth and development. In the transition to a low-carbon growth path the markets for low-carbon, high-efficiency goods and services will expand, creating opportunities for farsighted governments and businesses to benefit from. The study both makes a major contribution to the understanding of climate change in Mexico, and strengthens the global case for strong action.

I congratulate those who have commissioned and supported the study and those who carried it out. And I look forward to the leading role that I am convinced Mexico will play in action on climate change.

Nicholas Stern

IG Patel Professor of Economics & Government London School of Economics and Political Science

Prefacio

Si bien el Informe Stern abordó los impactos del cambio climático con un enfoque global, tanto los impactos como las respuestas de mitigación y adaptación se manifestarán a nivel local. Aunque el problema del cambio climático es de índole global, solamente mediante un detallado conocimiento de la relevancia del problema a nivel nacional hará posible que los países se unan para articular una respuesta global efectiva. Por ello, ha sido un placer que mis colegas del Informe Stern y yo hayamos tenido la oportunidad de dialogar con los integrantes del equipo mexicano y conocer el excelente trabajo que han realizado en el análisis de la Economía del Cambio Climático en México.

El hallazgo principal del Informe Stern fue que el costo de actuar para reducir los impactos del cambio climático es menor que el costo de la inacción. Esta sencilla conclusión se deriva de un análisis detallado del potencial, de amplio rango, de los impactos del cambio climático y del conocimiento de las respuestas de mitigación y adaptación. Para hacerlo apropiadamente se requiere una aproximación adecuada que manifieste la naturaleza del problema, lo que significa incorporar riesgo e incertidumbre -esto es aceptar que desenlaces muy severos son posibles-, y que ello afecta la salud humana, la biodiversidad y la manera en que podemos vivir más allá de los sectores económicos tradicionales. Ello significa medir lo que cuenta en lugar de contabilizar lo fácilmente medible y evitar que se reporte sólo un subconjunto de riesgos. El presente estudio se destaca precisamente por eso. Al abordar los riesgos que México podría enfrentar frente al cambio climático sin medidas de contención, el estudio demuestra que México tiene un gran interés en realizar acciones para reducir los impactos del cambio climático.

El estudio mexicano demuestra que en ausencia de acciones, la economía mexicana sufrirá costos económicos significativos como consecuencia del cambio climático. A pesar de algunas ganancias parciales de corto plazo, en unas cuantas actividades y regiones, hay costos netos para el conjunto y éstos se incrementarán a lo largo de este siglo, particularmente en los sectores agropecuario e hídrico. Más aun, habrá pérdidas importantes al margen de los sectores económicos y de los precios del mercado, en rubros que la población valora como es el caso de la biodiversidad. Así, la conclusión principal es que será mejor que la economía mexicana participe activamente en un acuerdo internacional efectivo, a tan sólo enfrentar los costos económicos de la adaptación al cambio climático.

El hecho de que el Gobierno de México haya apoyado la realización de este estudio indica que los tomadores de decisión están cada vez más conscientes de que el cambio climático –sin medidas para enfrentarlo- no sólo representa un reto severo o insuperable para las metas de crecimiento económico y combate a la pobreza, sino también que el actuar llevará a una amplia gama de oportunidades de negocios para el crecimiento y el desarrollo. En la transición hacia un crecimiento económico con baja intensidad de carbono se expandirán los mercados para bienes y servicios bajos en carbono y altamente eficientes, que a su vez crearán oportunidades aprovechables para aquellos gobiernos y emprendedores privados que cuenten con una visión de largo plazo. El presente estudio constituye una contribución significativa al conocimiento del cambio climático en México, a la vez que refuerza el argumento global a favor de la acción contundente.

Felicito a los que encargaron y apoyaron el estudio, así como a los que lo llevaron a cabo. Avizoro el liderazgo que, estoy convencido, México desempeñará en acciones en materia de cambio climático.

Nicholas Stern.

IG Patel Professor of Economics & Government. London School of Economics and Political Science.

PALABRAS DEL SECRETARIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO, AGUSTÍN CARSTENS, DURANTE SU PARTICIPACIÓN EN EL “MENSAJE DE MÉXICO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO” CON MOTIVO DEL DÍA MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE.

Xcaret, Quintana Roo, 5 de junio de 2009

Antes que nada deseo reconocer la importancia de celebrar el “Día Mundial del Medio Ambiente” y más aún hacerlo en un escenario espléndido, como éste, que armoniza la belleza, el cuidado del entorno y el desarrollo económico.

Es probable que a varios de ustedes les llame la atención la presencia del Secretario de Hacienda en la celebración del Día Mundial del Medio Ambiente y que, además, mi participación trate acerca del cambio climático; sin embargo, no debiera ser algo sorprendente. En los últimos años en todo el mundo se ha llegado a la conclusión de que el cambio climático generado por el ser humano es tanto un problema técnico ambiental como un problema económico de la mayor relevancia. Esto, por la sencilla razón de que todo lo que se haga para mejorar el medio ambiente implica necesariamente costos, pero también porque el dejar de actuar en esta materia tendrá costos económicos de gran magnitud en el mediano y largo plazos. Por ello, es deseable que cada vez más los encargados de las finanzas públicas de los distintos países se involucren directamente en los asuntos ambientales.

Justamente un trabajo pionero en la línea de hermanar la ecología con las finanzas públicas fue el informe sobre la economía del cambio climático realizado por Sir Nicholas Stern. Cuando en octubre de 2006 se divulgó este informe se marcó un hito afortunado en ese sentido.

El informe Stern, al poner sobre la mesa estimaciones acerca de los costos globales ocasionados por el cambio climático antropogénico, junto con el análisis de los costos, también globales, para mitigar esos daños, permite explorar las mejores respuestas ante esta seria amenaza. El informe trazó, así, una pauta de acción para otras naciones.

Tal es el caso de México, donde el gobierno del Presidente Calderón ha establecido el desarrollo sustentable como una de las cinco prioridades del Plan Nacional de Desarrollo.

A fin de contribuir a una mejor comprensión del cambio climático, de sus efectos e implicaciones desde una perspectiva económica, y para proponer las mejores opciones de política pública para hacerle frente, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales encomendaron a la Universidad Nacional Autónoma de México, la elaboración de un estudio semejante al informe Stern, en este caso circunscrito a los costos económicos del cambio climático en México.

El estudio se realizó bajo la coordinación del doctor Luis Miguel Galindo y se nutrió de la experiencia y conocimiento de destacados ambientalistas mexicanos, así como de las investigaciones de instituciones nacionales e internacionales.

Este trabajo contribuye a precisar con rigor las implicaciones económicas del cambio climático en México y para México. Su principal conclusión nos alerta sobre el hecho de que los costos de una acción eficaz, oportuna y global para mitigar sus efectos son menores a los graves daños económicos que se derivarían de la falta de acción. Así, pues, actuar con decisión y oportunidad en esta materia es una excelente inversión pública.

Esperamos que esta obra aliente una mayor conciencia entre los mexicanos acerca de los riesgos y consecuencias del cambio climático originado por el ser humano; que estimule nuevas investigaciones y que propicie una seria reflexión acerca del abanico de opciones que tenemos los gobiernos para enfrentar este fenómeno y convertirlo en oportunidad para un desarrollo sostenible.

De hecho, los Estados pueden y deben actuar en esta materia mediante:

- Regulaciones y normas de control
- Con inversiones directas en infraestructura ambiental y en la rehabilitación de ecosistemas.
- Promoviendo inversiones público-privadas de carácter ecológico.
- Utilizando los mercados, a través de eliminación de subsidios perversos; estableciendo impuestos y cargas en relación al daño ambiental; otorgando subsidios focalizados, y
- Creando mercados, garantizando derechos de propiedad, con programas de compensación, permisos y derechos negociables, adquiriendo productos “verdes”, estableciendo fondos de inversión ambiental y efectuando pagos por la generación de servicios al ecosistema.

El estudio que hoy presentamos se inscribe en el marco de la innegable prioridad que el Gobierno del Presidente Felipe Calderón Hinojosa asigna a la preservación del medio ambiente. Es una muestra más del compromiso que el Gobierno asume con los mexicanos y ante el mundo frente al cambio climático.

Con este estudio se fortalece el liderazgo de México para impulsar en la comunidad internacional el Fondo Verde, como el instrumento financiero de carácter idóneo para dar viabilidad a los compromisos de todos los países dirigidos a mitigar los efectos del cambio climático.

Agradezco el apoyo y la participación de los diversos miembros de la comunidad científica que enriquecieron este estudio, así como a la Facultad de Economía y al Centro de Estudios de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, al Centro Mario Molina, al Instituto Nacional de Ecología, al Banco Interamericano de Desarrollo, al Banco Mundial, a la Comisión Económica para América Latina, al Gobierno del Reino Unido y a todos aquellos que sumaron sus esfuerzos para la consecución de esta obra.

No quisiera concluir dejando la falsa impresión de que, desde el punto de vista económico, el principal actor en la tarea de preservar el ambiente deba ser el gobierno a través de la instrumentación de políticas públicas. Es cierto que el gobierno tiene un papel importante y debe asumir su responsabilidad en esta tarea, pero todos los esfuerzos que se hagan terminarán siendo infructuosos si el sector privado, y específicamente las empresas, no internalizan en sus actividades productivas la importancia de preservar y mejorar el ambiente como una parte esencial de su estrategia de negocios.

No es sorprendente que varias empresas en economías desarrolladas hayan incrementado sustancialmente su valor de mercado en la medida que han hecho plenamente compatibles el crecimiento propio de sus negocios y el desarrollo armónico del medio ambiente.

Por eso, aprovecho la ocasión para invitar a las empresas mexicanas a hacer lo propio: establecer estrategias de negocios plenamente armónicas con la preservación y el mejoramiento del medio ambiente.

Cuidar hoy nuestra casa común, con la vista puesta en el bienestar de las futuras generaciones, es la mejor inversión que podemos hacer.

Muchas gracias.

Introducción

El cambio climático es uno de los grandes desafíos del siglo XXI. La evidencia científica disponible actualmente confirma la asociación entre la realización de un conjunto de actividades humanas tales como el consumo de energía fósil o el cambio de uso de suelo y las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Asimismo, existe evidencia contundente que muestra la estrecha asociación entre el aumento continuo de emisiones de GEI y los impactos climáticos; en particular un aumento paulatino de la temperatura, modificaciones en los patrones de precipitación, cambios en la intensidad o en la frecuencia de eventos climáticos extremos, reducción de la criósfera y un alza del nivel de mar. En las próximas décadas, la humanidad tendrá que enfrentar el reto simultáneo de adaptarse a los impactos originados por las nuevas condiciones climáticas, al mismo tiempo, que se instrumenta una estrategia global de mitigación.

El clima global es un bien público y por tanto, el cambio climático, desde una óptica económica, representa la mayor externalidad negativa global (Stern, 2007) y dada su magnitud, determinará en gran medida las características y condiciones del desarrollo económico en este siglo. Los impactos y los procesos de adaptación esperados serán, sin duda, impresionantes y crecientes a lo largo del siglo en diversas actividades económicas tales como el sector agropecuario, el sector hídrico, el cambio de uso de suelo, la biodiversidad, el turismo, la infraestructura y la salud de la población.

El desarrollo de nuevas opciones tecnológicas que promuevan una baja intensidad en carbono y los costos económicos de los procesos de mitigación serán ciertamente significativos en áreas como la energía o el transporte o la conservación forestal lo que modificará los patrones de desarrollo económico actuales.

El cambio del clima incidirá en forma creciente en la evolución económica de los países y regiones específicas. En este contexto debe incluso reconocerse que existen en la actualidad impactos y comportamientos ya originados por el cambio climático que han conducido a diversos procesos de adaptación y de mitigación no siempre eficientes desde la perspectiva económica y menos aún para un desarrollo sustentable.

El análisis económico del cambio climático es sin embargo un tema en extremo complejo y donde sus características condicionan y limitan el tipo de estudio a realizar y en donde destacan las siguientes:

1. **El cambio climático es un fenómeno global pero que se manifiesta de manera muy heterogénea por regiones con efectos asimétricos importantes.** Ello implica diferencias significativas en la forma de abordar un estudio global y uno regional. Por ejemplo, la estrecha relación entre los procesos de mitigación y de adaptación que existe a nivel global no se sostiene por regiones. Más aún, en general, se observa que los países desarrollados que contribuyen con una mayor proporción en la generación de GEI, simultáneamente, sufren los menores impactos económicos y disponen de la mayor capacidad de adaptación y mitigación. Por el contrario, los países menos desarrollados tienen una menor contribución

en emisiones pero son más sensibles a los impactos climáticos y disponen de una menor capacidad de adaptación y mitigación. Estas condiciones hacen en extremo complejo construir un acuerdo internacional para enfrentar el cambio climático e indican la importancia de disponer de estudios regionales a profundidad que contribuyan a ponderar las formas de participación de cada país.

2. **El cambio climático es un fenómeno continuo y de largo plazo, con un elevado nivel de incertidumbre, donde se requiere construir escenarios económicos de largo plazo.** En efecto, el fenómeno del cambio climático contiene un alto nivel de incertidumbre atendiendo al conjunto tan heterogéneo de las variables involucradas; climáticas, económicas, sociales, políticas, demográficas o incluso de política internacional, a los impactos específicos por regiones, a los tiempos y magnitudes de los impactos asociados a los procesos de mitigación y adaptación y atendiendo a los procesos de retroalimentación correspondientes. En este contexto, es indispensable realizar escenarios prospectivos sobre la evolución de la economía mexicana para los próximos cien años que permitan identificar una línea base sobre la que se pueda contrastar los impactos y los procesos de mitigación y adaptación del cambio climático en México. Difícilmente este ejercicio puede considerarse como un pronóstico; esto sería como considerar que hubiera sido posible pronosticar satisfactoriamente a principios del siglo XIX a la economía mexicana actual y definir por ejemplo, la matriz energética actual. Existe además un alto nivel de incertidumbre sobre variables clave tales como las tecnologías, los precios relativos y la evolución de los sectores económicos relevantes, y debe reconocerse que en muchos casos los procesos de adaptación y mitigación modificarán el resultado final. Sin embargo, puede argumentarse que estos escenarios contienen información relevante sobre los patrones regulares de la economía mexicana y sus posibles consecuencias en el largo plazo de mantenerse el comportamiento tendencial asociado al cambio climático. De este modo, las estimaciones presentadas deben considerarse sólo como escenarios prospectivos y son órdenes de magnitud, pero no representan una proyección puntual. Asimismo, debe reconocerse que a la complejidad del fenómeno debe agregarse la carencia de información adecuada. Desde luego estudios más rigurosos y puntuales permitirán profundizar, validar o incluso rectificar algunos de los resultados aquí obtenidos.

3. **El cambio climático contiene un nivel de riesgo elevado y, en este sentido, se convierte, desde el punto de vista del análisis económico, en un proceso donde debe administrarse apropiadamente el riesgo.** Esto implica reconocer que, más allá de los valores económicos puntuales que puedan asignarse a los impactos climáticos, es necesario preservar y evitar pérdidas irreversibles como en biodiversidad, y administrar apropiadamente el riesgo de un evento catastrófico con escasa probabilidad de ocurrencia o los posibles efectos de retroalimentación. Identificar apropiadamente los niveles de riesgo y ponderarlos adecuadamente requiere entonces combinar un análisis económico sólido con una toma de decisiones informada, que incluya ponderar algunos principios éticos. Esto es evidente, por ejemplo, en la selección de la tasa de descuento o en la decisión de evitar pérdidas irreversibles en biodiversidad.

El principal objetivo de este estudio es identificar, analizar y cuantificar, los costos económicos del cambio climático para México y, con base en estos resultados, proponer y recomendar diversas medidas de política pública tanto en adaptación como de mitigación. En todo caso, el conjunto de resultados presentados en este trabajo permiten identificar dos aspectos fundamentales: en primer lugar que el cambio climático tiene impactos significativos en la economía mexicana y, en segundo lugar, que los costos de la inacción son más elevados que la participación en un acuerdo internacional equitativo que reconozca las responsabilidades comunes pero diferenciadas de los países. Desde la óptica económica resulta más eficiente actuar que dejar el problema para las generaciones futuras, más allá de las consideraciones éticas que ello conlleva.

El estudio se realizó durante 2008 en un tiempo relativamente corto y con importantes limitantes de información. Ello representó un reto que se refleja a lo largo del estudio en diversas carencias que aquellos que trabajamos en la investigación somos los primeros en reconocer. Pero que en todo caso el trabajo busca contribuir a una toma de decisiones mejor informada en el ámbito de la política pública sobre un tema de vital importancia. Este estudio representa un esfuerzo inicial que seguramente será profundizado, complementado o corregido en diversos puntos. Desde luego, se aplica el descargo usual de los errores y omisiones en el estudio y ninguna de las instituciones co-participantes son responsables de ellos. Más aun es probable que varios de los investigadores no vean representado sus puntos de vista en el informe final que tan elocuentemente defendieron a lo largo del trabajo. Reconozco mi responsabilidad al respecto, no obstante ello, confío en que este trabajo contribuya, en la medida de lo posible, a un mejor entendimiento del fenómeno del cambio climático en México y a construir una estrategia sólida para su solución.

El estudio “La economía del cambio climático en México” ha sido realizado a solicitud y con el apoyo financiero de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Se contó también con apoyo financiero fundamental del Gobierno Británico y del Banco Interamericano de Desarrollo, y en la administración de los recursos fue de gran valía la participación de la Asociación de Ex Alumnos de la Facultad de Economía de la UNAM, presidida por el Embajador Jorge Eduardo Navarrete. Se contó también con la asistencia del Banco Mundial y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas. La Facultad de Economía de la UNAM me otorgó un importante apoyo institucional, y su Director, el Dr. Roberto Escalante además contribuyó con comentarios y sugerencias. Participaron también los titulares y personal del Centro Mario Molina, del Instituto Nacional de Ecología y del Centro de Estudios de la Atmósfera de la UNAM. En el proceso de su elaboración se constituyó un Comité Asesor, conformado por Francisco Barnés, Julia Carabias, Fausto Hernández, Enrique Lendo, Mario Molina, Enrique Provencio, Gabriel Quadri y José Sarukhán, a quienes agradezco sus comentarios, aportes y observaciones. Asimismo, el apoyo de las instituciones que lo promovieron fue fundamental, en especial de sus funcionarios, pero quisiera destacar la participación de Juan Rafael Elvira Quesada, Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Fernando Tudela Abad, Subsecretario de Planeación y Política Ambiental y Roberto Cabral, Director General Adjunto de Financiamiento Estratégico, ambos de esa Secretaría, de Ricardo Ochoa Rodríguez, Titular de la Unidad de Asuntos Internacionales de Hacienda, de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, y de Adrián Fernández Bremauntz, Presidente del Instituto

Nacional de Ecología. El Embajador del Reino Unido, Giles Paxman, fue un entusiasta promotor y el personal de la Embajada un importante apoyo.

Debo además reconocer la gran disposición para discutir los temas de este estudio de diversos integrantes de la Secretaría Técnica del Gabinete Social de la Presidencia de la República, SHCP, SEMARNAT, INE, Centro Mario Molina, BID, Banco Mundial y CEPAL. Específicamente me siento comprometido a agradecer por su tiempo y sus valiosos comentarios a Alicia Bárcena, Juan Carlos Belausteguigoitia, Juan Pablo Bonilla, Fernando Cuevas, Carlos Raúl Delgado, Claudia Grayeb, Rodolfo Lazy, Julie Lennox, Juan Mata, Liliana Meza, Rosa Elena Montes de Oca, Carlos Muñoz Piña, Celia Pigueron, Silvia Rodríguez, Leonora Rojas y José Luis Samaniego.

Asimismo, quisiera agradecer el apoyo, comentarios y sugerencias del equipo Stern para la realización de este estudio; en particular de Sir Nicholas Stern, Chris Taylor y Dimitri Sengelis. En su elaboración participaron diversos investigadores mereciendo especial mención María Esther Álvarez, Allan Beltrán, Héctor Bravo, Karina Caballero, Karla Caballero, Horacio Catalán, Yanet Domínguez, Francisco Estrada Porrúa, Jimmy Ferrer, Manuel García, Carlos Gay, Alejandro Guevara, Fausto Hernández, Ma. Eugenia Ibararán, Luis Jaramillo, Ramón Lepez, Víctor Magaña, Carlos Muñoz Piña, Federico Navarrete, Jaime Olivares, Ma. del Carmen Palafox, Enrique Provencio, Fernando Rello, Erika Rojas, Luis Sánchez, Juan Manuel Torres y Eduardo Vega. Finalmente, debo mencionar que Maerle, Saskia y Jasper le dieron sentido a este estudio.

RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático es uno de los grandes desafíos del siglo XXI. La evidencia científica disponible confirma la asociación entre la realización de un conjunto de actividades humanas tales como el consumo de energía fósil o el cambio de uso de suelo y las crecientes emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Existe evidencia contundente que muestra la estrecha asociación entre el aumento continuo de emisiones de GEI y los impactos climáticos; en particular un incremento paulatino de la temperatura, modificaciones en los patrones de precipitación, cambios en la intensidad o frecuencia de eventos climáticos extremos, reducción de la criósfera y un alza del nivel de mar.

Las consecuencias de estos cambios climáticos son ciertamente significativas y, dada su magnitud, determinarán las características y condiciones del desarrollo económico en este siglo. La humanidad, en las próximas décadas, tendrá que enfrentar simultáneamente el reto de adaptarse a los impactos originados por las nuevas condiciones climáticas, al mismo tiempo, que se instrumenta una estrategia global de mitigación. Sin embargo, las características del cambio climático dificultan su análisis tanto global como regional y la construcción de un acuerdo internacional para enfrentarlo. En este sentido, deben mencionarse al menos las siguientes particularidades:

1. **El cambio climático es un fenómeno global y representa, desde una óptica económica, la mayor externalidad negativa (Stern, 2007) aunque con importantes asimetrías regionales.** El clima es un bien público global y por tanto el cambio climático es el resultado de una externalidad negativa en donde sus causas y consecuencias son mundiales pero diferenciadas y heterogéneas por países, e incluso asimétricas dentro de ciertos rangos climáticos. En general, se observa que los países desarrollados contribuyen con una mayor proporción en la generación de GEI y, simultáneamente, sufren los menores impactos económicos y disponen de la mayor capacidad de adaptación y mitigación. Por el contrario, aquellos países menos desarrollados tienen una menor contribución en emisiones pero son más sensibles a los impactos climáticos y disponen de una menor capacidad de adaptación y mitigación. Estas condiciones hacen en extremo complejo construir un acuerdo internacional para enfrentar el cambio climático e indican la importancia de disponer de estudios regionales a profundidad.
2. **El cambio climático es un fenómeno continuo y de largo plazo, con un elevado nivel de incertidumbre donde se requiere construir escenarios económicos de largo plazo.** La evolución futura del fenómeno del cambio climático será el resultado de la difícil interacción de un conjunto muy heterogéneo de variables tanto climáticas, como económicas, sociales, tecnológicas, demográficas, políticas e incluso de política internacional; incluyendo además la compleja matriz de interrelaciones entre los impactos climáticos y las estrategias de adaptación y de mitigación subsecuentes. En este contexto, es indispensable realizar escenarios prospectivos sobre la evolución de la economía mexicana para los próximos cien años, que permitan identificar una línea base sobre la que se puedan contrastar los impactos y los procesos de mitigación y adaptación del cambio climático. Dificilmente este ejercicio puede considerarse como un pronóstico; esto sería

como considerar que hubiera sido posible pronosticar satisfactoriamente a principios del siglo XIX a la economía mexicana actual. Sin embargo, puede argumentarse que estos escenarios contienen información relevante sobre los patrones regulares de la economía mexicana y sus posibles consecuencias en el largo plazo de mantenerse el comportamiento tendencial asociado al cambio climático. De este modo, las estimaciones presentadas deben considerarse sólo como escenarios prospectivos y son órdenes de magnitud pero no representan una proyección precisa. Desde luego estudios más rigurosos y puntuales permitirán profundizar, validar e incluso rectificar algunos de los resultados aquí obtenidos.

3. **El cambio climático es un fenómeno con un nivel de riesgo elevado donde existe una probabilidad de eventos catastróficos y de efectos de retroalimentación importantes.** Más allá de los valores económicos que puedan asignarse a los impactos climáticos o a los procesos de mitigación, es necesario evitar pérdidas irreversibles como en la biodiversidad y administrar apropiadamente el riesgo de un evento catastrófico, aun incluso con escasa probabilidad de ocurrencia o de eventos climáticos más intensos producto de los procesos de retroalimentación. Identificar los niveles de riesgo y ponderarlos adecuadamente requiere combinar un análisis económico sólido con una toma de decisiones informada que incluye ponderar algunos principios éticos. Esto es evidente, por ejemplo, en la selección de la tasa de interés de descuento.

Las principales conclusiones del estudio “La economía del cambio climático para México” son:

1. **El cambio climático tiene y tendrá impactos significativos, crecientes y no lineales en el tiempo en la economía mexicana.** Los impactos y los procesos de adaptación esperados son, sin duda, impresionantes y crecientes a lo largo del siglo en diversas actividades económicas tales como el sector agropecuario, el sector hídrico, el cambio de uso de suelo, la biodiversidad, el turismo, la infraestructura y la salud de la población. Las opciones tecnológicas y los costos económicos de los procesos de mitigación son ciertamente significativos en áreas como la energía o el transporte lo que modificará los patrones del desarrollo económico actual. Existen además efectos negativos significativos que no tienen un valor económico directo, pero que son inaceptables como la pérdida de biodiversidad. Las consecuencias económicas del cambio climático para México, son ciertamente heterogéneas por regiones e incluso pueden observarse ganancias temporales en algunas regiones como consecuencia del cambio climático. No obstante ello, las estimaciones para el caso de México muestran que las consecuencias económicas negativas superan a las ganancias temporales en el largo plazo y que existen límites de tolerancia. En general, se observa que los costos económicos¹ de los impactos climáticos al 2100 son al menos tres veces superiores que los costos de mitigación de 50% de nuestras emisiones. Por ejemplo, en uno de los escenarios considerados, con tasa de descuento del 4% anual, se observa que los impactos climáticos alcanzan, en promedio, el 6.22% del PIB actual mientras que los

¹ La estimación de estos costos incluye un conjunto de supuestos tales como tasas de descuento y que no se desarrollan procesos de reducción de costos debido a la innovación tecnológica o a alguna estrategia de optimización.

costos de mitigación de 50% de las emisiones representan el 0.70% y 2.21% del PIB, a 10 y 30 dólares la tonelada de carbono respectivamente.

2. **El conjunto de resultados muestra que los costos de la inacción son más elevados que la participación en un acuerdo internacional equitativo, que reconozca las responsabilidades compartidas pero diferenciadas de los países, y que es indispensable una acción inmediata y decidida para abatir los peores impactos del cambio climático.** En este sentido, desde la óptica económica resulta más eficiente actuar que dejar el problema para las generaciones futuras, más allá de las consideraciones éticas que ello conlleva. Los costos económicos para la economía mexicana son ciertamente muy fuertes con un aumento de más de 2 o 3 grados de temperatura. Más aun, la evidencia disponible muestra que los procesos de adaptación que ya están en curso en la economía mexicana, son importantes para reducir los impactos climáticos pero son insuficientes sobre ciertos límites climáticos y están ocasionando, en algunos casos, externalidades negativas adicionales como una sobre explotación de los recursos acuíferos del país. Las proyecciones climáticas actuales sugieren que en un escenario inercial se alcanzarán, al menos, niveles de concentraciones de 550 ppm y de 650 ppm en el 2050 y el 2100 respectivamente. Así, concentraciones de 550 ppm se traducirían, con una probabilidad del 99% y 69%, en aumentos de 2 o 3 grados de temperatura respectivamente y con concentraciones de 650 ppm se alcanzarán aumentos de temperatura de 3 o 4 grados con probabilidades del 94% y 58%. En contrapartida, estabilizar las emisiones a 450 ppm supone aumentos de 2 o 3 grados con una probabilidad del 78% y 18% respectivamente. En este sentido, este siglo presentará de manera inevitable impactos climáticos, pero aun es posible reducir, de manera significativa, la posibilidad de ocurrencia de los eventos climáticos más costos con base en una estrategia internacional de estabilización.
3. **La construcción de una estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático en México, debe reconocer la necesidad de utilizar diversos instrumentos en forma continua con una visión a largo plazo.** Resulta indispensable reconocer la importancia de construir una estructura de precios relativos consistente con un desarrollo sustentable. Esto es, los precios relativos deben reflejar adecuadamente la presencia de las externalidades negativas que produce el consumo de ciertos bienes; reconociendo incluso la importancia de valuar adecuadamente aspectos que actualmente están fuera del mercado como la biodiversidad. Una estructura de precios adecuada resulta fundamental para controlar un consumo excesivo, para una mejor administración de los recursos y para apoyar la innovación y la difusión tecnológicas. En este contexto, resulta fundamental atender, con una visión a largo plazo, el papel de los precios de algunos de los bienes y servicios públicos tales como la energía, las gasolinas o el agua; ello, desde luego, sin desatender consideraciones sociales. De este modo, es primordial, desde la óptica del sector público, disponer de una estrategia consistente de gasto público y subsidios que apoye a una adecuada señalización de precios; por ejemplo, es necesario dejar de apoyar una expansión ineficiente de la frontera agropecuaria. Las sensibilidades de respuesta a cambios en el precio de las distintas demandas de bienes estimadas en este trabajo, tales como los distintos tipos de energía, gasolinas y agua, son aun inelásticas. Ello es consecuencia de la

interacción de un conjunto de factores muy diversos donde destacan la falta de bienes alternativos o sustitutos adecuados, como en el dilema del transporte público y privado, la carencia de una estrategia de señalización de precios de largo plazo que no es percibida como permanente o la simple falla del mercado respectivo. Desde luego, es indispensable que estos obstáculos se eliminen paulatinamente, sin embargo, la realineación de los precios relativos para apoyar a un desarrollo sustentable con las actuales elasticidades resulta muy fuerte y puede originar distorsiones importantes y tener consecuencias sociales negativas en el corto plazo que impidan alcanzar los objetivos esperados. Ello implica la necesidad de apoyar a los mecanismos de mercado con regulaciones consistentes que mimeticen los incentivos económicos. Es posible aplicar una estrategia paulatina, basada en realineación de los precios relativos en una trayectoria de rampa apoyando el proceso con regulaciones y gastos que permitan aumentar las sensibilidades de respuesta a las señales de precios, amortiguar los impactos sociales negativos y preservar y reducir al mínimo los daños más inminentes en donde las señales de precios son insuficientes como en biodiversidad.

4. **La economía mexicana, en los próximos años, tendrá que transitar a una trayectoria de crecimiento de baja intensidad de carbono como el resto de las economías del mundo, al mismo tiempo que realiza un proceso de adaptación que minimice los impactos del cambio climático.** Los recursos monetarios y financieros requeridos para ello son ciertamente significativos, más aún, existen usos alternativos para estos recursos como el desarrollo de la infraestructura, la construcción de una red de protección social o educación que son también fundamentales para un desarrollo sustentable. En algunos casos existen economías de escala entre diferentes metas que deberán aprovecharse, sin embargo, es necesario diseñar una estrategia donde los recursos internos se complementen con recursos externos. La economía mexicana deberá realizar entonces diversas acciones de mitigación y adaptación dentro de su frontera de posibilidades, contribuyendo con ello a la solución global del cambio climático y en concordancia a la necesidad de actuar de acuerdo a su sentido de responsabilidad, sin embargo, es evidente que se requieren recursos adicionales para cumplir con metas más ambiciosas. Así, México deberá buscar en el corto plazo aprovechar los recursos internacionales ya disponibles a través de diversos fondos y organizaciones; asimismo, deberá contribuir a desarrollar los organismos e instituciones multilaterales que permitan consolidar las fuentes de financiamiento necesarias.
5. **La solución al cambio climático implica corregir las condiciones que ocasionan esta gran externalidad negativa, lo que requiere la consolidación de un mercado internacional de carbono ya sea a través de la imposición directa de impuestos al carbono, del uso de un sistema de permisos comercializables o directamente del establecimiento de regulaciones con este propósito, o incluso de un sistema híbrido que combine algunos de estos instrumentos.** Es fundamental que México avance en la creación de un mercado de carbono en donde se defina su forma de integración con otros países, incluso dentro los acuerdos comerciales ya vigentes. Asimismo, debe reconocerse la importancia de modificar hábitos y patrones de producción, distribución y consumo, apoyar de manera decisiva la innovación y la difusión de nuevas tecnologías que reduzcan la

intensidad del carbono, la eliminación de barreras institucionales y la conformación de una nueva cultura ambiental.

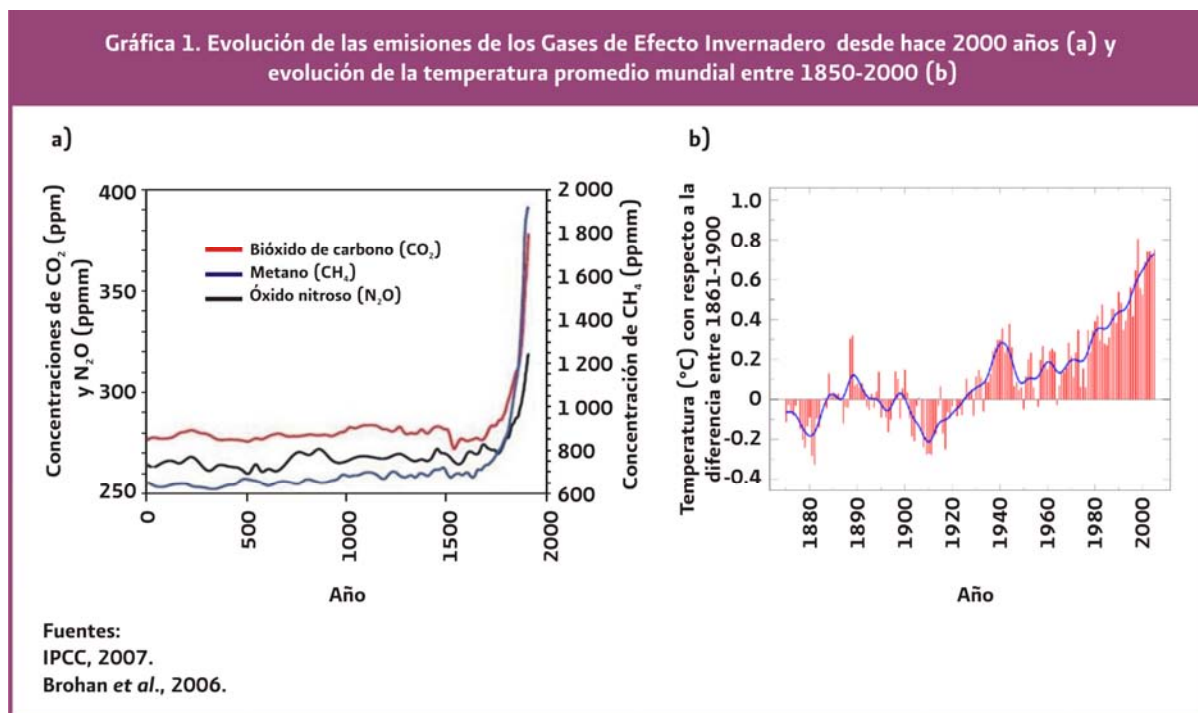
Los retos que implica el cambio climático son evidentemente impresionantes y en muchos casos con impactos ya inevitables. **La decisión estratégica fundamental consiste entonces no en reconocer la necesidad de enfrentar aquello que ya es inevitable sino descubrir la mejor forma de hacerlo.**

1. El cambio climático

1.1. El cambio climático: evidencia internacional

El cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático IPCC (2007) establece cuatro conclusiones científicas:

1. El calentamiento del sistema climático es inequívoco (Gráfica 1).
2. El aumento de los gases de efecto invernadero registra un incremento significativo desde 1850 asociado al proceso de industrialización ocasionando un aumento de la temperatura global el planeta y otros impactos climáticos (Gráfica 1).
3. El calentamiento global significará un aumento en la temperatura del planeta, con mayor probabilidad, de entre 1.1 a 4.5 grados centígrados, aunque existen incluso predicciones más pesimistas que llegan a 6 grados, y un incremento en el nivel del mar de 28 a 43 centímetros para este siglo, además se observarán cambios importantes en los patrones de precipitación y en los eventos climáticos extremos.
4. El cambio climático está teniendo una influencia discernible sobre muchos de los sistemas físicos y biológicos.



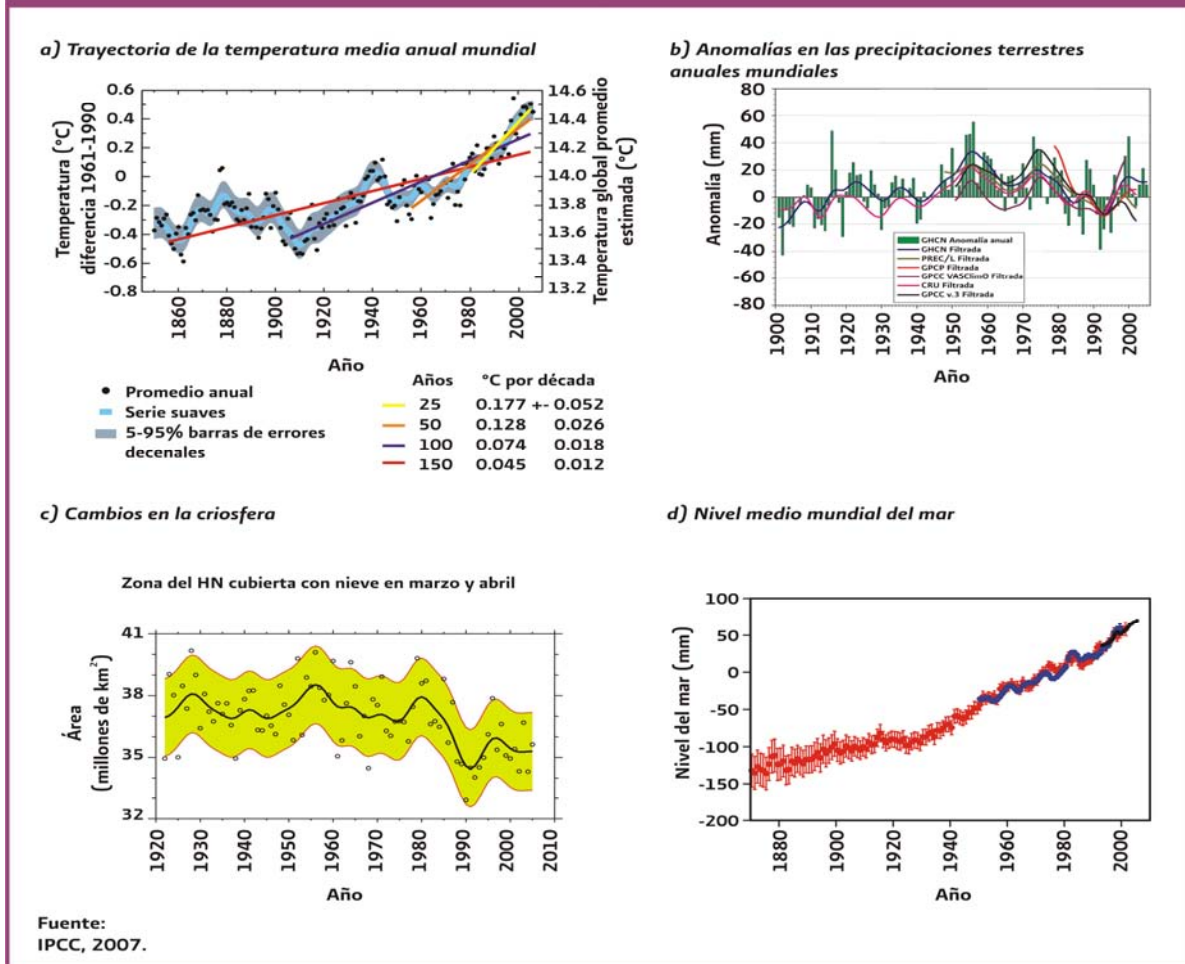
Estas cuatro conclusiones tienen su traducción práctica en lo que los propios científicos del IPCC llaman los patrones asociados al cambio climático: derretimiento de las capas de hielo, lo que provocaría el aumento del nivel del mar y la inundación y destrucción de algunas costas; presencia de lluvia en tiempos y lugares antes no existentes; sequías más prolongadas e intensas en otras zonas; extinción de muchas especies animales y vegetales; aumento de enfermedades; incremento en la intensidad de los eventos extremos como ciclones tropicales.

Las actividades antropogénicas y algunos procesos naturales son las causas directa e indirecta del cambio del sistema climático. Esto es, en las últimas décadas el aumento de la concentración² de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) es el factor dominante en el forzamiento radiativo (IPCC, 2007). De esta forma, la mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias mundiales desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento de las concentraciones de GEI de origen antropogénico. La evidencia disponible indica que la tasa de calentamiento durante los últimos 50 años ha sido en promedio $0.13^{\circ}\text{C} \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ por década, duplicándose en los últimos 100 años (Gráfica 2). Las precipitaciones más intensas (Gráfica 2) han crecido de una manera alarmante desde 1950, incluso en regiones donde las precipitaciones eran menores. Por otro lado, se han presentado aumentos en las sequías desde 1970, particularmente en los trópicos y subtrópicos, que están relacionadas con las disminuciones de las precipitaciones y con temperaturas más altas.

La evidencia disponible sobre la criósfera indica que se ha presentado una reducción importante en la capa de nieve principalmente del hemisferio norte de 1966 a 2005 en estaciones como la primavera registrando una disminución del 5% anual desde finales de los años ochenta. El deshielo del hemisferio norte está ocasionando variaciones en los niveles del mar. En los océanos el cambio climático se refleja en cambios en su temperatura y salinidad. Así, los indicadores muestran que el cambio en la temperatura de los océanos comenzó a mediados del siglo XX con un calentamiento sobre los 700 metros con respecto a las superficies del océano. En cuanto al nivel del mar se observa desde 1860 donde la tasa media mundial aumento desde 1993 hasta 2003 de 3.1 ± 0.7 mm año (Gráfica 2).

² La concentración actual de un gas de efecto invernadero en la atmósfera es el resultado neto de sus emisiones y eliminaciones pasadas en la atmósfera.

Gráfica 2. Observaciones del Cambio Climático

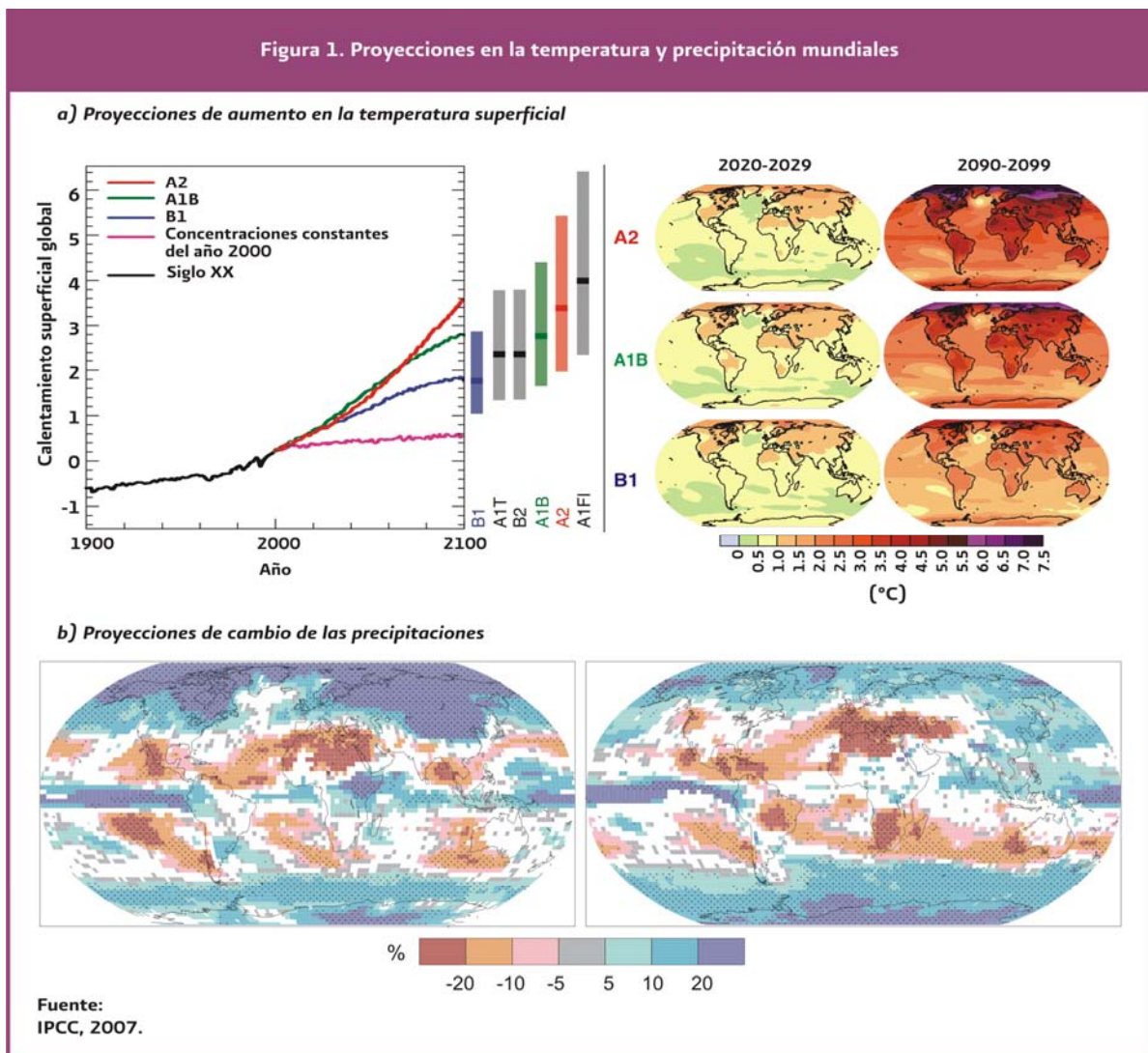


La asociación entre actividades económicas, emisiones de GEI y cambio climático permite la construcción de diversos escenarios de emisiones, con distintos supuestos económicos y sociales, con sus correspondientes consecuencias climáticas (Cuadro 1) donde destaca un rango esperado de calentamiento global que va de 0.3°C, en el caso de concentraciones constantes de Gases de Efecto Invernadero a 6.4°C, en el caso del escenario de emisiones más altas (A1FI), con una dispersión entre modelos y realizaciones promedio de entre 0.6°C a 4.0°C. En el caso de la precipitación, las proyecciones indican una tendencia decreciente en gran parte de las zonas subtropicales, aunque estas proyecciones tienen una mayor dispersión entre modelos y realizaciones (Figura 1). Las diferencias entre modelos y realizaciones (experimentos con modelos que parten de condiciones iniciales distintas) permiten una primera aproximación a la incertidumbre en los escenarios de cambio climático. Así, prácticamente no existe incertidumbre de que el planeta aumentará su temperatura, aunque persiste una incertidumbre significativa sobre las proyecciones con las lluvias a nivel regional y otros eventos climáticos.

Cuadro 1.
Calentamiento medio mundial proyectado para la superficie e incremento del nivel del mar a finales del siglo XXI

Caso	Cambio de temperatura (°C a 2090–2099 relativo a 1980–1999) ^a		Aumento del nivel del mar (m a 2090–2099 relativo a 1980–1999)
	Mejor cálculo	Margen probable	Margen basado en modelos ^c
Concentraciones durante el año constante 2000 ^b	0.6	0.3 – 0.9	NA
Escenario B1	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
Escenario A1T	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
Escenario B2	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
Escenario A1B	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
Escenario A2	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
Escenario A1FI	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Notas: ^a Estos cálculos se evalúan a partir de una jerarquía de modelos que abarca un modelo sencillo de clima, varios Modelos de Sistemas Terrestres de Complejidad Intermedia (EMIC), y una gran cantidad de Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano (MCMAO). ^b La composición constante para el año 2000 se deriva solamente de MCMAO. ^c Se excluyen los cambios rápidos, dinámicos futuros en el flujo de hielo. Fuente: IPCC, 2007.



Escenarios de cambio climático del IPCC

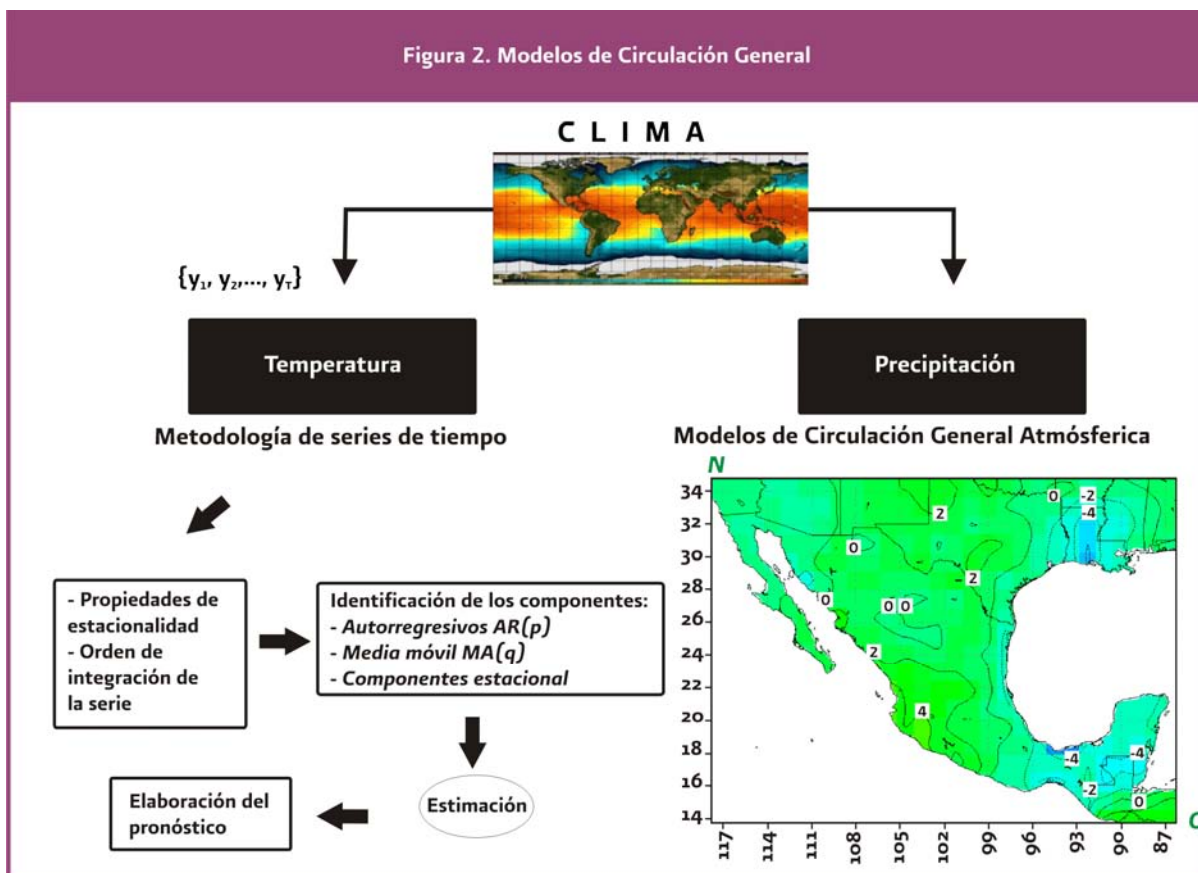
1. La familia de líneas evolutivas y escenarios **A1** describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados de siglo y disminuye posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Sus características distintivas más importantes son la convergencia entre regiones, la creación de capacidades e interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingresos por habitante.
2. La familia de líneas evolutivas y escenarios **A2** describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las entidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.
3. La familia de líneas evolutivas y escenarios **B1** describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados de siglo y desciende posteriormente, pero con rápidos cambios en las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y la introducción de tecnologías limpias, con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y ambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.
4. La familia de líneas evolutivas y escenarios **B2** describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Es un mundo cuya población aumenta a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios y con un cambio tecnológico más lento y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

Fuente: IPCC, 2007

1.2. El cambio climático en México: evidencia y proyecciones

El clima es producto de la constante y compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo y nieve, los continentes y la vida en el planeta y las actividades económicas en general. Las formas de la variabilidad del clima son múltiples y en consecuencia el realizar una proyección sobre dicha variabilidad resulta una tarea compleja y más aun para regiones específicas. Existen diversas alternativas para simular y proyectar el clima futuro en donde destaca el uso de los Modelos de Circulación General y la aplicación de modelos estocásticos por ejemplo para la

temperatura (Figura 2). Esta segunda opción, resulta particularmente importante para identificar los componentes de la evolución de las series de temperatura atendiendo a la presencia del fenómeno de calentamiento global o simplemente a una anomalía observada que explica la volatilidad de la serie. Debe sin embargo reconocerse que persiste en estos modelos un nivel de incertidumbre importante, en particular al realizar proyecciones de muy largo plazo.



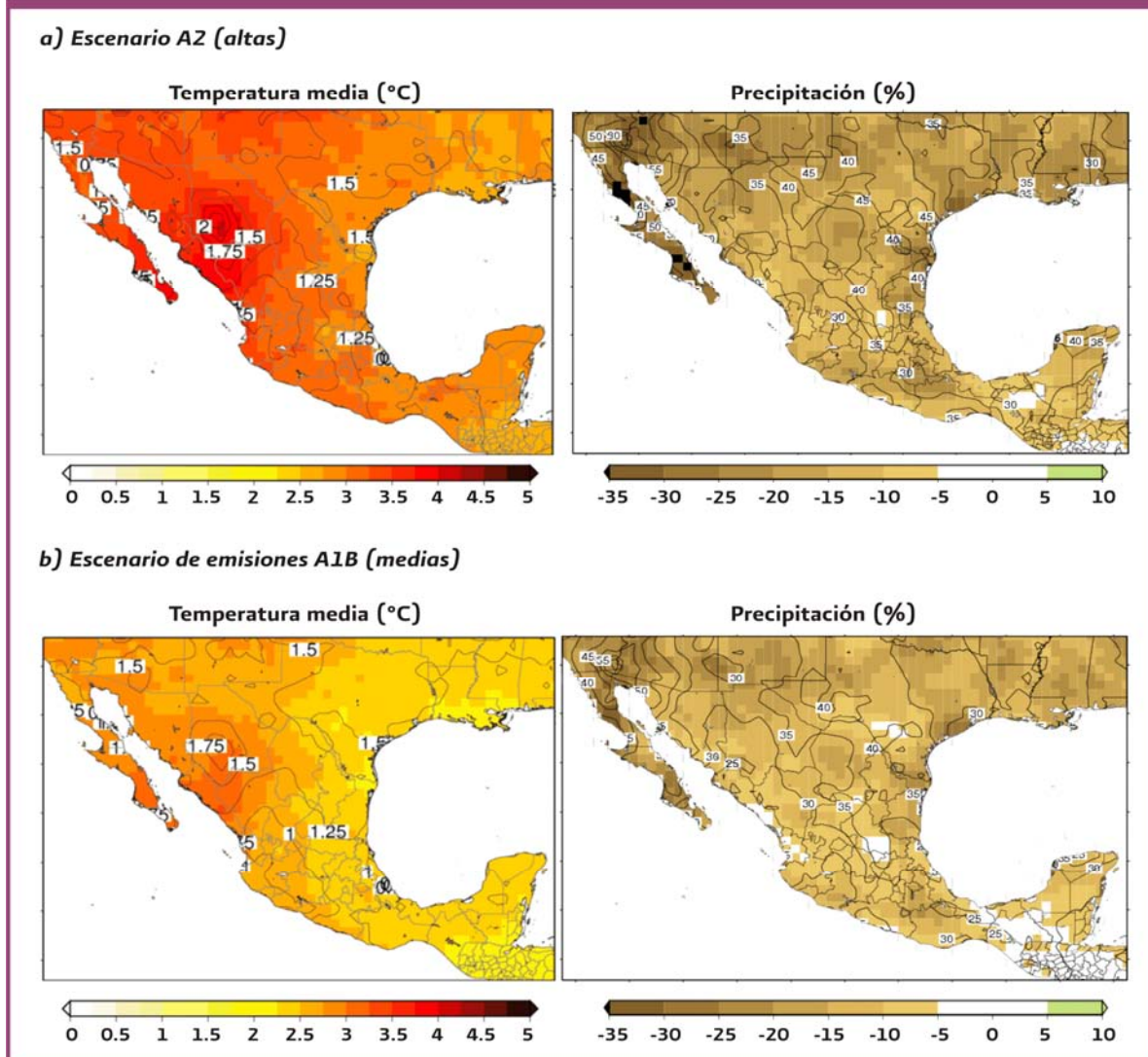
El análisis de las series de tiempo de temperatura y precipitación para México con modelos ARIMA y pruebas de raíces unitarias permite confirmar la presencia de un aumento paulatino de la temperatura y un comportamiento más oscilante en los patrones de precipitación. Con base en estos resultados es factible obtener una proyección de la temperatura media por estado para el 2050 y el 2100. Estos resultados pueden ser utilizados como una trayectoria base *conservadora* para analizar los impactos del cambio climático en México, considerando que los modelos retoman la tendencia registrada en las últimas cuatro décadas.

La metodología de series de tiempo permite entonces realizar un pronóstico de la trayectoria de la temperatura hacia el futuro, sin embargo, ello sólo representa una guía y resulta un tanto limitada respecto a una metodología más general, como es el caso de los Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano que muestran trayectorias climáticas más pronunciadas. En efecto, los cambios en el clima pueden ser producto de variaciones en los procesos climáticos internos, como inestabilidades en la atmósfera y/o el océano o de forzamientos externos, como variaciones en la actividad solar, la temperatura de la superficie del mar, cambios en el uso de suelo y en la

composición de la atmósfera, a lo que se adjuntan las concentraciones de los GEI derivadas de las actividades humanas. De esta manera, los escenarios climáticos más probables se construyeron con base en información del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM utilizando Modelos de Circulación General (MCGs), con técnicas que permiten aumentar la resolución espacial de las proyecciones hacia finales del presente siglo (Figura 3), principalmente para las variables de temperatura media y precipitación. Los escenarios son desde luego sólo una representación de la forma en que se vería el clima de México en el futuro en un contexto de calentamiento global y mantienen un cierto nivel de incertidumbre que se refleja en la dispersión de las simulaciones. Así, la medida de dispersión indica en promedio lo que los modelos sugieren, que el cambio es en una cierta dirección pero persisten algunos modelos y proyecciones que sugieren que el valor será el de la media más/menos el valor del rango de dispersión. En todo caso, la incertidumbre es inherente a cualquier proyección del futuro. En este sentido, como en cualquier problema de gestión de riesgo aún con incertidumbre se debe actuar preventivamente de considerarse que el nivel de riesgo es inaceptable. Los principales resultados obtenidos para México indican para finales del presente siglo lo siguiente:

- En el escenario A2, el cambio en temperatura media se proyecta entre 2.5 y 4.0°C, con un rango de variación de 1.0 a 2.5°C, dependiendo de la región, siendo el noroeste de México donde se esperan los mayores aumentos.
- En el escenario A1B se reporta un aumento promedio de entre 1.5 y 3.0°C, con una variación de 0.5 a 1.5°C.
- En el escenario B1, el aumento de temperatura se ubica entre 1 y 2°C con dispersión en las proyecciones entre 0.5 y 1°C.
- Prácticamente todas las realizaciones indican un cambio positivo en la temperatura media, siendo el mayor calentamiento en el norte y noroeste de México.
- Bajo el escenario A2 la precipitación promedio anual podría disminuir en promedio para todo el país en orden de 11% con un rango de variación espacial en el ensamble de entre -5.7 a -17.8%.
- En el escenario A1B la reducción en precipitación podría ser de -8.7% con una variación de -15 a -3.5%. La dispersión entre escenarios de hasta 45% indica que existen diversos modelos que proyectan incrementos de precipitación de hasta +10%. Por esta razón existe una mayor incertidumbre en la dirección de cambio de la precipitación.
- En el escenario B1 los resultados también reportan una disminución general de los niveles de precipitación de aproximadamente -6% con una variación de -8.3 a -3.5%, aunque como en los otros escenarios, existen modelos (los menos) que sugieren que las lluvias pueden incrementarse.
- Así, en general los resultados muestran una gran dispersión en la precipitación, en términos de la variación porcentual. Destaca que, bajo el escenario A2, los estados del norte muestran una disminución porcentual importante.

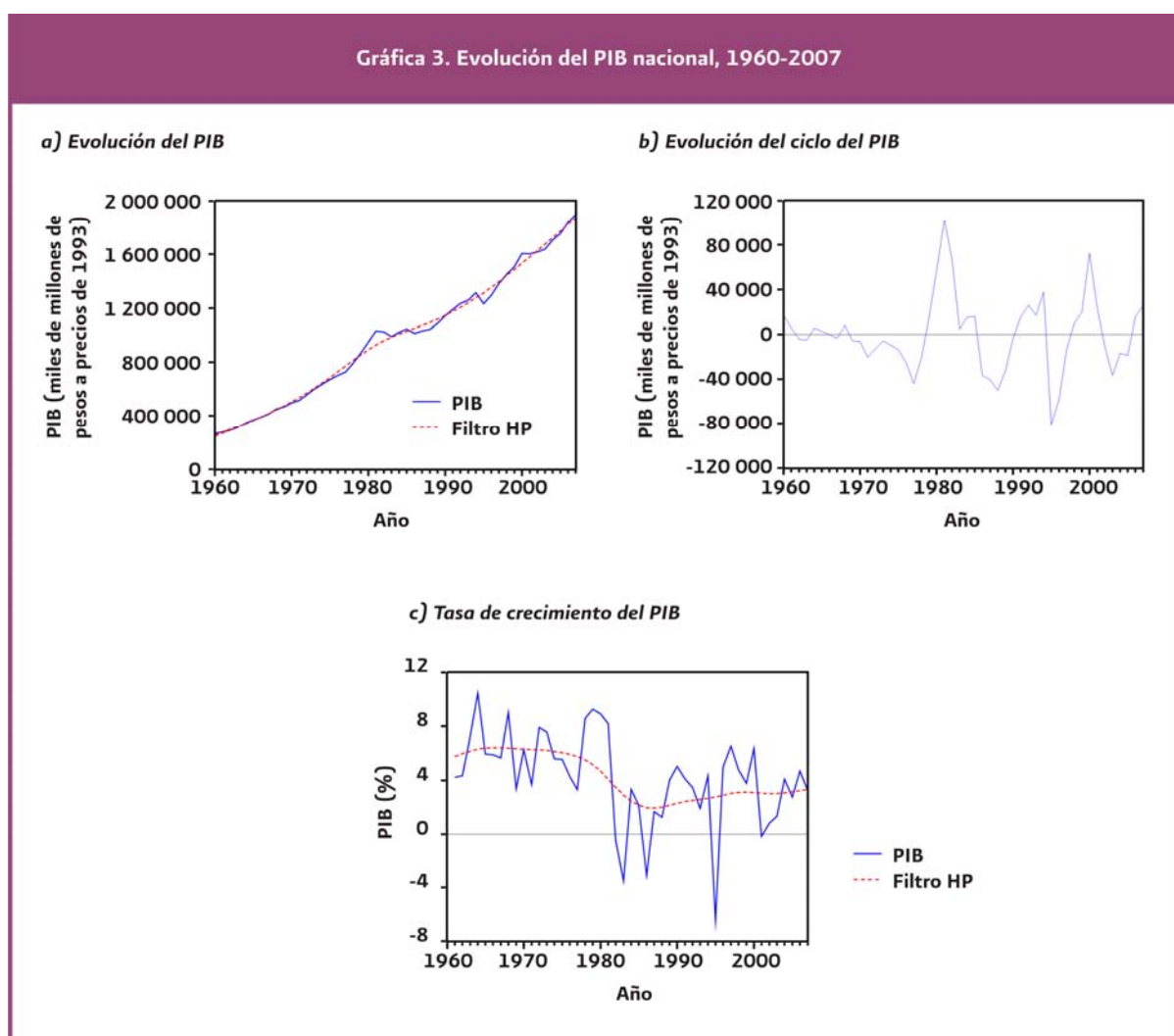
Figura 3. Ensamble de cambios proyectados en temperatura media anual (°C) y precipitación anual (%) bajo diversos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (sombreado en colores) y dispersión entre los modelos (líneas sólidas)



La metodología aplicada en este estudio para relacionar estos eventos climáticos con la evolución económica se basó en analizar, por un lado, los impactos asociados al cambio climático, incluyendo la vulnerabilidad y los procesos de adaptación y, por otro, en considerar la contribución mexicana de la generación de GEI y el proceso de mitigación. En este contexto el análisis económico del cambio climático requiere considerar la construcción de escenarios base (*business as usual*, BAU) donde no se incluye, inicialmente, el impacto del cambio climático y más adelante, escenarios en los que se toma en cuenta el cambio climático. La diferencia entre estos dos escenarios es entonces el impacto del cambio climático. En este mismo sentido, se construyó un escenario inercial de emisiones que fue contrastado con las estrategias de mitigación respectivas.

2. Evolución reciente y perspectivas de la economía mexicana

La construcción, simulación y proyección de escenarios económicos, sectoriales y demográficos vinculados con escenarios energéticos, regionales y ambientales es ciertamente una tarea compleja con un alto grado de incertidumbre. En particular, los factores que explican los ritmos de crecimiento de las economías son ciertamente múltiples e incluyen tanto factores de oferta y demanda como shocks internos y externos. La evidencia disponible muestra que el PIB en México sigue un proceso de crecimiento económico con un patrón de fluctuaciones alrededor de una tendencia ascendente (Gráfica 3) (Hodrick y Prescott, 1997 y Blanchard, 1997). Asimismo, se observa que la tasa de crecimiento promedio de la economía mexicana se redujo a lo largo del tiempo con un aumento de su volatilidad cíclica.

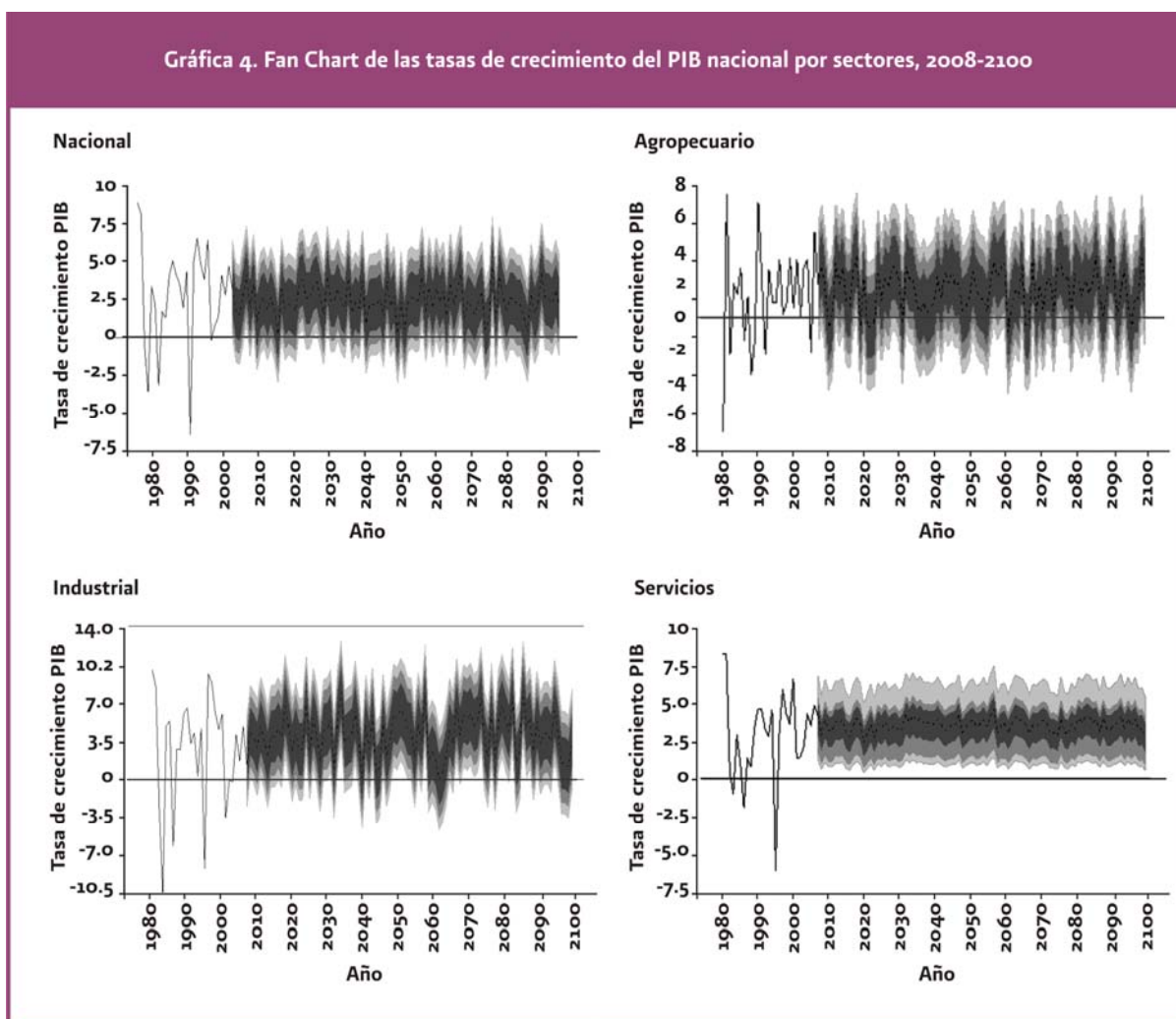


Estas tasas de crecimiento pueden, de una forma simple, aproximarse por una distribución de frecuencias trimodal que contiene obviamente tres grandes escenarios. En efecto la tasa de crecimiento muestra una mayor frecuencia (50% de los casos) de tasas de crecimiento en el rango de 2 a 5% anual. En un segundo término, se ubican las tasas mayores a 5% y con una menor

probabilidad se ubican las tasas menores a 2%, asociadas sobre todo a la década de los ochenta y la crisis de 1995. En este contexto la tasa promedio esperada de largo plazo de la economía mexicana se ubica en promedio del 3.5% con un rango de 60% de probabilidad (Cuadro 2 y Gráfica 4). El análisis sectorial, similar al nacional, se sintetiza también en la Gráfica 4 y el Cuadro 2³.

Cuadro 2.
Escenario base de crecimiento del PIB
considerando el 60% de probabilidad

Probabilidad del escenario	Límite inferior	Media	Límite superior
PIB nacional	2.9	3.5	4.3
PIB agropecuario	1.6	2.2	2.8
PIB industrial	2.1	2.8	3.4
PIB servicios	2.4	3.7	5.1



³ Las distribuciones de probabilidad no necesariamente generan consistencia en los escenarios sectoriales.

Además, se construyó un modelo econométrico simple de pequeña escala para identificar posibles procesos de retroalimentación y para la realización de algunos escenarios básicos (Figura 4). Los escenarios poblacionales se obtuvieron directamente del CONAPO y se extrapolaron al 2100, lo que permitió proyectar el PIB *per cápita*.

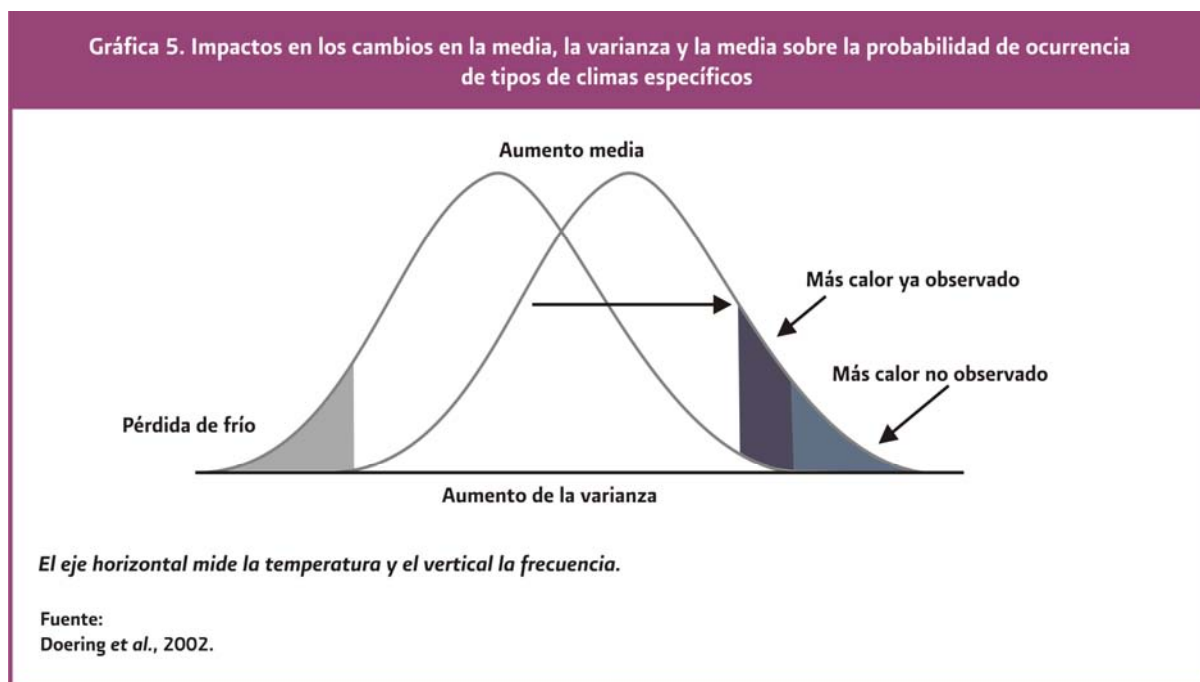
Figura 4. Modelo de crecimiento económico

Modelo PIB	$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_2 \Delta Y_{t-1} + \delta [Y_{t-1} - \alpha_1 I_{t-1} - \alpha_2 W F_{t-1} - \alpha_3 R_{t-1} - \alpha_4 P R E_{t-1} - \alpha_4 S R_{t-1}] + u_t$
	Consumo $\Delta C_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta C_{t-1} + \delta [C_{t-1} - \alpha_1 Y_{t-1} - \alpha_2 W_{t-1}] + u_t$
Demanda Agregada	Inversión $\Delta I_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta I_{t-1} + \delta [I_{t-1} - \alpha_1 Y_{t-1} - \alpha_2 R_{t-1}] + u_t$
	Exportación $\Delta X_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta X_{t-1} + \delta [X_{t-1} - \alpha_0 - \alpha_1 Y_{t-1}^u - \alpha_2 T C R_{t-1}] + u_t$
	Importación $\Delta M_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta M_{t-1} + \delta [M_{t-1} - \alpha_0 - \alpha_1 Y_{t-1} - \alpha_2 T C R_{t-1}] + u_t$
Gobierno	$\Delta G_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta G_{t-1} + \delta [C_{t-1} - \alpha_1 Y_{t-1}] + u_t$
Modelos sectoriales	$\Delta Y_{it} = \Delta Y_{it-1} f [Y_{it-1} - \beta_0 - \beta_2 Y_{t-1} + \beta_3 T C R_{t-1} + \beta_4 P R E_{t-1}] + u_t$

3. Principales impactos del cambio climático en México.

3.1. El sector agropecuario

El sector agropecuario es una actividad fundamental en la economía mexicana atendiendo a su participación en el PIB, al empleo directo e indirecto que genera y a su asociación con los ingresos de los agentes económicos en zonas rurales. La evidencia disponible sugiere que la evolución del sector agropecuario depende del capital invertido, de la combinación de insumos, de los fertilizantes, de la tecnología, de la irrigación, del tipo de administración de riesgos, de los pesticidas, del empleo, del nivel de emisiones de CO₂ y de las características del suelo pero también de los factores climáticos. En este contexto, se considera que los cambios climáticos son un fenómeno estocástico (Doering et al., 2002) y en ese sentido identificar sus impactos específicos resulta complejo ya que, por ejemplo, la temperatura media recorre el conjunto de la distribución a la derecha pero ello no modifica completamente el clima sólo cambian los casos extremos (Gráfica 5). Además, los impactos climáticos pueden ser muy específicos y sus impactos estar determinados por su asociación con los ritmos de siembra o cosecha.



La evidencia internacional disponible sobre los impactos del cambio climático en el sector agropecuario es ciertamente compleja y disímil, pero puede sintetizarse en:

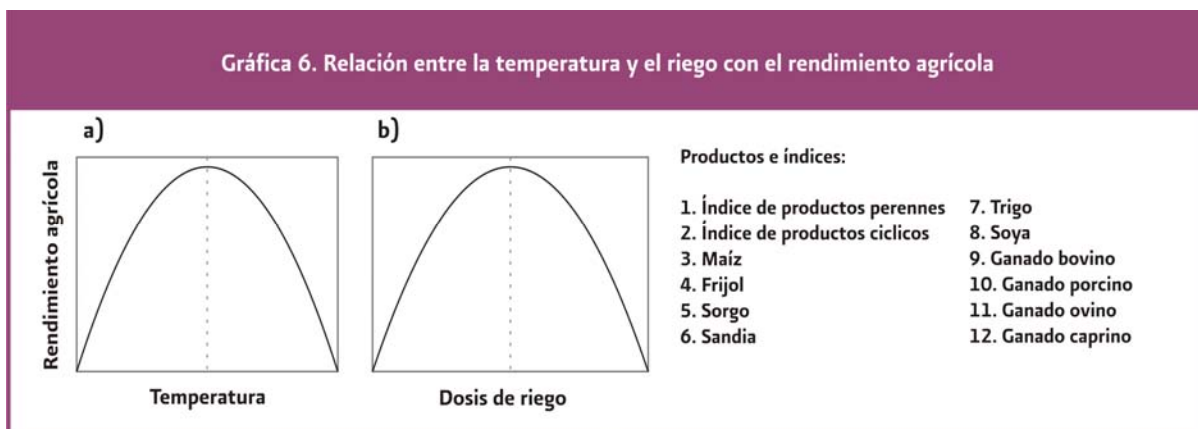
1. El aumento del CO₂ tiene un impacto positivo significativo sobre la producción y el rendimiento del sector agropecuario al menos dentro de ciertos rangos.
2. Un aumento de la temperatura tiene un impacto inicial positivo en la producción y en los rendimientos; sin embargo, pasando ciertos límites de temperatura los impactos se hacen

negativos. Los cambios en los patrones de precipitación tienen un impacto importante en la producción y los rendimientos agropecuarios que puede también representarse como una función no lineal similar a la temperatura.

3. En la mayoría de los resultados empíricos se observa que los cambios en la temperatura son más importantes que aquellos asociados a la lluvia.
4. Los impactos específicos son fuertemente dependientes de los agro-climas, del tipo de suelo y de la sensibilidad al CO₂ lo que incluye un nivel de incertidumbre adicional a las proyecciones.

En este estudio se utilizaron tres modelos para el sector agrícola que permiten identificar los impactos del cambio climático y que corresponden a la información disponible para México, aunque existe desde luego una gran diversidad de modelos posibles con especificaciones alternativas y más específicas. Estos tres modelos confirman los impactos del cambio climático en México aunque difieren sobre la magnitud específica de los impactos. Debe sin embargo reconocerse que es necesario avanzar en estimaciones más detalladas por regiones, incluyendo un mayor número de variables.

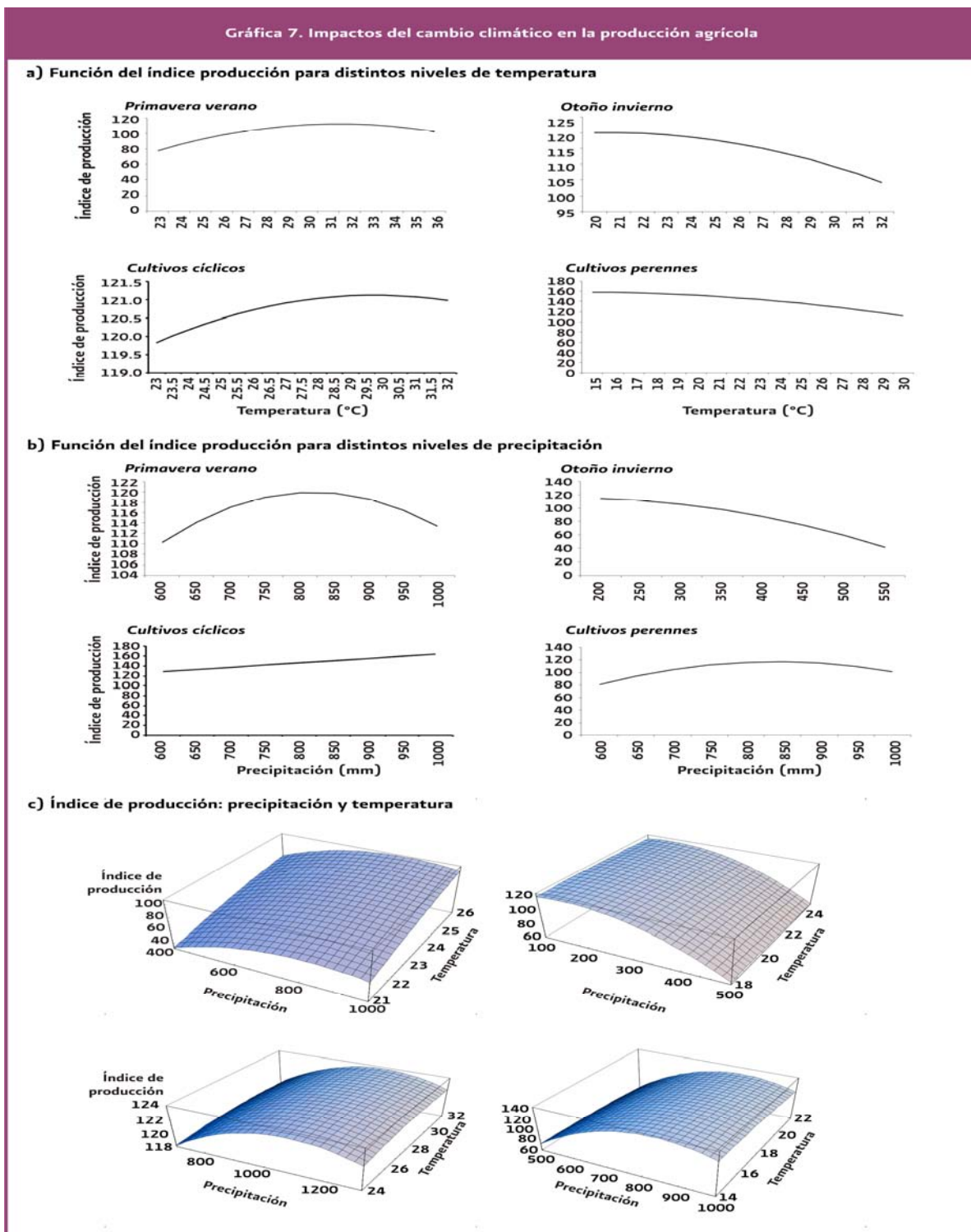
1. **Modelo de función de producción:** este modelo corresponde a una función de producción incluyendo, en la medida de la información disponible, mano de obra, capital, semilla, fertilizantes y otros insumos; además incorpora al clima y a la cuota de agua de riego (Fleischer *et al.*, 2008). Estos modelos se estimaron para México, utilizando el procedimiento de lo general a lo específico con constante, tendencia, irrigación y variables climáticas, por productos a nivel nacional y por estado, y se construyó un índice del tipo Laspeyres para los productos cíclicos y perennes, para las dos distintas estaciones del año. La evidencia empírica para México presenta entonces una relación cóncava entre temperatura y rendimientos y/o producción (Gráfica 6a) de modo que la temperatura estimula inicialmente el crecimiento de las cosechas para, posteriormente, reducirlo (Doering *et al.*, 2002). El agua tiene también un efecto no lineal en la producción y en los rendimientos agrícolas (Gráfica 6b). Este resultado es robusto y se repite en el conjunto de estimaciones realizadas más allá de los valores específicos.



2. **Un modelo de tipo Ricardiano** (Deschenes y Greenstone, 2006 y Mendelsohn, Nordhaus y Shaw, 1994). Este modelo se fundamenta en el supuesto de que el valor de la tierra agrícola refleja la productividad de la tierra, y por tanto que las variaciones climáticas que inciden en la productividad pueden capturarse a través de la renta agrícola.
3. **Un modelo de heteroscedasticidad condicional** (Engle, 1982). Este modelo estima la creciente volatilidad de las series que se asocia a la presencia de una mayor incertidumbre y riesgo en el sector a consecuencia parcialmente de condiciones climáticas más volátiles (Just, 1974).

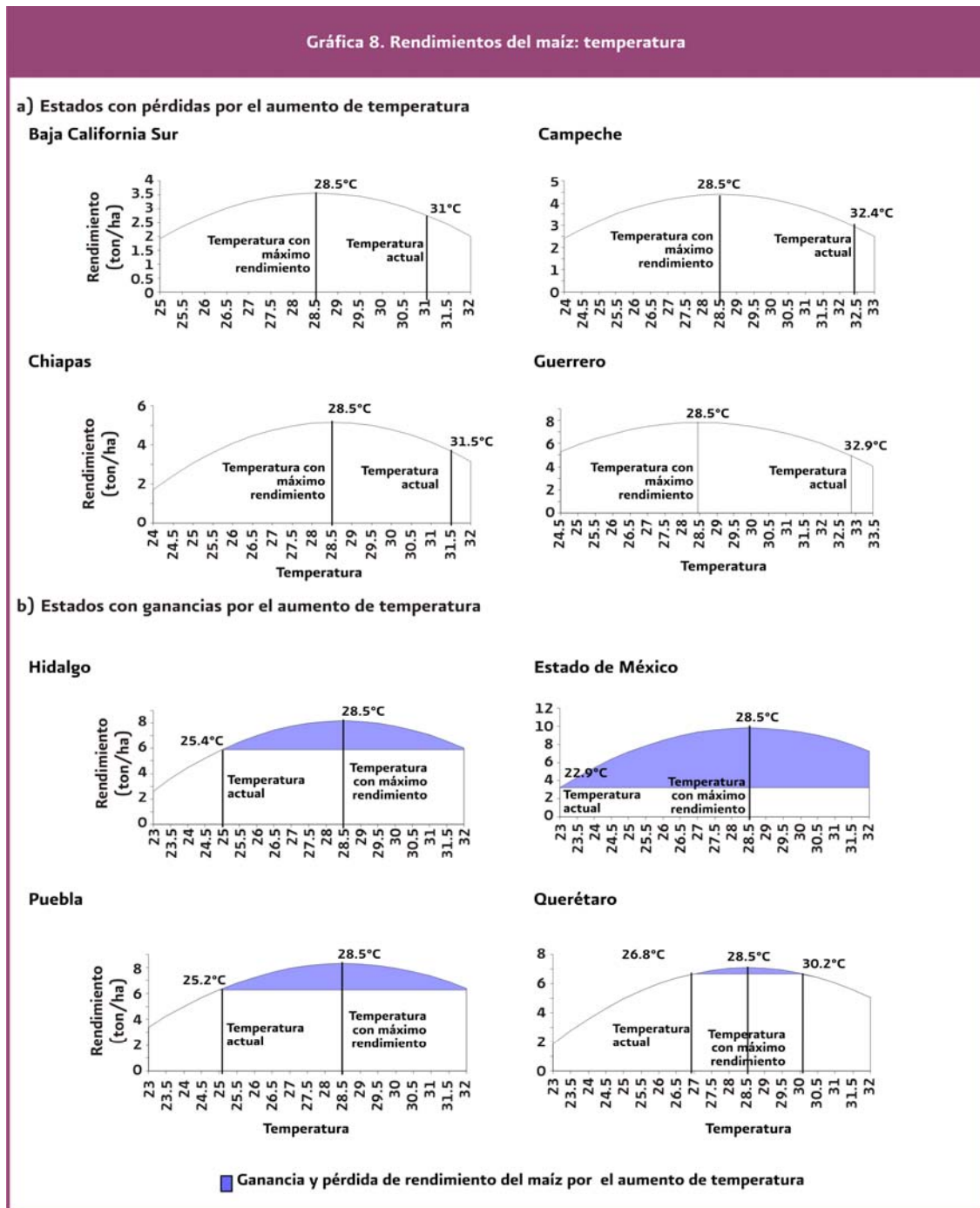
El conjunto de los resultados obtenidos permiten hacer varias inferencias sobre la producción agrícola y los impactos del cambio climático:

1. Los rendimientos y la producción agrícola dependen del clima con impactos heterogéneos por regiones, no lineales y crecientes en el tiempo. Asimismo, se observa que cada ciclo productivo y cada producto tiene diferentes sensibilidades de respuesta a la temperatura y la precipitación, incluso por región (Gráfica 7a y 7b). Por ejemplo, para el maíz (Gráfica 8a y Gráfica 8b).
2. El análisis conjunto de los efectos climáticos muestra que, dentro de ciertos rangos, es posible compensar el aumento de temperatura con una mayor cantidad de agua (Gráfica 7c). Sin embargo, este procedimiento tiene límites y no es sustentable en el largo plazo ya que genera externalidades negativas asociadas a la sobreexplotación de los recursos acuíferos.

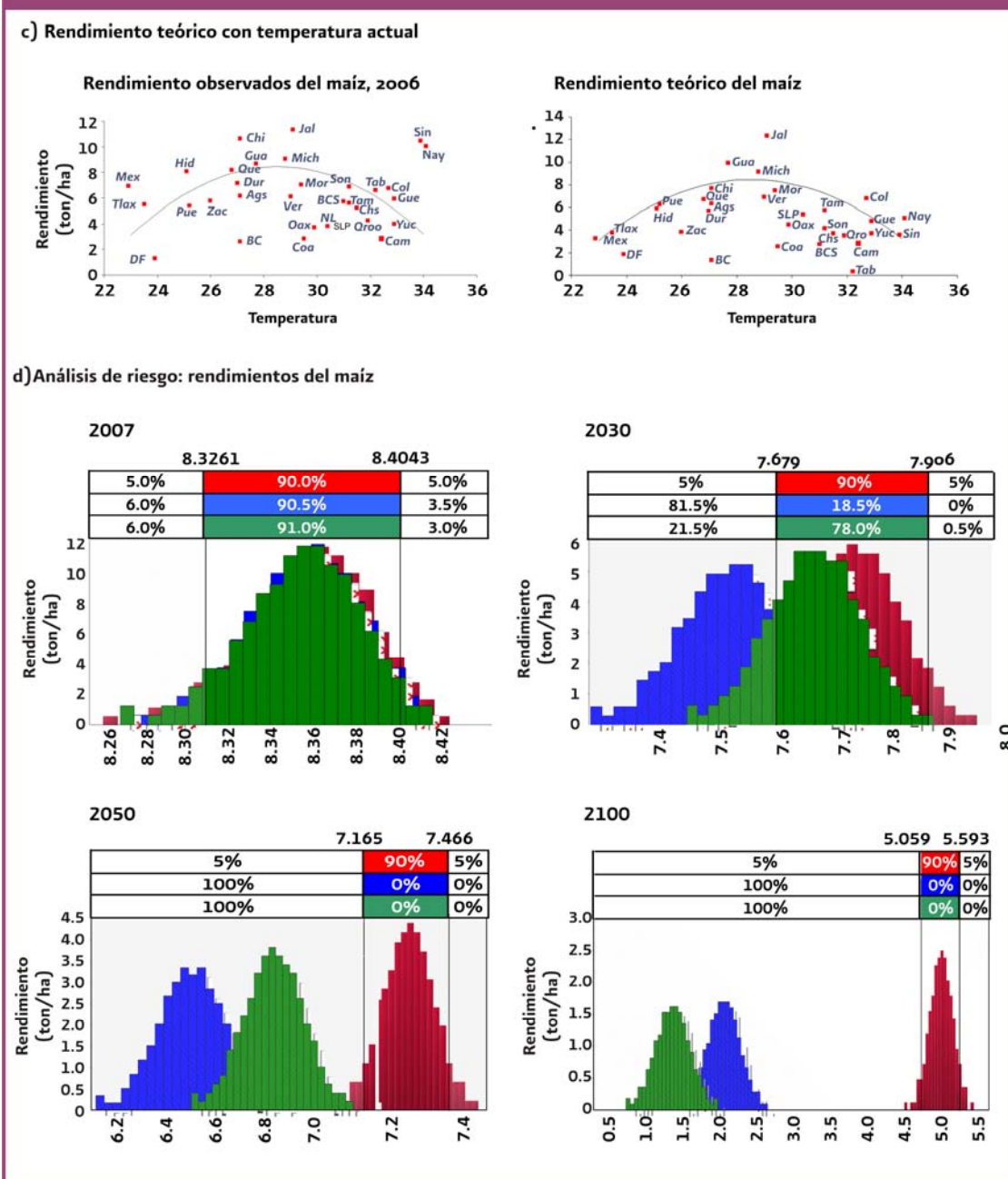


3. El rendimiento teórico y observado para cada estado con la temperatura del 2006 se sintetiza en la Gráfica 8c en donde se aprecia que existe un comportamiento relativamente similar entre ambos casos con la notable excepción de Sinaloa y Nayarit que muestran altos rendimientos por arriba de lo proyectado por la temperatura; ello probablemente es consecuencia de una mejor

infraestructura y tecnología de riego lo que muestra la importancia de los procesos de adaptación.



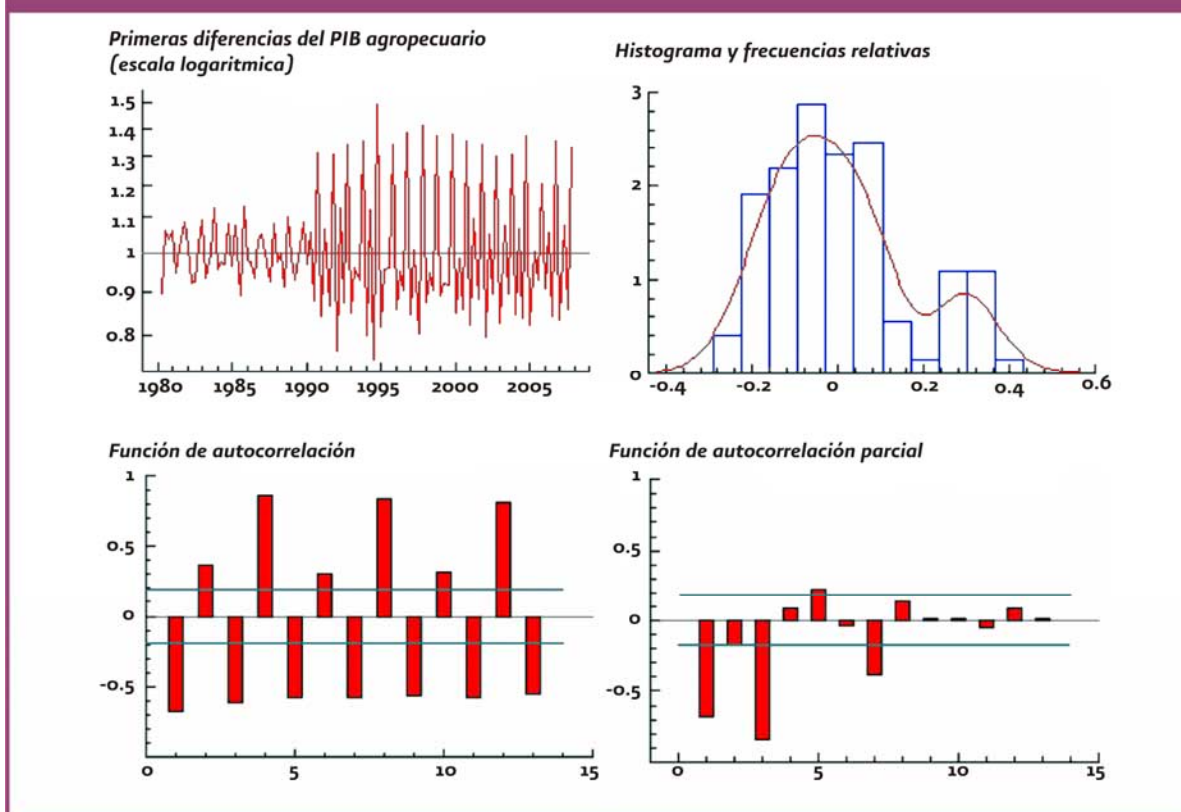
Gráfica 8. Rendimientos del maíz: temperatura (conclusión)



4. Se realizaron análisis de riesgo para cada uno de los índices y productos modelados, con diferentes escenarios de cambio climático proyectados hasta el 2100. La gráfica 8d muestra que los escenarios climáticos del IPCC tienen una intersección importante hasta el 2050 pero después se aprecia que se separan; ello sugiere que los escenarios climáticos seleccionados serán fundamentales en la segunda mitad del siglo. Asimismo, se observa una importante caída de los rendimientos agrícolas para el 2100. Ello es, desde luego, sólo hipotético ya que supone que el resto de las condiciones permanecen constantes.

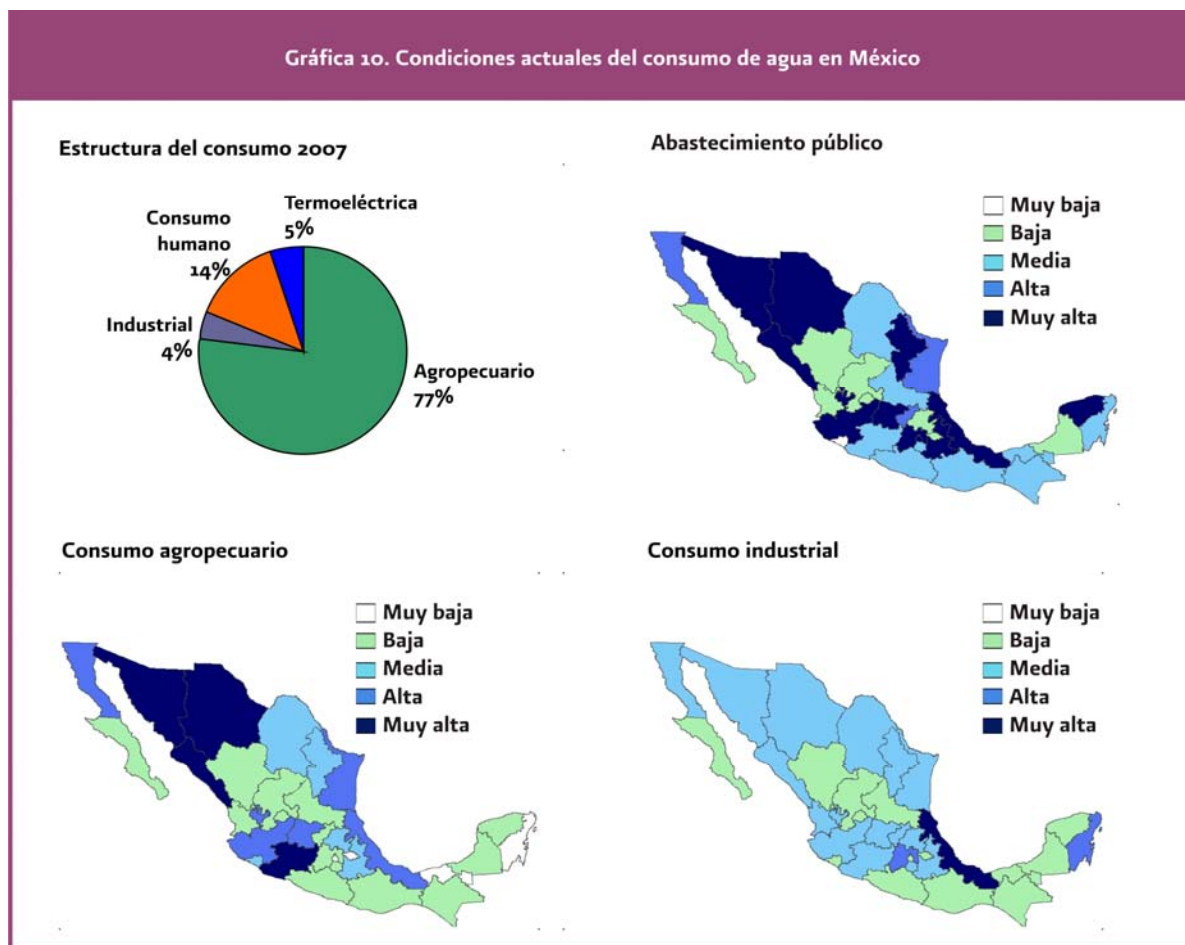
5. La producción y en general el conjunto de las actividades agropecuarias muestran un comportamiento estocástico que se traduce en oscilaciones importantes a lo largo del tiempo lo que implica un nivel de riesgo e incertidumbre (Just, 1974). Así, la tasa de crecimiento del PIB agropecuario puede describirse como un proceso estocástico estacionario directamente o ya sea alrededor de una tendencia determinística o estocástica y una constante. Dichas fluctuaciones están asociadas a factores socioeconómicos y eventos climáticos e incluso a impactos relacionados con las políticas públicas instrumentadas. La evidencia sugiere (con un modelo GARCH o TGARCH (Engle, 1982) que esta tasa de crecimiento del PIB agropecuario tiene una volatilidad variable que se modifica en el tiempo (Gráfica 9) y que existe el conocido “leverage effect” (Brooks, 2002) en el sentido de que las malas noticias incrementan la volatilidad. Es decir, contracciones en las actividades agropecuarias inducen un aumento en la dispersión de las tasas de crecimiento y por tanto generan un mayor nivel de riesgo. Esta trayectoria del PIB agropecuario se traduce en procesos de prevención de riesgo que no buscan maximizar las ganancias, sino protegerse ante una pérdida catastrófica y de un riesgo asimétrico a través de diversificar los tipos de cultivos y el conjunto de las actividades económicas (Gráfica 9). En este caso, la instrumentación de políticas públicas que busque contribuir a maximizar la producción será ineficiente al no contemplar la necesidad de diversificar la producción para administrar el riesgo inherente a la producción agropecuaria.

Gráfica 9. Comportamiento del PIB agropecuario, 1980-2007

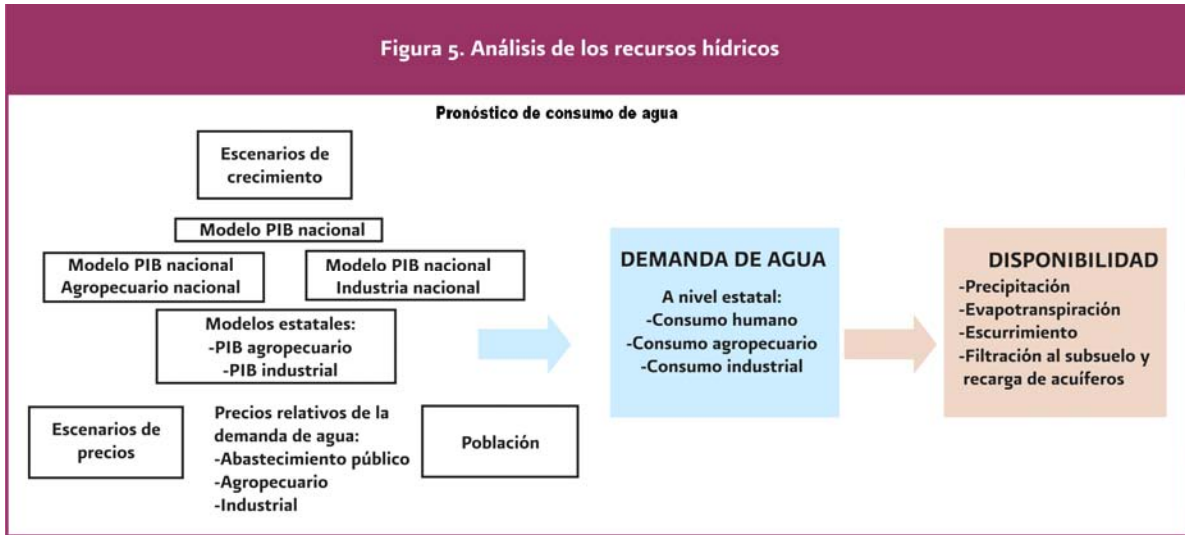


3.2. Recursos hídricos

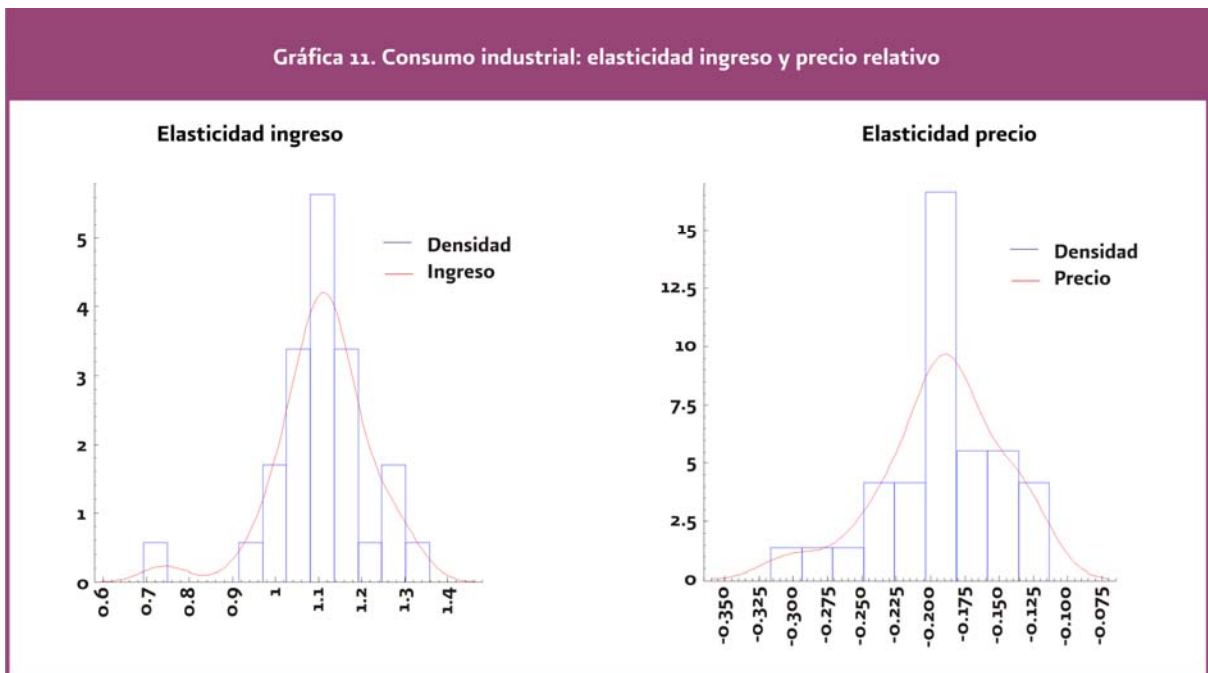
El agua es un recurso fundamental para la vida y, desde luego, para el conjunto de las actividades económicas. Los recursos hídricos en el país son escasos y se distribuyen de manera muy heterogénea regionalmente. Asimismo, se observa que los principales consumos de agua que corresponden al sector agropecuario, residencial e industria se distribuyen también muy heterogéneamente en el país (Gráfica 10).



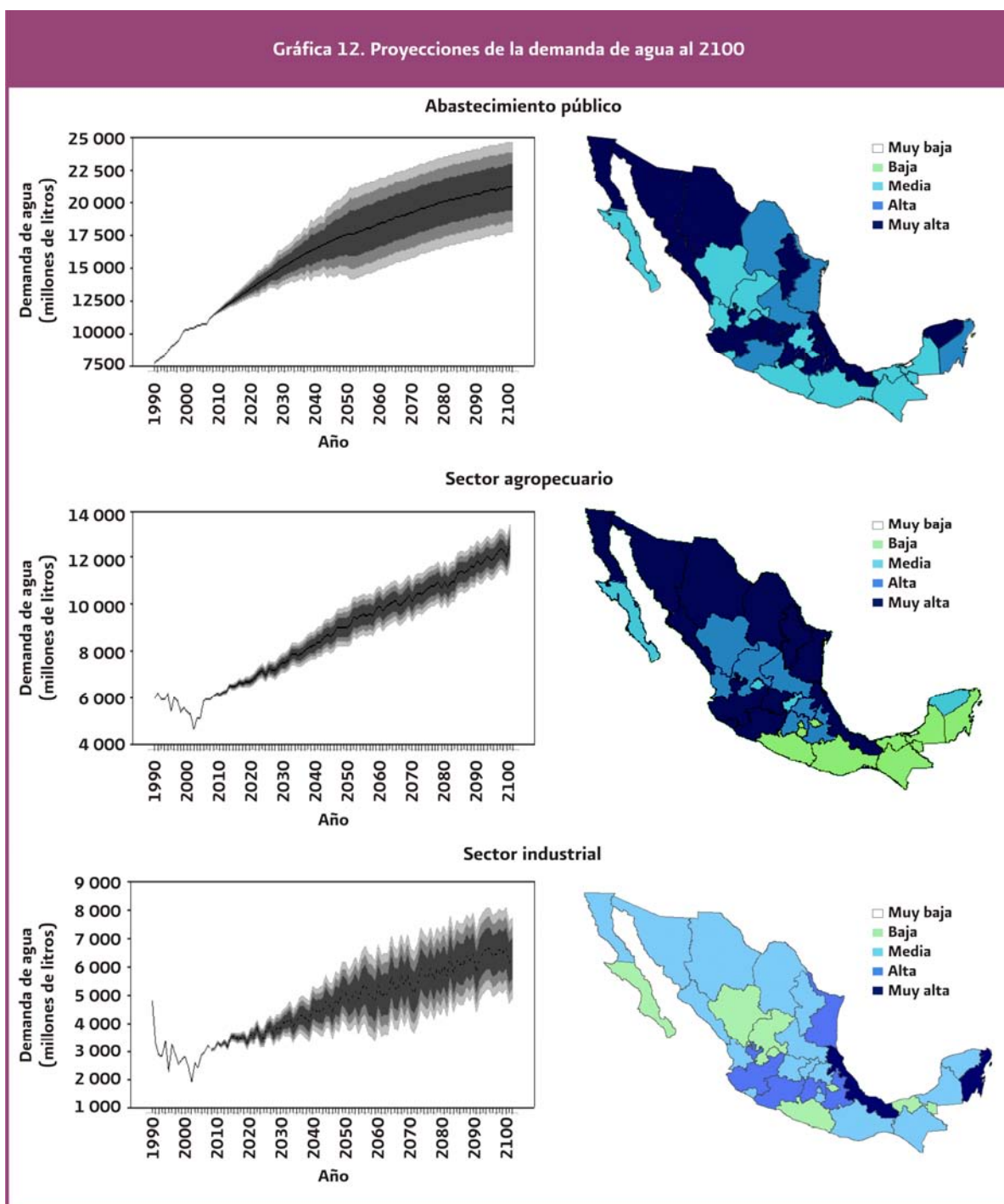
El cambio climático incide de manera directa tanto en la demanda como en la disponibilidad de agua y por esta vía tiene costos económicos significativos (Figura 5). Las líneas base de la demanda se construyeron a través de estimar el consumo nacional y por estados de los tres sectores que se dispone información (abastecimiento público, uso agropecuario y uso industrial). Las estimaciones obtenidas indican que el consumo de agua es función del nivel de ingreso, de la población y de los precios relativos del agua.



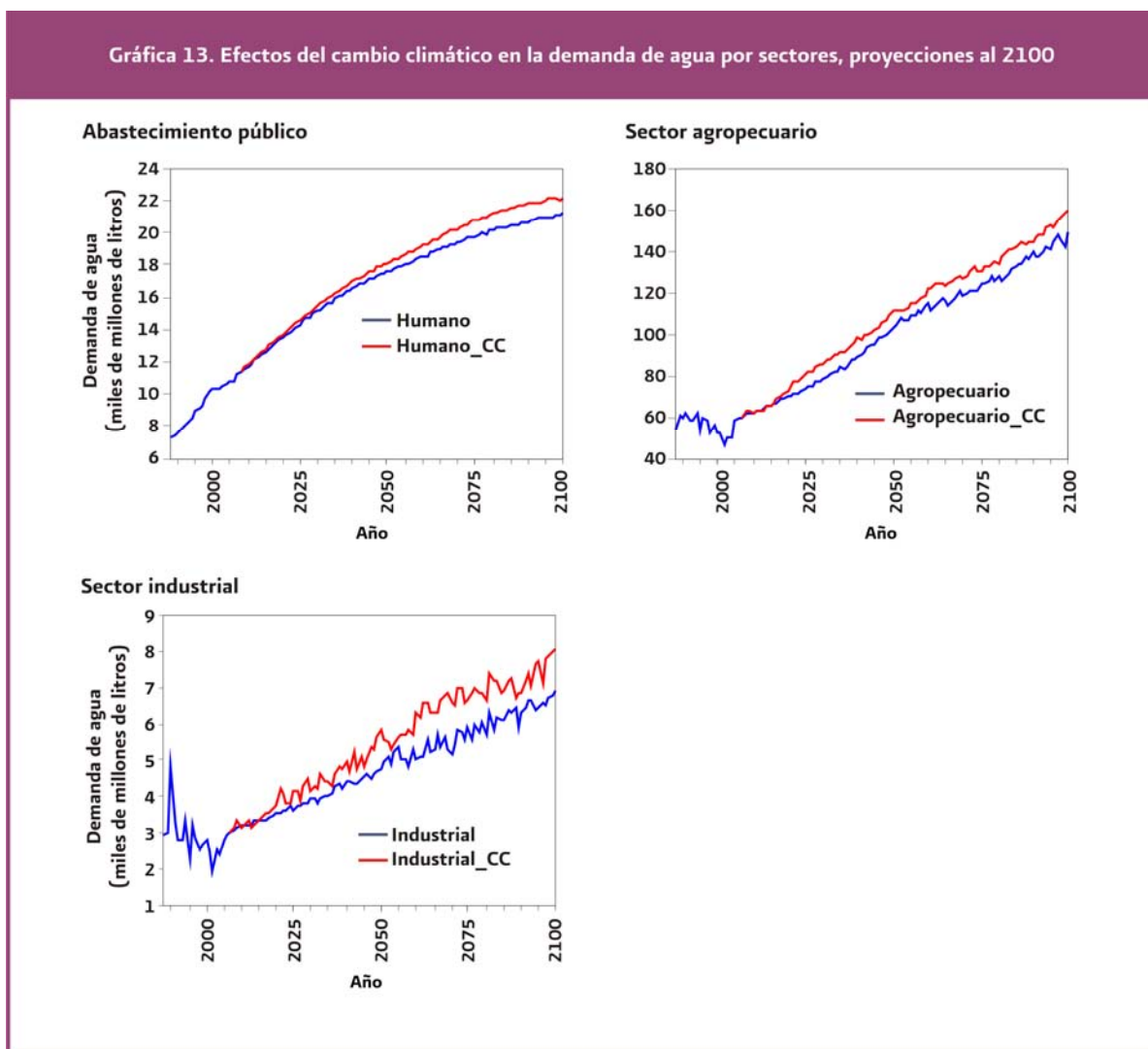
Así, las estimaciones realizadas, con métodos de cointegración, muestran diferencias por sectores (consumo residencial, agropecuario e industrial) aunque en general se observa una elasticidad ingreso alrededor de la unidad y una elasticidad precio en un rango de -0.2 y -0.4; además se observa que en el caso del consumo humano responde en buena medida a la trayectoria de la población, destacando que, en general, la mayor elasticidad precio se observa en el sector industrial (Gráfica 11).



Las proyecciones de la demanda de agua al 2100 muestran un crecimiento significativo, incluso sin considerar los impactos del cambio climático (Gráfica 12).



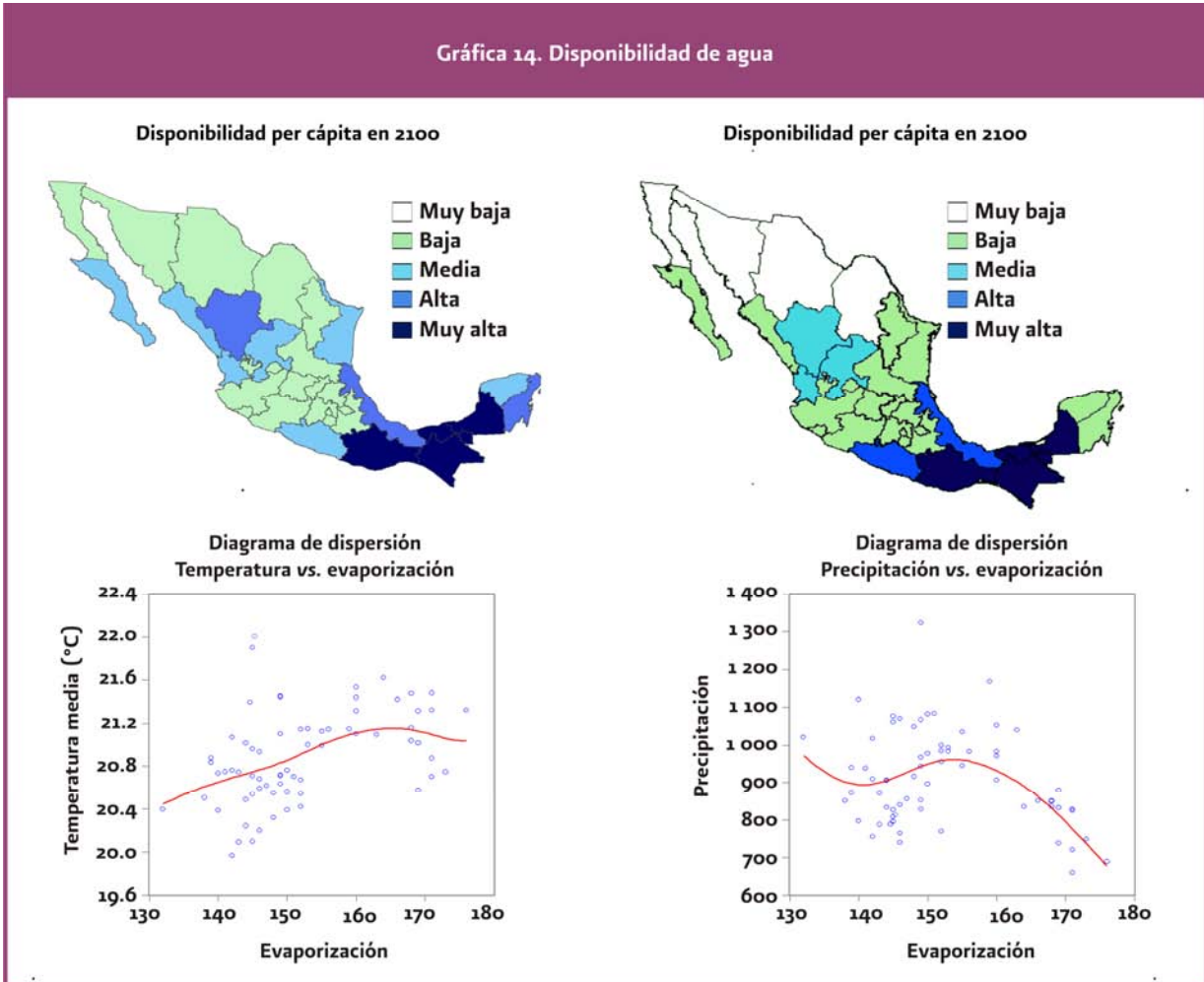
El análisis del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos del país se realizó considerando al impacto de la temperatura sobre la oferta y la demanda de agua. Así, se estimó, con un modelo de sección cruzada, la demanda de agua con respecto a la temperatura atendiendo a cada uno de los tres sectores (consumo residencial, agropecuario e industrial) en donde se observa un efecto positivo de la temperatura en el consumo de agua. Ello permitió identificar el aumento en el consumo asociado a la temperatura (Gráfica 13).



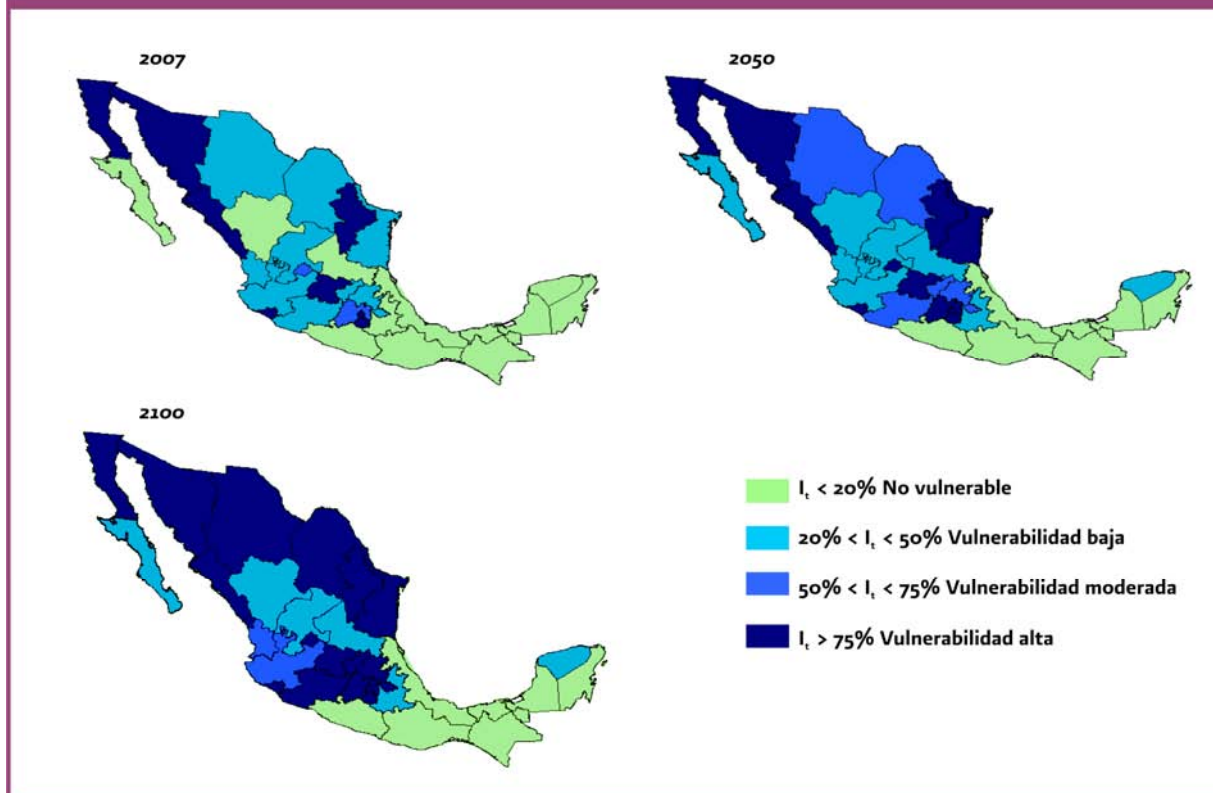
Respecto a la oferta de agua, resulta difícil identificar el posible impacto de la temperatura sobre la disponibilidad natural del recurso hídrico ya que en ella influyen una gran cantidad de parámetros relacionados con el ciclo hidrológico. Para estimar el impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua existen diversos tipos de modelos y en este caso se aprovechó la relación entre los niveles de precipitación, evaporización y la temperatura. Los resultados obtenidos muestran que la disponibilidad mantiene una relación positiva con el nivel de precipitación, en tanto que la temperatura registra una elasticidad negativa, lo que indica que un aumento en la

temperatura disminuye el nivel de disponibilidad. Estos resultados son consistentes pero deben de tomarse con precaución, toda vez que es sólo una aproximación a los fenómenos naturales (Gráfica 14). Los resultados muestran un aumento significativo del *stress* hídrico para el 2100 en particular en algunas zonas del norte del país (Gráfica 14) y que se reflejan en el índice de vulnerabilidad (Gráfica 15). Ello resulta particularmente preocupante al considerar que estas áreas serán también intensamente afectadas por aumentos en la temperatura. Los costos actuales del agua por región y por tipo de sector muestran que satisfacer este diferencial adicional entre la demanda y la oferta de agua ocasionada por el cambio climático impondrá costos económicos muy importantes.

Gráfica 14. Disponibilidad de agua



Gráfica 15. Índice de vulnerabilidad bajo diferentes escenarios



3.3. Cambio de uso/cobertura de suelo

El uso del suelo es uno de los temas de mayor relevancia en las discusiones de política ambiental a escala mundial y es tema central en la estimación de impactos en los escenarios de cambio climático. El estudio de la dinámica en las coberturas vegetales del uso del suelo permite conocer las tendencias de procesos de amplia relevancia tales como la deforestación, y la degradación vegetal, la desertificación y la pérdida de biodiversidad.

El análisis se realizó a través de estimar una matriz de probabilidades de transición construida con los inventarios de 1976 y 2000 para México con sus respectivas tasas de conversión (Cuadro 3). En ellas se observa que la transformación de la vegetación primaria de bosques y selvas a pastizales es la principal causa de deforestación, seguida de la transformación de cobertura arbórea a cultivo.

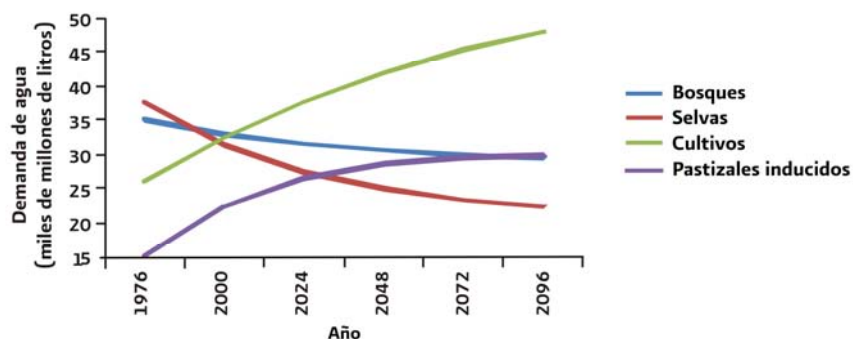
Cuadro 3.
Matriz de probabilidades de transición de coberturas vegetales
entre los años 1976 y 2000 (miles de hectáreas)
2000

1976		Bosques	Selvas	Matorral	Vegetación Hidrófila	Otros tipos de vegetación	Pastizales naturales	Pastizales inducidos	Cultivos	Otras coberturas	Total
	Bosques	0.9062	0.0078	0.0026	0.0000	0.0001	0.0037	0.0559	0.0236	0.0001	1.0000
	Selvas	0.0157	0.8244	0.0032	0.0012	0.0004	0.0011	0.0865	0.0663	0.0011	1.0000
	Matorral	0.0027	0.0023	0.9401	0.0003	0.0056	0.0029	0.0257	0.0198	0.0007	1.0000
	Vegetación Hidrófila	0.0002	0.0348	0.0061	0.8977	0.0142	0.0006	0.0236	0.0220	0.0008	1.0000
	Otros tipos de vegetación	0.0008	0.0014	0.1139	0.0077	0.8389	0.0011	0.0112	0.0239	0.0010	1.0000
	Pastizales naturales	0.0144	0.0012	0.0144	0.0001	0.0014	0.8255	0.0986	0.0436	0.0008	1.0000
	Pastizales inducidos	0.0139	0.0297	0.0185	0.0025	0.0013	0.0028	0.8610	0.0677	0.0027	1.0000
	Cultivos	0.0093	0.0225	0.0130	0.0007	0.0021	0.0042	0.0251	0.9162	0.0069	1.0000
	Otras coberturas	0.0050	0.0009	0.0027	0.0001	0.0006	0.1452	0.0078	0.0257	0.8120	1.0000
Total	0.9988	0.9673	1.1422	0.7225	0.9066	0.7367	1.1916	1.3552	0.9790	1.0000	

Fuente: Estimación propia con datos de Velázquez *et al.*, 2002.

El modelo de cambio de usos de suelo para la línea base se construyó a través de un modelo híbrido con cadenas de Markov (Brooks, 2002) que se basa en las probabilidades de transición entre un estado y otro. Tales probabilidades se pueden asumir constantes (para el escenario base), o bien variar de acuerdo a causales indirectos o inmediatos (escenarios de cambio climático). Los resultados de la matriz de probabilidad de transición presentan la tendencia esperada (Gráfica 16) en la cobertura de las categorías bosques, selvas, cultivos y pastizales inducidos, estimadas a partir de la matriz de transición. Esto es, se observa un aumento de la superficie cultivable en detrimento de las áreas de bosques y selvas. Ello podrá compensar parcialmente la pérdida de los rendimientos por cultivos.

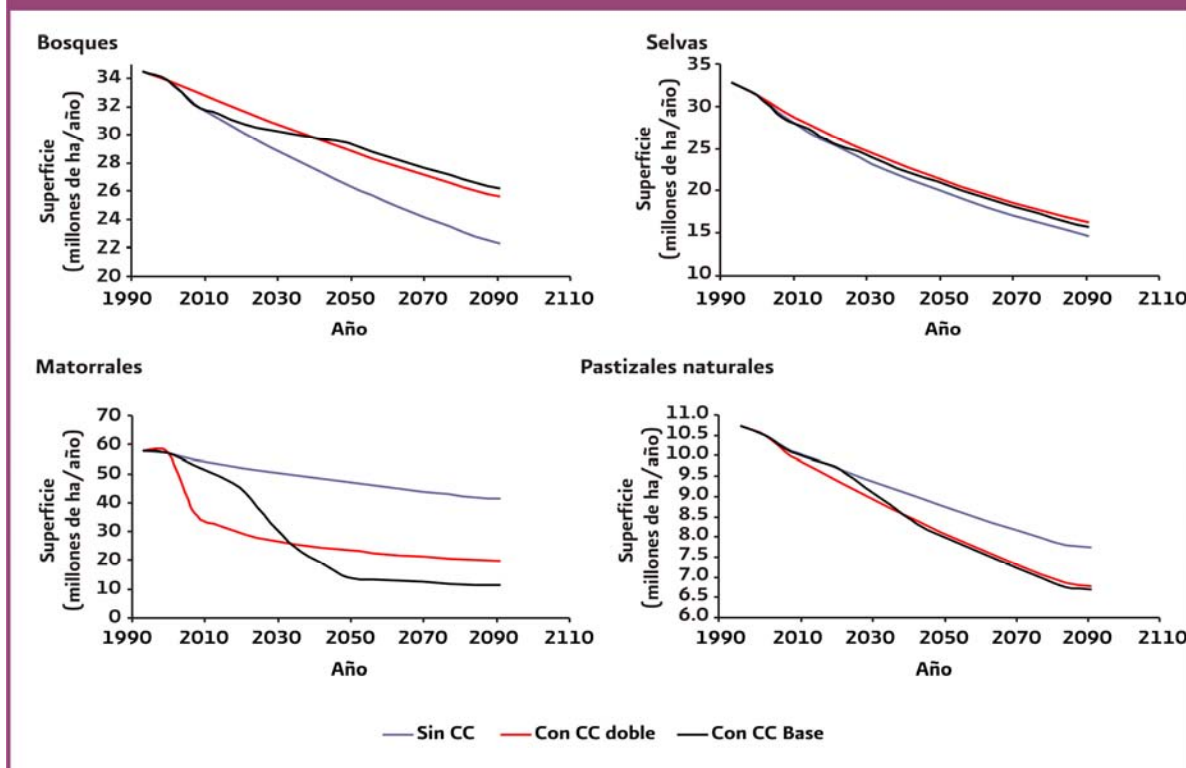
Gráfica 16. Proyección de coberturas con base en la transición observada entre 1976-2000



Fuente:
Estimación propia con base en información de Velázquez et al., 2002.

Los resultados de la simulación de cambio climático al año 2091 muestran muy poca variación con respecto a la proyección de la línea base para algunas formaciones. Destaca que bajo cualquier escenario de cambio climático existe una menor reducción de la superficie arbolada (bosques y selvas) (Gráfica 17) y que la formación aparentemente más vulnerable ante el cambio climático por la condición extrema en la que se encuentran y por su extensión en el país, son los matorrales en zonas límites de precipitación y alta temperatura (Gráfica 17). Ello se debe, en parte, a que el escenario de cambio climático reduce los incentivos de cambio de uso del suelo de bosques, selvas y manglares. Por el lado de los costos es muy probable que se pierdan grandes extensiones de matorrales, pastizales naturales y vegetación halófila que sin duda tienen un enorme valor de biodiversidad, pero comparadas con productos maderables y de servicios como la captura de carbono tienen menor impacto al compararse con los beneficios de reducir la tasa de deforestación. Los impactos económicos de estos efectos se matizan considerando los impactos de los incendios y eventos extremos sobre la cobertura vegetal. Esto es, el cambio climático incrementará los incendios forestales que se traducirán en pérdidas adicionales de la cobertura.

Gráfica 17. Proyección de las coberturas bajo diferentes escenarios



3.4. Biodiversidad

La biodiversidad es un activo fundamental que contribuye al bienestar de la humanidad a través de los diversos bienes y servicios ecosistémicos (Figura 6) que provee y además tiene un valor intrínseco (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Estos servicios contribuyen, de diversas formas, a los procesos económicos de producción, distribución y consumo y en este sentido tiene un valor económico incuestionable. Sin embargo, este valor no se refleja, completamente, en sus precios de mercado e incluso en muchos casos no existe un valor disponible asignado a los servicios ecosistémicos. Ello se traduce en que la biodiversidad sea sobre-explotada y no se considere su importancia intrínseca.



La influencia de las actividades humanas en los ecosistemas es relevante, modifican su disponibilidad, su estructura y sus comportamientos sistémicos. En la actualidad, existen una gran cantidad de especies y ecosistemas en peligro de extinción y además se observa que la recuperación natural, sin influencia humana, de estos ecosistemas no parece una opción viable ya que la capacidad natural de adaptación o resiliencia se ha reducido notablemente en los últimas décadas (IPCC, 2007). Los impactos actuales y/o esperados del cambio climático sobre la biodiversidad en las próximas décadas son significativos e incluyen cambios en el tamaño y distribución de las poblaciones, cambios de rango, cambios de la fenología, de evolución e incluso de extinción.

México es uno de los países megadiversos que en conjunto albergan entre el 60 y el 70% de la biodiversidad total del planeta (Mittermeier y Goettsch, 1992 y Conabio, 1998). La evidencia disponible sobre los impactos específicos del cambio climático sobre la biodiversidad en México se sintetiza en el Cuadro 4.

Cuadro 4.
Efectos del cambio climático en los ecosistemas de México

Ecosistema	Efecto	Región	Referencia
	Aumento de 1.3 a 3 grados: 2-18% de los mamíferos, 2-8% de las aves y 1-11% de las mariposas tienden a la extinción		Thomas <i>et al.</i> , 2004a, Peterson, <i>et al.</i> , 2002
	Aumento de 2.2 a 4 grados: 2-20% de mamíferos, 3-8% de aves y 3-15% de mariposas tienden a la extinción		Erasmus <i>et al.</i> , 2002
Zonas áridas	Desertificación, por cambio en los patrones de lluvia y aumento de temperatura	Norte del país	Lozano, 2004

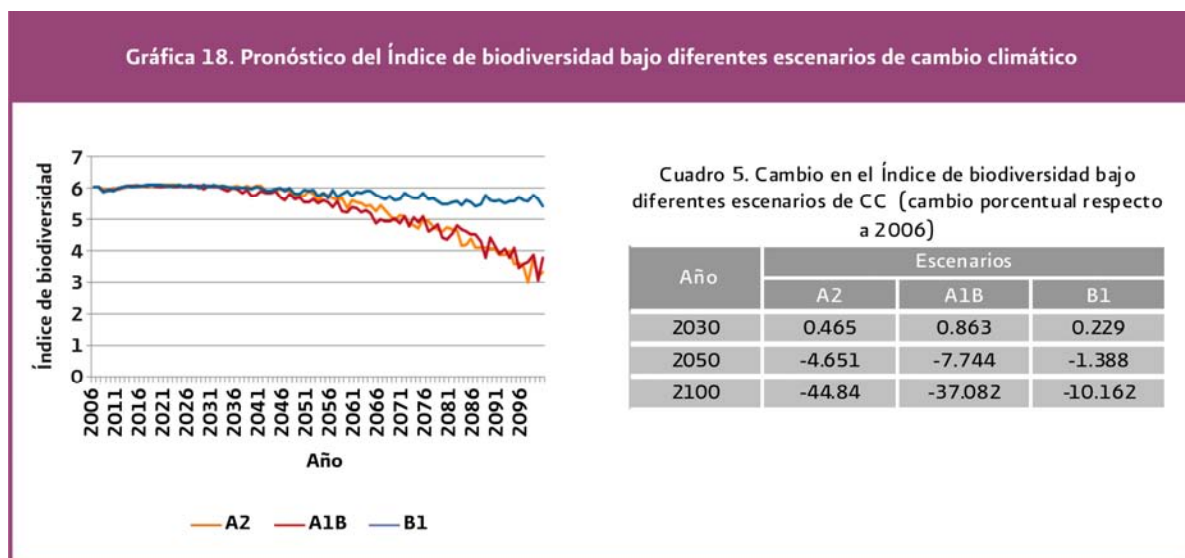
La Economía del Cambio Climático

Ecosistema	Efecto	Región	Referencia
Zonas áridas	Sequía extrema	Baja California, Sonora, Costas de Oaxaca y Guerrero, Michoacán, Campeche y Yucatán	Magaña <i>et al.</i> , 2004
Bosques	Disminución de la superficie de bosques de coníferas. Pérdida de bosques tropicales		Villers y Trejo, 2004
Bosques	Destrucción de fauna de hasta 40 por ciento por el desequilibrio ecológico		Peterson, <i>et al.</i> , 2002, 1999, 2001
Costeros	46.2% de la costa es susceptible al ascenso del nivel del mar	Golfo de México	Ortiz y Méndez, 1999
Costeros	Aumento en el nivel de mar incide en la erosión, la inundación y la salinización de tierras, de aguas superficiales y del manto freático		Ortiz y Méndez, 2000
Costeros	Salinización del suelo		Sanjurjo 2006, Tejeda y Rodríguez 2006
Marinos	Impactos potenciales para pesquerías como el camarón	Golfo de México	Park, 1991
Marinos	Con un aumento de 1 a 3°C para el 2080, los arrecifes coralinos y manglares estarán amenazados con consecuencias de peligro de extinción de un gran número de especies		Cahoon y Hensel, 2002
Ríos	Inundaciones	Desembocaduras del río Grijalva en Tabasco, y de los ríos de Coatzacoalcos y Pánuco, en Veracruz	Ortiz y Méndez, 2000
Agua dulce	Aumento general en las tasas de producción primaria, en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes; reducción en la calidad del agua y en el hábitat adecuado en el verano; reducción de almacenamiento de materia orgánica y pérdida de organismos; períodos más cortos de inundación de los humedales ribereños; y cambios en la tasa de drenaje de los estuarios	Tierra adentro del Golfo de México	Mulholland, <i>et al.</i> , 1997

La estimación de los costos económicos en biodiversidad asociados al cambio climático requiere, desde luego, una evaluación económica que está sujeta a diversas limitaciones y críticas. Por desgracia, la información disponible para México limita las opciones de valuación. En este caso, se optó por valorar económicamente y de forma directa exclusivamente los servicios ambientales que proporciona la biodiversidad en términos de bioprospección, conservación de especies (en general) y fauna cinegética, turismo, y valor estético de bosques. La valuación económica obtenida es baja pero responde al escaso valor económico general que se le otorga a la biodiversidad actualmente. Ello desde luego representa un reto para el futuro.

El análisis del impacto del cambio climático en la biodiversidad y de ella sobre el producto se modeló con base en un índice de biodiversidad potencial construido en función de variables climáticas y variables de territorio por entidad federativa y con un modelo de tipo Ricardiano incluyendo a la biodiversidad como variable endógena y posteriormente incluyendo al índice de biodiversidad como una variable adicional para explicar a la producción agrícola. Los resultados obtenidos muestran que la pérdida de biodiversidad estimada para México es significativa y creciente en el tiempo (Gráfica 18 y Cuadro 5) y que ello tendrá además impactos negativos en la producción agrícola. Sin

embargo, debe reconocerse que esta contribución se realiza en buena medida por fuera del mercado por lo que no se reporta como costos o ingresos monetarios.



La estimación del valor actual de la biodiversidad y por tanto de sus pérdidas económicas muestra que la estructura de precios actuales ofrece un subsidio fuera del mercado para el conjunto de las actividades económicas. Las consecuencias de ello son la sobreexplotación y destrucción de la biodiversidad sin que ello se refleje directamente en pérdidas económicas directas significativas.

3.5. Eventos extremos: huracanes y ENOS

La evidencia disponible a nivel internacional muestra que existe una fuerte correlación entre el alza de la temperatura, un aumento de la intensidad de huracanes y un alza del nivel de mar. Asimismo, se conoce que un aumento de 3 grados de temperatura generará un incremento de las velocidades de viento de las tormentas de entre 15% a 20% (Stern, 2007). Ello sugiere que los costos de las tormentas se elevarán al cubo con respecto a la velocidad del viento (Stern, 2007). La evidencia disponible para México indica que existen patrones regulares en estos eventos extremos de modo que existe un total de 25 municipios que exhiben la mayor vulnerabilidad histórica de los 153 municipios costeros del país. Es en estos municipios donde se puede estimar los mayores costos económicos y sociales potenciales (Cuadro 6) de una mayor cantidad o intensidad de huracanes. Asimismo, se observa que los costos económicos estimados por huracanes han alcanzado en la peor estación de huracanes el 0.59% del PIB en 2005 y en promedio entre 1997 y el 2005 representa el 0.12% del PIB del período. Debe destacarse que no se incluyen los costos potenciales de las muertes por huracanes.

Cuadro 6.
Costos potenciales por huracanes en los 25 municipios más vulnerables

Sociales	Económicos (millones de dólares)
<ul style="list-style-type: none"> • 4.2 millones de habitantes • 1.0 millones de viviendas 	<ul style="list-style-type: none"> • 977.6 sector agrícola • 456.7 producción pecuaria • 2,905.5 actividad turística

De este modo, se estima en riesgo potencial en estos 25 municipios que son más vulnerables a tormentas tropicales y huracanes, a una población de más de 4 millones 273 mil habitantes, a su patrimonio inmobiliario más significativo que se estima en más de un millón 37 mil viviendas particulares habitadas (sean propias o alquiladas⁴) y, a una producción de 977,662 miles de dólares en el sector agrícola, de 459,677 miles de dólares de producción pecuaria y 2,905, 553 miles de dólares en actividades turísticas. El reto es entonces construir la infraestructura necesaria para reducir los impactos de los eventos extremos al mismo tiempo que se traslada parte de la población y las actividades económicas hacia zonas más seguras.

La conservación de arrecifes coralinos, manglares, otros humedales costeros y diversos ecosistemas propios de la interfase marino-costera se convierten, ahora más que nunca, en imprescindibles barreras naturales de contención ante las tormentas tropicales y huracanes futuros. Esta debe ser una prioridad no sólo ecológica sino socio-económica del conjunto de políticas públicas para enfrentar los escenarios del calentamiento global in situ, así como para impulsar nuevas formas de desarrollo regional mediante la complementación de acciones de mitigación/adaptación. Debe además considerarse que la presencia de eventos extremos asociados a fenómenos como el niño o la niña puede ocasionar pérdidas cuantiosas en años específicos aunque aún es muy complicado pronosticar su evolución futura.

3.6. Turismo y desastres naturales

El sector turismo es un factor fundamental para el crecimiento económico de diversas regiones del país y tiene además, un impacto significativo; asimismo, una parte importante de este turismo tiene efectos sobre los ecosistemas. Los impactos del cambio climático sobre el turismo son múltiples y se sintetizan en el Cuadro 7.

Cuadro 7.
Principales efectos del cambio climático y sus implicaciones para los destinos turísticos

Impacto	Implicaciones para el turismo
Temperaturas más cálidas	Alteración de la estacionalidad, de estrés térmico para los turistas, costos de enfriamiento, cambio en las plantas y la vida silvestre, en poblaciones de insectos y su distribución, en enfermedades infecciosas
Disminución de la cubierta de nieve y de los glaciares.	Falta de nieve en los destinos de en para la práctica de deportes de invierno, incremento de los costos, temporadas más cortas en los deportes de invierno, reducción de la estética del paisaje

⁴ Se supone que son propiedades privadas.

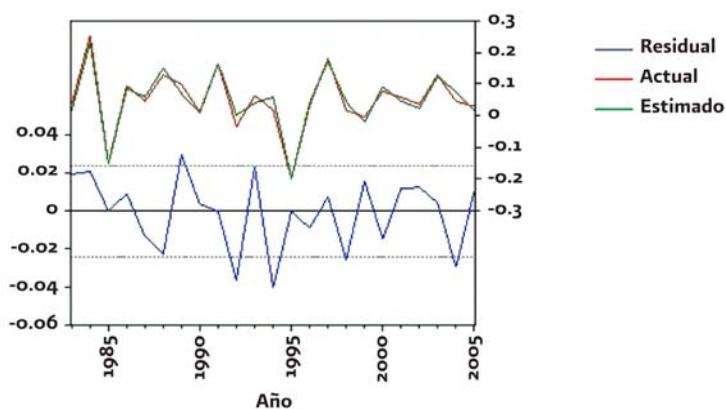
La Economía del Cambio Climático

Aumento de la frecuencia y la intensidad de las tormentas extremas.	Riesgo para las instalaciones turísticas, Aumento de los costos de seguro / pérdida de asegurable, costos de interrupción de negocios
Reducción de las precipitaciones y aumento de la evaporación en algunas regiones	Escasez de agua, competencia por el agua entre el turismo y otros sectores, desertificación, aumento de incendios forestales que amenazan la infraestructura y que afectan a la demanda.
Aumento de la frecuencia de fuertes precipitaciones en algunas regiones	Inundaciones daños a la arquitectura histórica y cultural, los daños a la infraestructura turística, alteración de la estacionalidad
Elevación del nivel del mar	Erosión en costas, pérdida de área de playas; costos más elevados para proteger y mantener las fronteras marítimas.
Incremento en las temperaturas de la superficie del mar	Incremento del blanqueamiento de coral y degradación de recursos marinos así como de la estética de destinos de buceo y snorkel.
Cambios en la biodiversidad terrestre y marina.	Pérdida de atractivos naturales y de especies destino, mayor riesgo de enfermedades en países tropicales - subtropicales
Incendios forestales con mayor frecuencia y de mayor impacto	Pérdida de atractivos naturales, incremento del riesgo de las inundaciones, daño a la infraestructura turística
cambios del suelo (por ejemplo, niveles de humedad, la erosión y la acidez)	Pérdida de los bienes arqueológicos y otros recursos naturales con impactos sobre lugares de destino

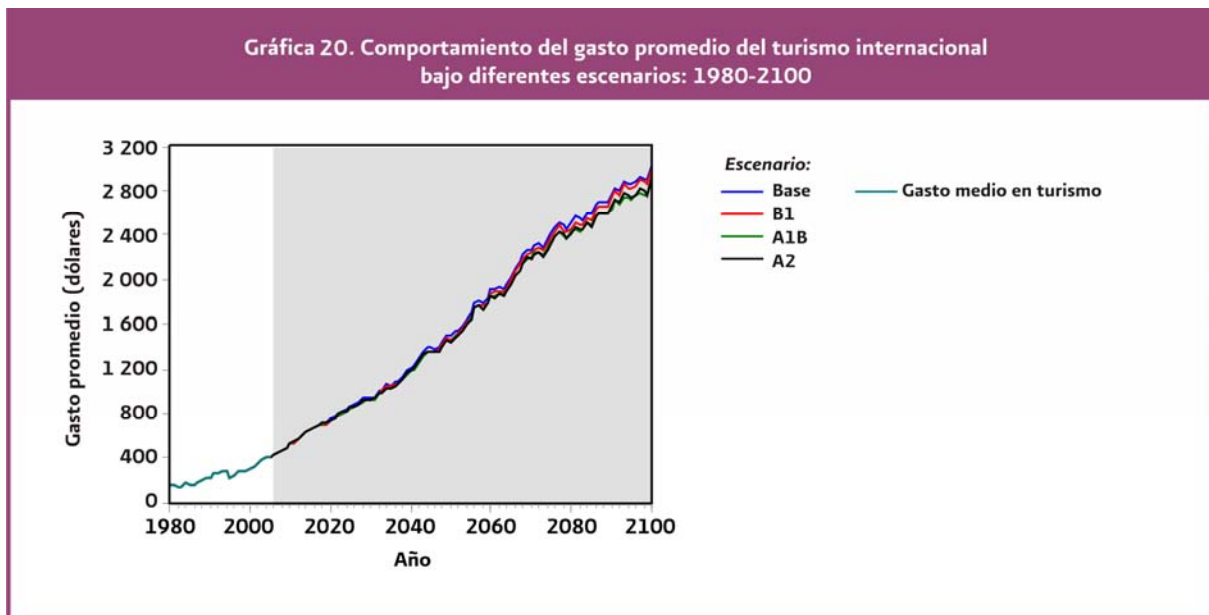
Fuente: UNWTO (2008)

La estimación de los costos del cambio climático sobre la demanda turística se estimaron a través de un modelo de demanda de turismo internacional que incluye del PIB de Estados Unidos, el tipo de cambio real, el índice bursátil mexicano y a la temperatura como una aproximación de los eventos extremos. Los principales resultados obtenidos muestran la presencia de un vector de cointegración estable de demanda que permite simular razonablemente bien la trayectoria de la demanda turística internacional (Gráfica 19).

Gráfica 19. Valores actuales, estimados y residuales de la demanda de turismo: 1985–2005



Así, los impactos climáticos sobre la demanda turística reducen su ritmo de expansión como puede observarse en la Gráfica 20. Ello en todo caso debe amortiguarse buscando diversificar los destinos turísticos; por ejemplo promoviendo destinos adicionales a los de playa como ciudades coloniales o pueblos mágicos.



3.7. Impactos del cambio climático en la salud

El cambio climático tiene también consecuencias significativas en la salud de la población tanto a través de cambios en la temperatura y la precipitación como a través de los eventos extremos. No obstante, estos efectos se presentan normalmente por medio de canales indirectos tales como la calidad del aire y agua, calidad y cantidad de la comida, la agricultura y los ecosistemas y la infraestructura. El análisis se basó en una función de dosis respuesta y el uso de la técnica de meta-análisis sobre la exposición a concentraciones de ozono, exposición a partículas PM_{10} y olas de calor (Figura 7). Los resultados obtenidos muestran que el cambio climático aumentará los límites geográficos de las enfermedades contagiosas y ocasionará daños en la salud asociados a las olas de calor. Sin embargo, aun persiste un importante nivel de volatilidad e incertidumbre sobre los impactos esperados como se muestra en la Figura 8. En este sentido, estos resultados deben de tomarse aun con precaución.

Figura 7. Análisis para México



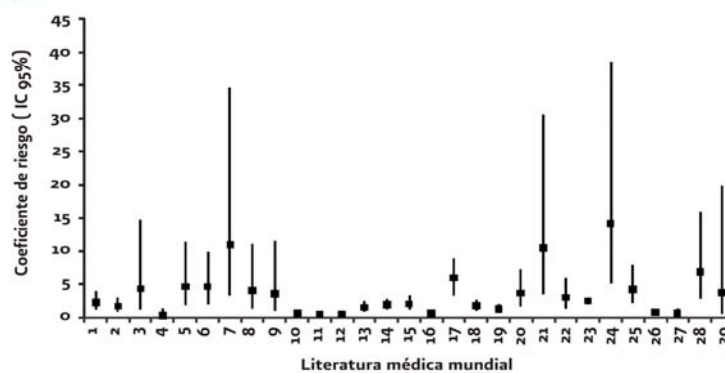
Figura 8. Impactos por olas de calor en zonas metropolitanas

Estimación combinada para efectos en salud asociados con olas de calor y malaria

Mortalidad ondas de calor		
Modelo	Efecto Global	Intervalo de Confianza
Efecto Fijo	1.57	1.13 - 2.01
Efecto Aleatorio	6.85	0.70 - 13.01
Morbilidad Malaria		
Modelo	Efecto Global	Intervalo de Confianza
Efecto Fijo	1.33	0.88 - 1.79
Efecto Aleatorio	2.61	1.15 - 4.07
Mortalidad Malaria		
Modelo	Efecto Global	Intervalo de Confianza
Efecto Fijo	1.59	0.65 - 2.54
Efecto Aleatorio	2.44	0.62 - 4.25

Fuente:
Elaboración propia a partir de los resultados del meta-análisis.

Aumento del riesgo de morbilidad por malaria asociada a características ambientales y sociodemográficas



Riesgo de muertes a causa de las olas de calor en tres Zonas Metropolitanas de México

Zona Metropolitana	Población adicional en riesgo			Crecimiento acumulado (%) 2010 - 2100
	2010	2050	2100	
ZMVM	8.966	21.507	32.326	1.42
ZMG	2.880	6.611	9.711	1.35
ZMM	1.946	4.692	7.040	1.42
Total ZM	13.794	32.79	49.026	1.4

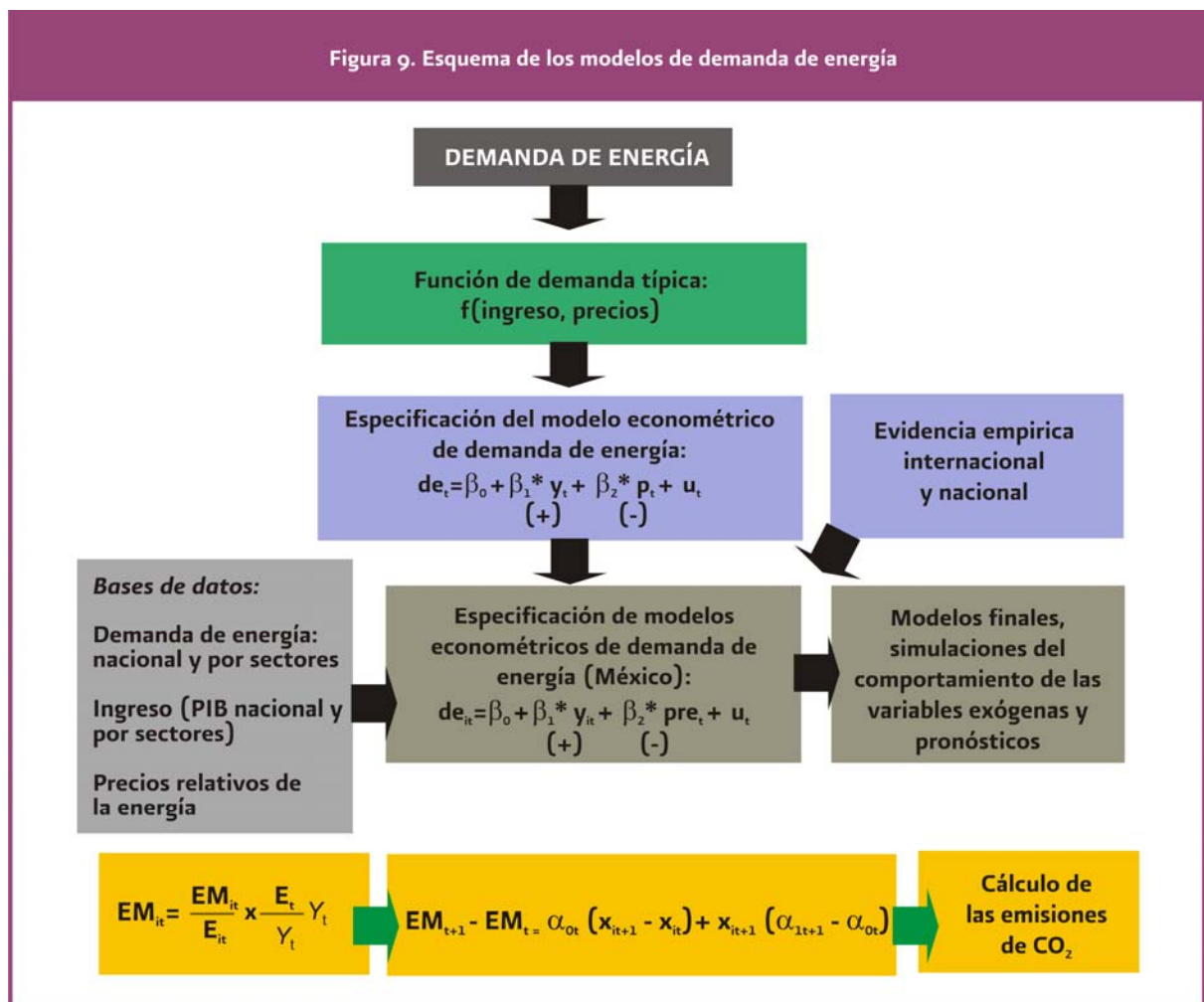
Notas:
ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México; ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara; ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.

Fuente:
Elaboración propia a partir de los resultados del meta-análisis y proyecciones de población.

4. Alternativas de mitigación

4.1. Energía

La energía es, desde luego, un insumo fundamental en cualquier economía, sin embargo, representa también una de las principales fuentes de emisiones de los distintos gases de efecto invernadero (GEI). En este sentido, se observa que existe una fuerte asociación entre el nivel de ingreso de una economía y su consumo de energía. No obstante ello, se observa en los últimos años, una tasa de desacoplamiento energético y de descarbonización reciente en la economía mexicana que en todo caso debe de profundizarse. La construcción de escenarios en este sector se realizó con base en la especificación y estimación de distintos modelos econométricos de demanda de los distintos tipos de energía y de identidades contables (Figura 9).



Las estimaciones de la demanda de energía muestran que ésta responde fundamentalmente al ingreso y que es inelástica a los precios (Cuadro 8). Estas elasticidades muestran que aún persisten escasas opciones alternativas y la necesidad de desarrollar una cultura para mejorar la administración del consumo de energía.

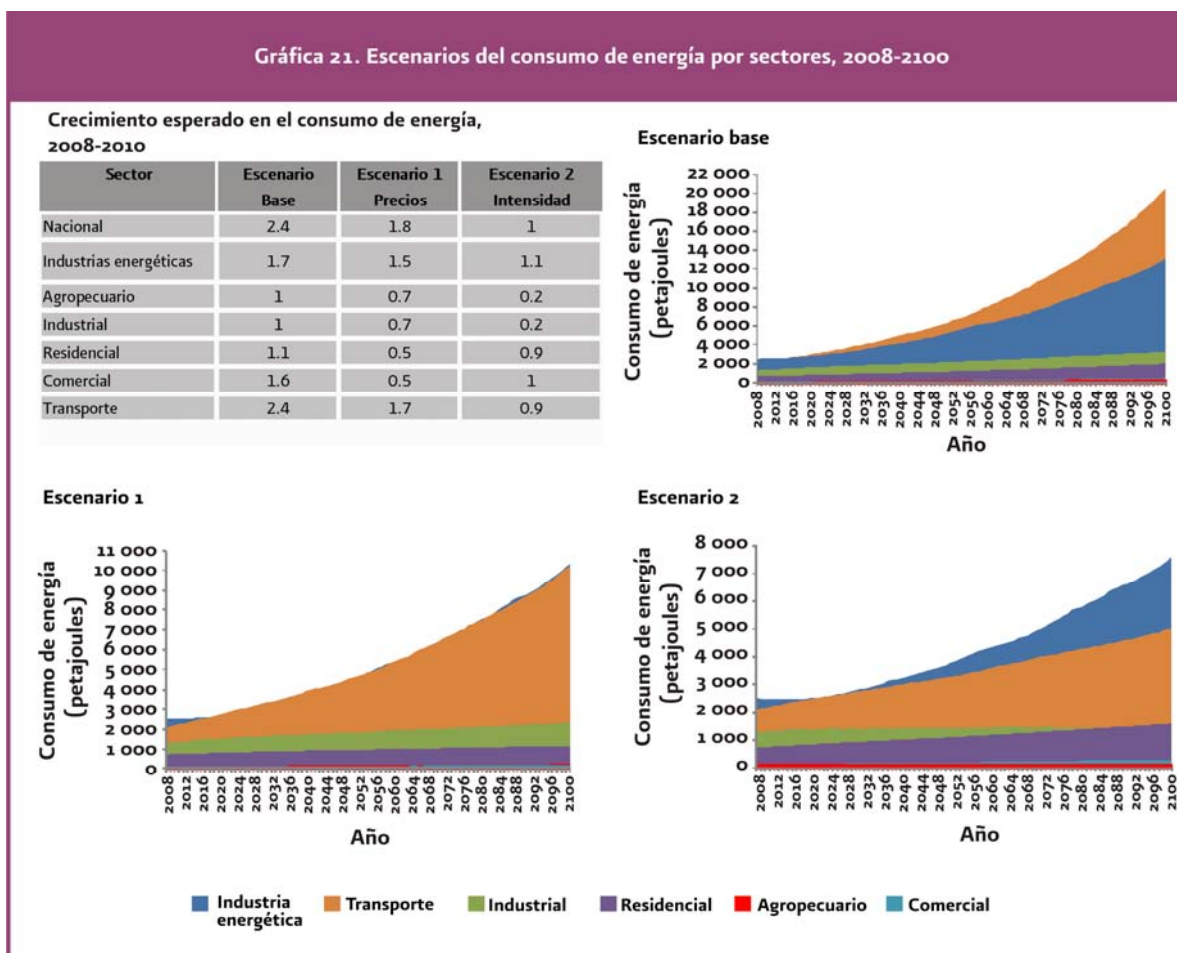
Cuadro 8.

Ecuaciones normalizadas de la demanda de energía nacional y por sectores 1966 – 2006

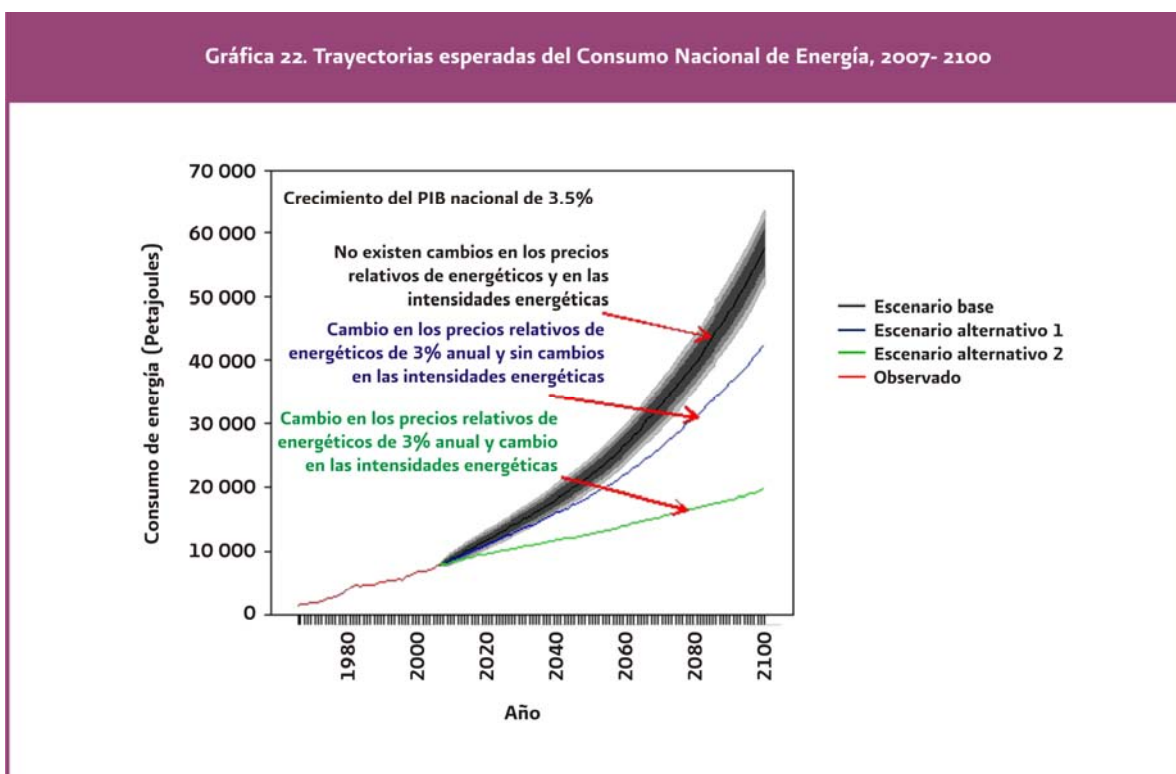
Coefficiente	cne _t	ceie _t	cea _t	cei _t	cer _t	cec _t	cet _t
β_0	-15.892	-7.441	-11.979	-8.432	-4.975	-10.597	-12.916
β_1	1.170	0.881	0.865	0.792	0.550	0.760	1.049
β_2	-0.156	-0.158	-0.251	-0.328	-0.236	-0.222	-0.397

Nota: Las letras en minúsculas representan los valores en logaritmos naturales. Periodo 1966 – 2006.

Los resultados sobre la trayectoria esperada del consumo nacional de energía, bajo el escenario base, indican un ritmo de crecimiento del 2.4% anual, para el periodo de 2008 a 2100. Las simulaciones realizadas con el escenario base de crecimiento económico muestran aplicar de forma independiente un alza de precios, en un nivel razonable, y un desacoplamiento energético ligero resultan insuficientes para controlar el aumento de la demanda de acuerdo a las elasticidades estimadas (Gráfica 21). De este modo, sólo una estrategia combinada de señales de precios y de regulación puede controlar un aumento de la demanda de energía (Gráfica 22). En el largo plazo debe reconocerse que es necesario aplicar una política específica para que las señales de precios adquieran una mayor importancia en la economía mexicana.

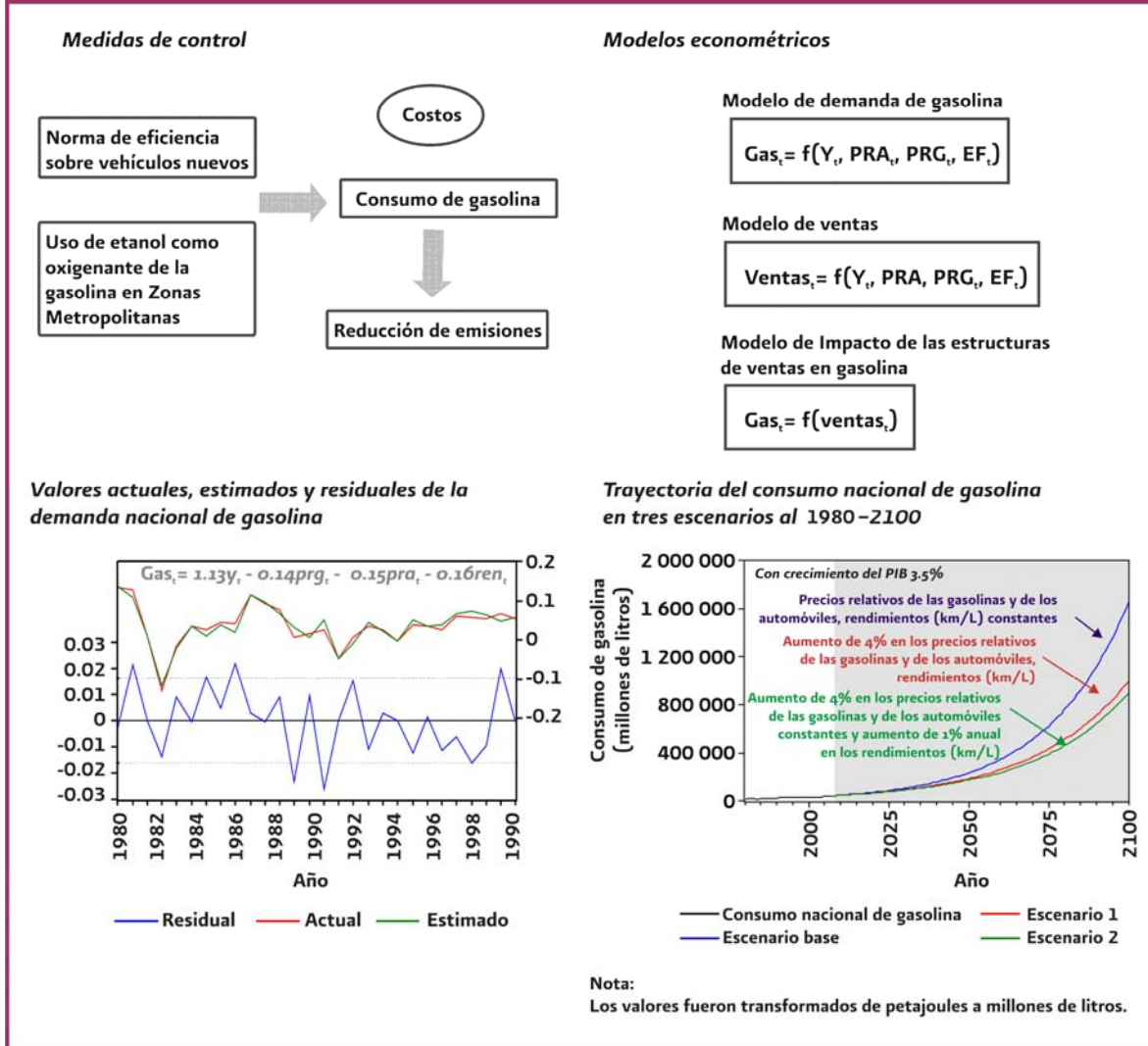


Gráfica 22. Trayectorias esperadas del Consumo Nacional de Energía, 2007- 2100



El transporte es una actividad fundamental en las economías modernas, sin embargo, existen también externalidades negativas asociadas al transporte. Así, por ejemplo, el transporte automotor es considerado como uno de los mayores emisores de GEI y de distintos contaminantes lo que tiene consecuencias importantes en términos de costos ambientales y de salud. Las estimaciones obtenidas indican también que las elasticidades ingreso son cercanas a la unidad o incluso ligeramente superiores a uno mientras que las elasticidades precios son bajas. Ello desde luego refleja un conjunto de circunstancias tales como que el transporte público no es un buen sustituto del transporte privado y las opciones de desarrollo urbano. En todo caso parece pertinente combinar políticas de precios con algunas regulaciones como normas de emisiones o de rendimiento consistentes con la estrategia de precios y que reflejen los incentivos económicos adecuados para controlar o regular la demanda creciente de gasolinas (Figura 10).

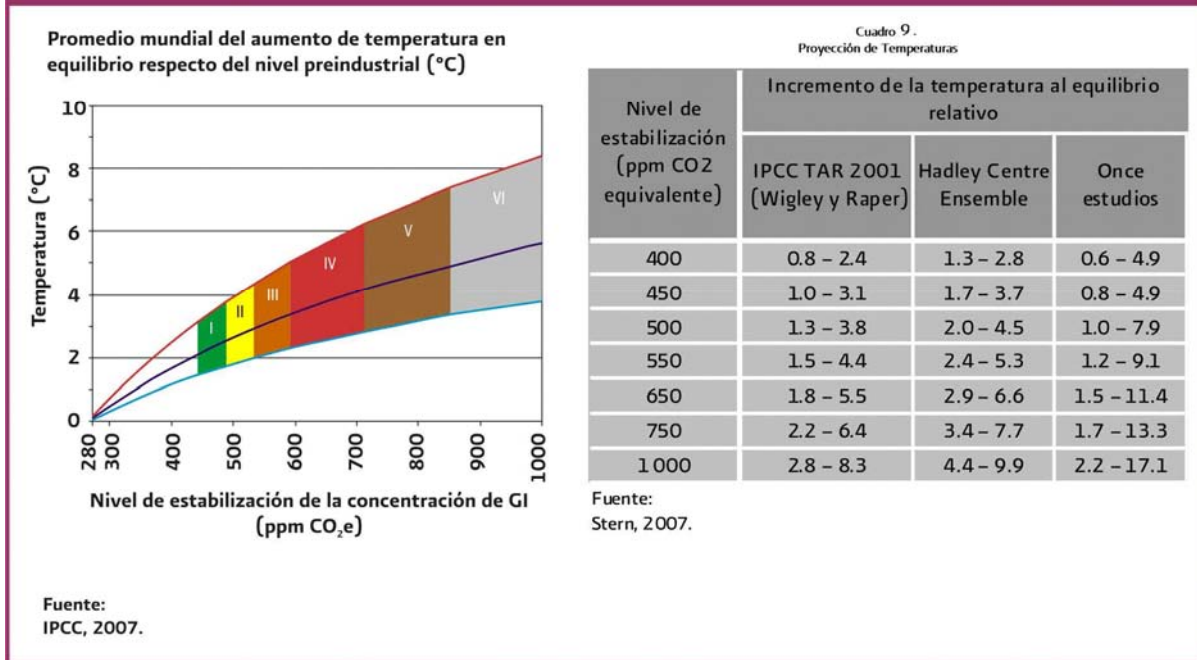
Figura 10. Escenarios sobre el consumo de gasolinas



4.2 Estrategias de mitigación para México

Existen desde luego diversas estrategias de mitigación alternativas para México que dependen tanto de las metas de emisiones a alcanzar como del momento en el tiempo que se inicia el proceso de mitigación. En este contexto, debe considerarse que retrasar el proceso de estabilización implica entonces aumentar las tasas de mitigación futuras y, desde luego, incrementa los costos y los riesgos de manera significativa (Gráfica 23 y Cuadro 9). También debe destacarse que México en el contexto internacional debe reconocer los beneficios económicos de alcanzar un acuerdo internacional de mitigación que reconozca la responsabilidad común pero con compromiso diferenciados por países y en donde México deberá contribuir con su aporte.

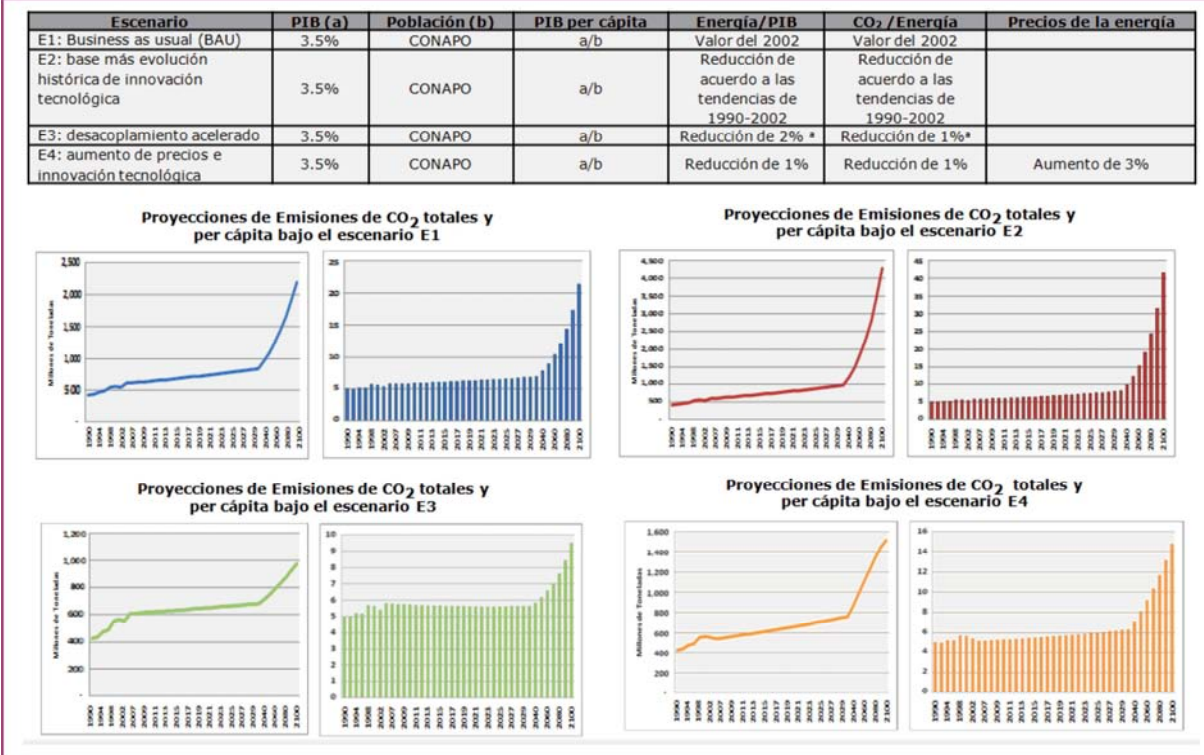
Gráfica 23. Relación entre temperatura y emisiones de GEI



La definición de la estrategia de mitigación puede realizarse a través de la formalización de las relaciones entre emisiones, consumo de energía, producto y población que puede realizarse de acuerdo a la conocida identidad de Kaya (1989) o IPAT (Ecuación (1)). Esta identidad permite considerar que el aumento de las emisiones se debe fundamentalmente al crecimiento de la población y del PIB *per cápita* mientras que su reducción se debe asociar a un proceso de desacoplamiento energético y de descarbonización. Los escenarios simulados con esta identidad muestran un crecimiento importante en el escenario inercial (Gráfica 24) por lo que es necesario reconocer que la economía mexicana deberá realizar esfuerzos significativos para alcanzar metas de mitigación más ambiciosas que sólo serán posibles de disponer de financiamiento interno y externo adecuado.

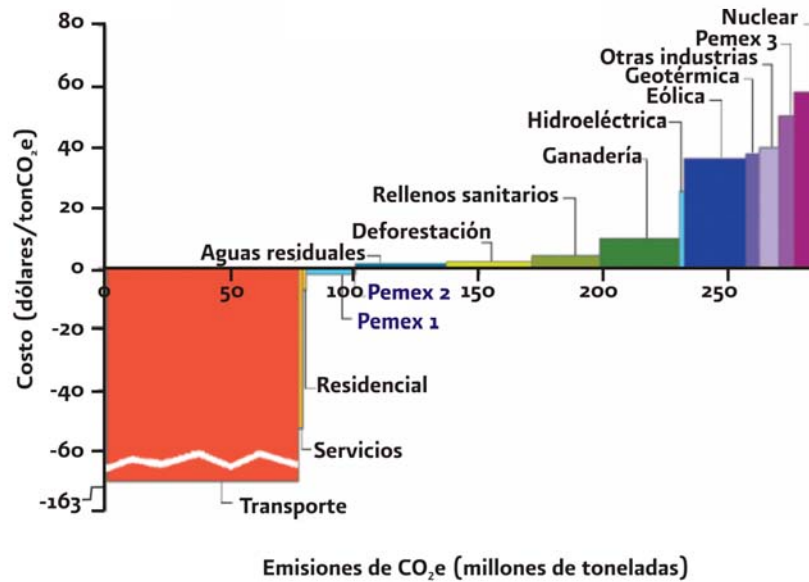
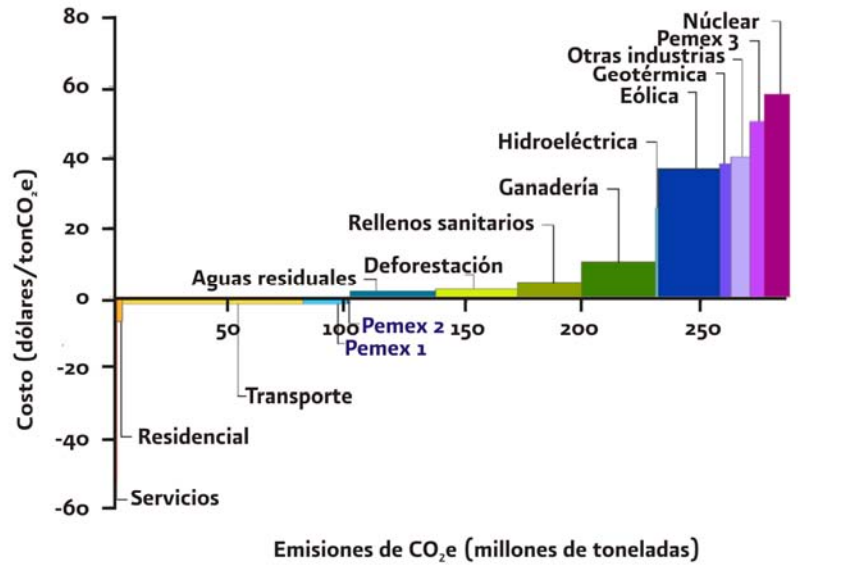
$$(1) \quad \Delta CO_2 = [\Delta POB] + \Delta \left[\frac{PIB}{POB} \right] + \Delta \left[\frac{ENERG}{PIB} \right] + \Delta \left[\frac{CO_2}{ENERG} \right]$$

Gráfica 24. Emisiones de CO₂ bajo diferentes escenarios nacionales, 1990-2100



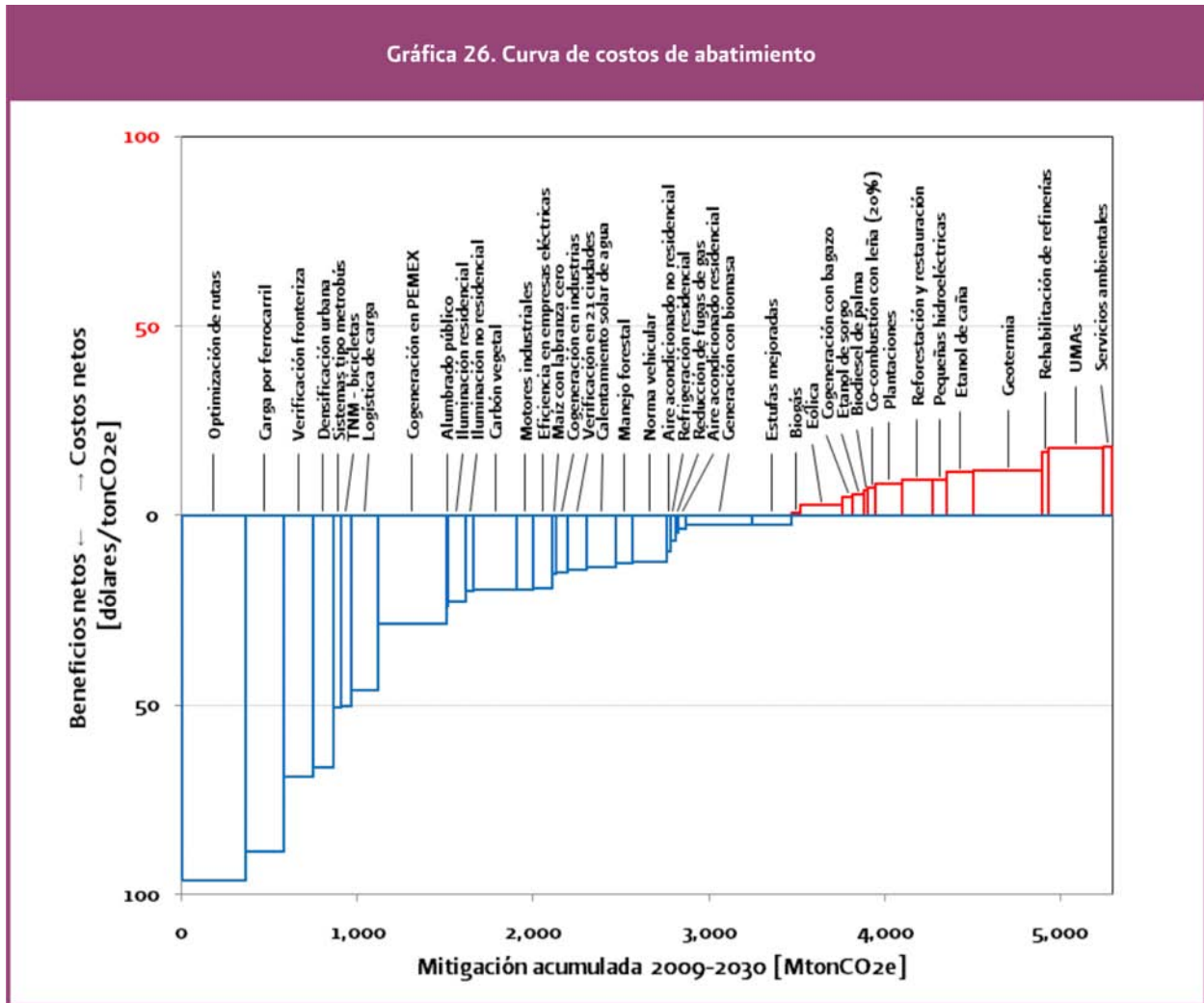
La evaluación económica de los costos de mitigación es una tarea muy compleja con un alto grado de incertidumbre. Los costos de la mitigación dependen de factores tales como las estrategias instrumentadas acordadas a nivel internacional incluyendo sus ritmos e intensidades, la disponibilidad de tecnología, sus costos y sus formas de difusión, los cambios en la estructura productiva y su relación con el consumo de energía, opciones de sustitución, curvas de costos marginales y elasticidades de demanda e incluso el precio de la tonelada de carbono. En este trabajo se utiliza como una aproximación para estas estimaciones de costos un modelo general de equilibrio computable calibrado para México (Bravo, 2008) y estimaciones que combinan un enfoque microeconómico y estructural para desarrollar una curva de costos de abatimiento (Quadri, 2008, Johnson, et al., 2009 y Molina, 2009). Estos resultados son sólo indicativos de las posibles opciones pero indican que es posible diseñar una estrategia de cuñas de abatimiento para cumplir con las metas de abatimiento definidas y estimar su costo económico probable (Quadri, 2008) (Gráfica 25).

Gráfica 25. Curvas de costos marginales de reducción de emisiones en México al 2020



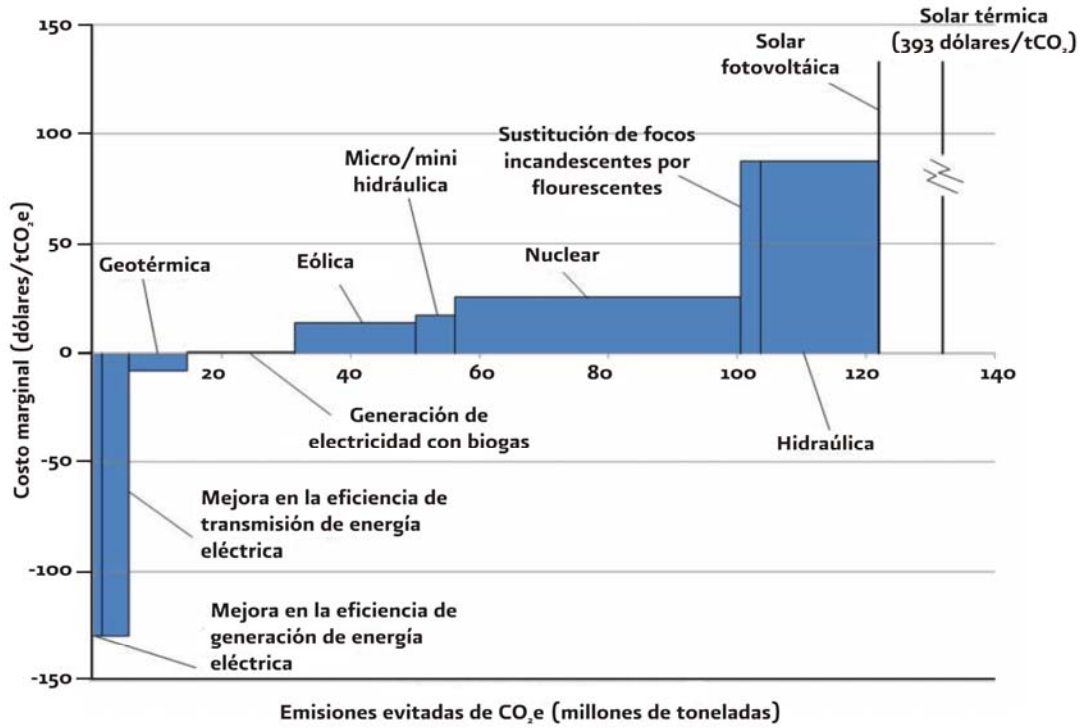
Johnson, et al., (2009) (Banco Mundial) (Gráficas 26), el Centro Mario Molina (CMM) (Gráfica 27a, 27b y 27c) estimaron diversas curvas de costos de abatimiento que muestran claramente las mejores estrategias de mitigación por sectores. De este modo, es posible identificar una estrategia óptima de mitigación ordenando las medidas de mitigación por sectores de acuerdo a sus costos. En este sentido, una estrategia de mitigación en México debe considerar las reducciones

de costos que pueden obtenerse de aplicar una reducción secuencial por sectores. Debe sin embargo considerarse que persisten diferencias significativas entre las distintas curvas de abatimiento y que son endógenas a cambios en los precios relativos por lo que su aplicación depende crucialmente de la estrategia de mitigación propuesta.

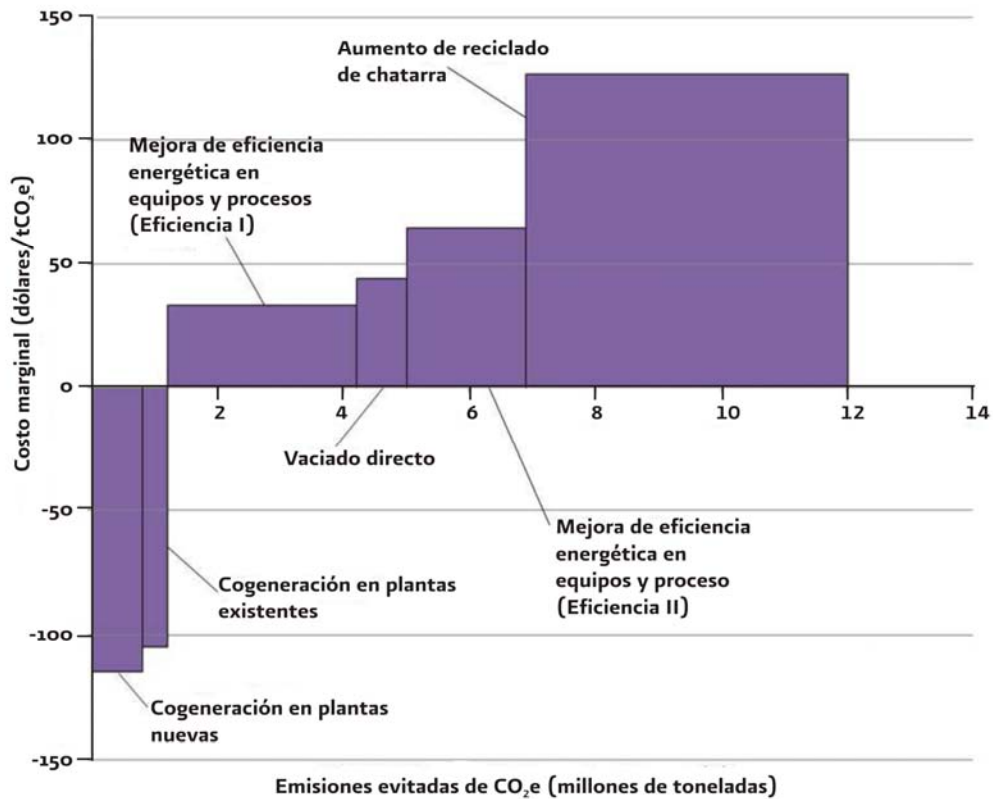


Gráfica 27. Curvas de costo marginal de abatimiento en el escenario de mitigación, 2030

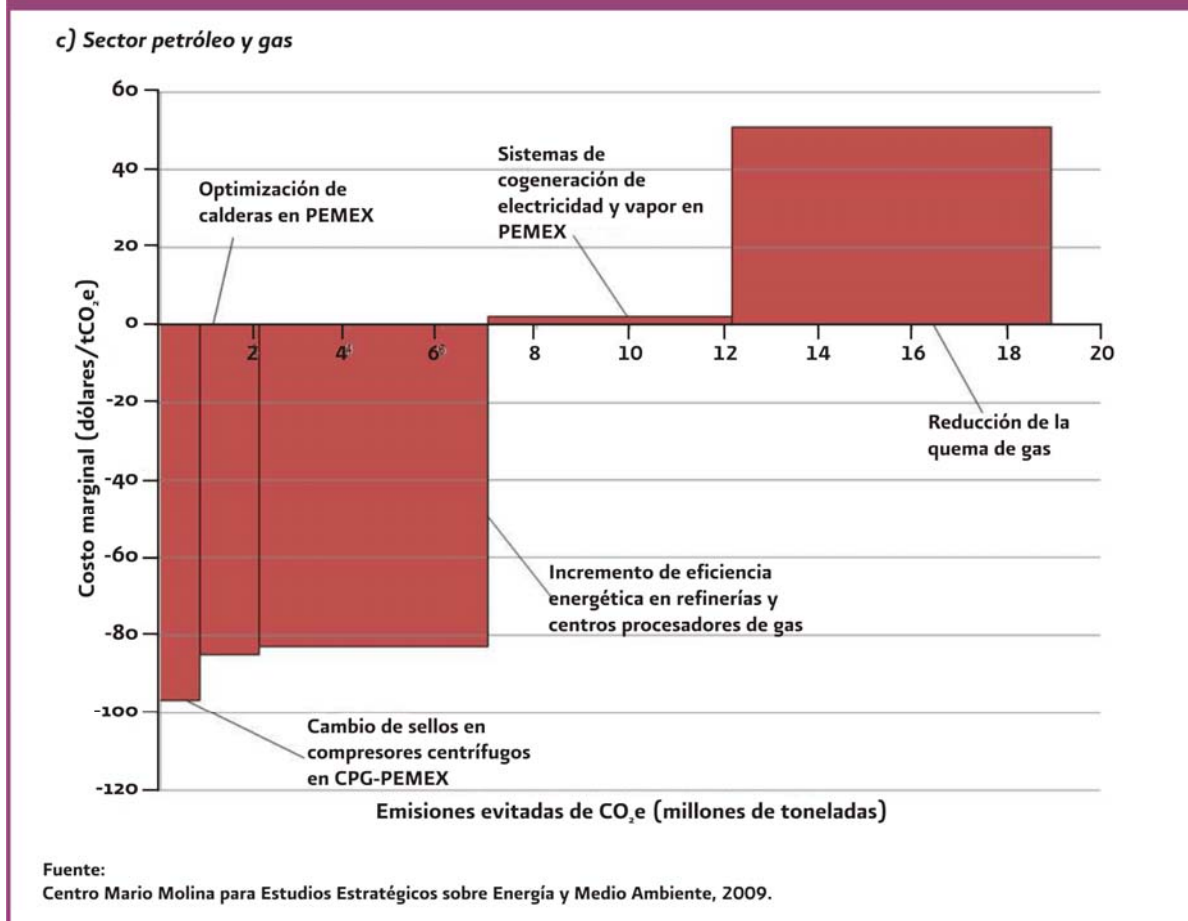
a) Sector eléctrico



b) Sector siderúrgico



Gráfica 27. Curvas de costo marginal de abatimiento en el escenario de mitigación, 2030 (conclusión)



De acuerdo al escenario BAU (E1), obtenido del modelo IPAT⁵, las emisiones de CO₂ para el 2100 podrían alcanzar las 2,077 millones de toneladas, y 1,045 millones de toneladas para el 2050. Los costos de reducción por tonelada de CO₂ de los sectores se promediaron con dos escenarios extremos de 10 y 30 dólares por tonelada. Las tasas de reducción proyectadas son superiores a las actuales pero son alcanzables atendiendo a que se han presentado ya durante períodos cortos, se dispone de financiamiento internacional adecuado y se aplica una estrategia de monitoreo y seguimiento eficiente.

⁵ Bajo supuestos restrictivos sobre la tasa de deforestación.

5. Los costos de la inacción y beneficios de la mitigación

5.1 Valuación económica del cambio climático en México

La cuantificación de los impactos del cambio climático es una tarea compleja que requiere combinar modelos científicos y económicos de forma consistente, generar escenarios económicos en un horizonte de tiempo muy amplio y reconocer la existencia de un margen de incertidumbre importante en los resultados obtenidos y de riesgos significativos que resultan particularmente difíciles de evaluar; además es necesario considerar factores que no tienen un valor de mercado pero que resultan fundamentales tales como la pérdida de biodiversidad. Asimismo, existe un debate intenso sobre la definición de la tasa de interés de descuento a utilizar (Stern, 2007 y Nordaus, 2008). No obstante ello, desde la óptica de la política pública y de la sociedad en general, resulta un ejercicio particularmente útil cuantificar los costos del cambio climático en la medida en que ello permite identificar opciones y alternativas y construir estrategias de desarrollo lo más eficientes posibles para enfrentar los desafíos del cambio climático.

La valuación de los costos y beneficios totales del cambio climático en México se sintetiza en el Cuadro 10 considerando una separación entre los costos de mercado y aquellos que no pasan por el mercado. Esta valuación es, desde luego, muy sensible a los supuestos utilizados tales como las tasas de descuento o el ritmo de crecimiento económico. En todo caso, permiten observar que los costos de los impactos son mayores que aquellos asociados a un acuerdo de mitigación internacional para México. Así, los costos totales del cambio climático alcanzan al 2100, con una tasa de descuento del 4%, alrededor del 6.2% del PIB, excluyendo actividades pecuarias y eventos extremos y alza del nivel de mar y los costos fuera del mercado en biodiversidad y vidas humanas.

Cuadro 10.
Costos totales del Cambio Climático para la economía mexicana al 2050 y 2100

Sector	2050											
	Tasa de descuento 0.5%				Tasa de descuento 2%				Tasa de descuento 4%			
	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios
Agrícola	2.11%	2.82%	2.42%	2.45%	1.37%	2.44%	1.56%	1.79%	0.80%	1.07%	0.90%	0.92%
Agua	7.59%	7.59%	7.59%	7.59%	4.02%	4.02%	4.02%	4.02%	2.20%	2.20%	2.20%	2.20%
Uso de suelo	0.17%	0.37%	0.57%	0.37%	0.08%	0.18%	0.28%	0.18%	0.03%	0.07%	0.11%	0.07%
Biodiversidad	0.02%	0.05%	0.02%	0.03%	0.01%	0.03%	0.01%	0.02%	0.01%	0.02%	0.00%	0.01%
Turismo internacional	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TOTAL	9.90%	10.84%	10.60%	10.45%	5.49%	6.68%	5.87%	6.01%	3.04%	3.36%	3.21%	3.20%
Pecuario	1.10%	1.44%	1.24%	1.26%	0.71%	0.94%	0.80%	0.82%	0.41%	0.55%	0.46%	0.47%
Biodiversidad-Indirecto	0.23%	0.42%	0.16%	0.27%	0.13%	0.16%	0.06%	0.12%	0.08%	0.01%	0.01%	0.03%
TOTAL (incluyendo pecuario y biodiversidad indirecto)	11.22%	12.70%	12.01%	11.98%	6.34%	7.78%	6.73%	6.95%	3.53%	3.92%	3.68%	3.71%

Sector	2100											
	Tasa de descuento 0.5%				Tasa de descuento 2%				Tasa de descuento 4%			
	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios
Agrícola	7.54%	11.15%	11.05%	9.91%	3.34%	4.83%	4.63%	4.26%	1.35%	1.91%	1.74%	1.67%
Agua	18.85%	18.85%	18.85%	18.85%	9.41%	9.41%	9.41%	9.41%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%
Uso de suelo	-0.41%	-0.28%	-0.15%	-0.28%	-0.12%	-0.08%	-0.04%	-0.08%	-0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.02%
Biodiversidad	0.18%	0.67%	0.71%	0.52%	0.06%	0.22%	0.24%	0.17%	0.02%	0.05%	0.06%	0.04%
Turismo internacional	0.09%	0.19%	0.18%	0.16%	0.04%	0.08%	0.07%	0.06%	0.02%	0.03%	0.03%	0.02%
TOTAL	26.24%	30.58%	30.64%	29.16%	12.73%	14.46%	14.30%	13.83%	5.86%	6.48%	6.32%	6.22%
Pecuario	3.76%	5.27%	5.18%	4.73%	1.68%	2.32%	2.21%	2.07%	0.69%	0.94%	0.86%	0.83%
Biodiversidad-Indirecto	3.63%	8.53%	7.58%	6.58%	1.35%	3.04%	2.63%	2.34%	0.42%	0.80%	0.69%	0.63%
TOTAL (incluyendo pecuario y biodiversidad indirecto)	33.63%	44.38%	43.40%	40.47%	15.76%	19.82%	19.14%	18.24%	6.96%	8.21%	7.86%	7.68%

Por su parte, los costos de la mitigación con reducciones al 50% de emisiones al 2100 con respecto al 2002, con una tasa de descuento del 4%, se sintetizan en el Cuadro 11. Estos costos se ubican, con una tasa del 4% entre 0.7 y 2.2% del PIB dependiendo del valor de la tonelada de carbono; asimismo se incluyen los costos de mitigación con reducciones al 50% de emisiones al 2050 con respecto al 2002 (Cuadro 12). Los costos de mitigación estimados representa probablemente el límite superior atendiendo a que no se aplicó ningún procedimiento de minimización de costos a través de aprovechar las curvas de costos de abatimiento o de reducciones de costos consecuencia de la innovación tecnológica.

Cuadro 11.
Costo total de la reducción de emisiones de CO₂ para la meta de 50% respecto al 2002 en el 2100

Costos	%PIB		
	0.50%	2%	4%
9.56 dólares por tonelada	2.10	1.20	0.70
30 dólares por tonelada ⁶	6.60	3.76	2.21

Cuadro 12.
Costo total de la reducción de emisiones de CO₂ para la meta de 50% respecto al 2002 en el 2050

Costos	%PIB		
	0.5%	2%	4%
9.56 dólares por tonelada	1.03	0.77	0.56
30 dólares por tonelada	3.24	2.43	1.75

⁶ Este costo se obtuvo de Stern (2007)

Las estimaciones de costos y beneficios presentados en este apartado son, desde luego, solo indicativos. Esto es, la construcción de escenarios a 100 años plazo es obviamente una tarea en extremo compleja con un alto grado de incertidumbre y en todo caso sólo sugieren posibles trayectorias. En todo caso se observa que los costos de la inacción son superiores a los costos de la mitigación, bajo el supuesto de un acuerdo internacional al respecto y sugieren la conveniencia, para México de participar en una estrategia global para abatir el cambio climático.

5.2 El cambio climático y las políticas públicas en México

México debe consolidar, aún con mayor fuerza, una estrategia global que coordine el conjunto de acciones y de las políticas públicas orientadas a mitigar y adaptarse el cambio climático. En este contexto, la planeación y al regulación ambiental en México, no obstante los avances alcanzados en algunas áreas, tiene aún un amplio margen para aprovechar. La evidencia del deterioro ambiental, incluyendo los impactos climáticos, en México sugiere la necesidad, entre otras cosas, de aplicar una política pública que contribuya, de manera decisiva a revertir esta tendencia. El cambio climático es un fenómeno con un nivel de riesgo elevado donde existe una probabilidad de eventos catastróficos y de efectos de retroalimentación importantes. En este sentido, más allá de los valores económicos que puedan asignarse a los impactos climáticos o a los procesos de mitigación es necesario evitar pérdidas irreversibles como en la biodiversidad y administrar apropiadamente el riesgo de un evento catastrófico aun incluso con escasa probabilidad de ocurrencia o de eventos climáticos más intensos producto de los procesos de retroalimentación.

Así, la construcción de una estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático en México debe reconocer la necesidad de utilizar diversos instrumentos en forma consistente con una visión de largo plazo. Resulta para ello indispensable reconocer la importancia de construir una estructura de precios relativos consistente con un desarrollo sustentable. Esto es, los precios relativos deben reflejar adecuadamente la presencia de las externalidades negativas que produce el consumo de ciertos bienes; reconociendo incluso la importancia de valorar adecuadamente aspectos que actualmente están fuera del mercado como la biodiversidad. Una estructura de precios adecuada resulta fundamental para controlar un consumo excesivo, para una mejor administración de los recursos y para apoyar la innovación y la difusión tecnológicas. Resulta esencial atender, con una visión de largo plazo, al papel de los precios de algunos de los bienes y servicios públicos tales como la energía, las gasolinas o el agua; ello, desde luego, sin desatender consideraciones sociales. De este modo, resulta decisivo, desde la óptica del sector público, disponer de una estrategia consistente de gasto público y subsidios que contribuya a una adecuada señalización de precios; por ejemplo, es necesario dejar de apoyar una expansión ineficiente de la frontera agropecuaria. Las sensibilidades de respuesta a cambios en el precio de las distintas demandas de bienes estimadas en este trabajo tales como los distintos tipos de energía, gasolinas y agua son aun inelásticas. Ello es consecuencia de la interacción de un conjunto de factores muy diversos donde destacan la falta de bienes alternativos o sustitutos adecuados como en el dilema del transporte público y privado, la carencia de una estrategia de señalización de precios de largo plazo que no es percibida como permanente o la simple falla del mercado respectivo. Desde luego, es indispensable que estos obstáculos se

eliminen paulatinamente, sin embargo, la realineación de los precios relativos para apoyar a un desarrollo sustentable con las actuales elasticidades resulta muy fuerte y puede originar distorsiones importantes y tener consecuencias sociales negativas en el corto plazo que impidan alcanzar los objetivos esperados. Ello implica la necesidad de apoyar a los mecanismos de mercado con regulaciones consistentes que mimeticen los incentivos económicos. Es posible aplicar una estrategia paulatina realineación de los precios relativos en una trayectoria de rampa apoyando el proceso con regulaciones y gastos que permitan aumentar las sensibilidades de respuesta a las señales de precios, amortiguar los impactos sociales negativos y preservar y reducir al mínimo los daños más inminentes en donde las señales de precios son insuficientes como en biodiversidad. Es indispensable entonces combinar, el uso de las regulaciones ambientales con los instrumentos económicos. Ello sin embargo requiere identificar apropiadamente los casos donde cada uno de esos dos mecanismos tiene mejores oportunidades para obtener resultados benéficos. En el texto se enumeran distintas áreas y actividades que permitirían mejorar la dinámica entre estos dos instrumentos.

Asimismo debe reconocerse que la planeación del sector ambiental en México debe apoyarse en la construcción de un conjunto de indicadores y metas cuantificables. En este sentido, se observa que en México existen avances importantes en materia ambiental pero que ello no es suficiente atendiendo a la persistencia del deterioro ambiental. Por ello, es indispensable avanzar en una mayor complementariedad de los distintos instrumentos que están disponibles. Así, la estrategia de mitigación en México debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La existencia de las externalidades, así como de los costos de mitigación supone una relación entre las políticas económicas y las ambientales que trascienda las fallas de coordinación y de integración que hasta ahora han prevalecido en México. La aplicación de instrumentos económicos para fines ambientales ha sido más bien casuística, a pesar de las ventajas demostradas que suponen dichos instrumentos, y a pesar también de que están previstos, de distintas formas, en la legislación desde la última década del pasado siglo.
- La modificación de precios de la energía y la aplicación de mecanismos de mercado no resolverían por sí mismas las necesidades de mitigación de emisiones, pero también muestra que sin dichas políticas no será posible alcanzar las metas de mitigación que requiere la estrategia de cambio climático. Se impone como prioridad un cambio tanto de concepción como en la operación de las políticas económico-ambientales, en especial las de tipo fiscal relacionada con el consumo de energía.
- El reforzamiento del marco reglamentario pasa también por el otorgamiento de mayores atribuciones a las instancias idóneas para verificar la observancia de normas y leyes. Instancias como la CONUEE, la PROFEPA o incluso las mismas SEDESOL y SEMARNAT, tendrán dificultades para trascender la emisión de recomendaciones mientras se sigan enfrentando a los dictados de mayor peso de otros sectores.

México ha realizado esfuerzos importantes, en torno a la conformación de una política ambiental para enfrentar los desafíos del Cambio Climático. Así, el gobierno mexicano ha identificado la necesidad de reducir sus emisiones de efecto invernadero sin afectar el crecimiento económico y el desarrollo. Como parte de este proceso, las autoridades mexicanas ya han hecho pública la intención de que México reduzca voluntariamente sus emisiones en un 50% hacia el 2050 tomando como base el año 2000. Estaría supeditado al cumplimiento de ciertas condiciones financieras, tecnológicas y en general de cooperación y de cumplimiento de la comunidad internacional. El análisis económico realizado permite entonces identificar una meta de emisiones *per cápita* y transponerla a metas específicas de emisiones de energía a PIB y de emisiones a energía a nivel nacional y por sectores con base en el modelo IPAT (Cuadro 13). Permite entonces construir una estrategia de monitoreo por sectores económicos que facilita de verificación de resultados.

Cuadro 13.

Tasa de cambio (%) anual de los requerimiento de CO₂/PIB, CO₂/POB y CO₂/ENERG para reducir al 50% de emisiones al 2050

Ratio	2002-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
CO ₂ (1)/PIB	-4.57%	-4.77%	-4.64%	-4.86%	-4.91%
CO ₂ (2)/PIB	-4.58%	-4.71%	-4.76%	-4.87%	-4.81%
CO ₂ (1)/POB	-2.09%	-2.04%	-1.82%	-1.65%	-1.39%
CO ₂ (2)/POB	-2.09%	-2.03%	-1.82%	-1.65%	-1.40%
CO ₂ (1)/ENERG	-4.43%	-4.15%	-4.21%	-4.82%	-4.82%
CO ₂ (2)/ENERG	-4.43%	-4.15%	-4.21%	-4.82%	-4.82%

CO₂(1) = Emisiones excluyendo desechos y CO₂(2) = emisiones totales.

El cumplimiento de estas metas debe estar acompañado de políticas específicas tales como:

Energía

- Existe un potencial de mitigación importante en las empresas públicas (PEMEX, CFE Y LFC). Ello puede alcanzarse a través de diversos mecanismos tales como fijar normas que limiten las emisiones o a través de la conformación de un mercado de carbono.
 - Desarrollo de proyectos que aprovechen el potencial de la cogeneración, incluyendo una normatividad para la conexión a la red de distribución de energía eléctrica y su comercialización.
 - Incorporar en los programas de inversión de las empresas públicas del sector energético los cálculos de las externalidades por emisiones de GEI utilizando los precios de la tonelada de carbono evitada con tecnologías alternativas.
- a. Promover la mejora en la eficiencia energética a través de:
- Establecer normas más estrictas con estándares internacionales para aparatos electrodomésticos y aparatos y equipos de uso industrial; apoyado en una certificación que permita a los consumidores conocer las ventajas y características de los equipos.

- Fijar una meta temporal para eliminar la producción y uso de focos incandescentes y desarrollar programas de apoyos a los consumidores de bajos ingresos, dando certidumbre de largo plazo. Simultáneamente, desarrollar un programa nacional para fijar una meta temporal de sustitución de focos incandescentes en el alumbrado público.
- b. Modificar la matriz energética hacia una oferta barata confiable y eficiente y con un menor contenido de carbono.
- c. Actualizar el marco jurídico y normativo para incentivar la generación de energía con fuentes renovables, permitiendo la participación de la inversión privada. Diseñar una estrategia nacional de generación de energía eléctrica a partir de fuentes alternativas limpias incluyendo nucleares.

Consumo de gasolina

- Cambios en los precios de la gasolina y de automóviles (o impuestos) para que reflejen el costo real de utilizar el automóvil, incluyendo las externalidades negativas.
- Esta medida debe ser acompañada por una política de control orientada a incrementar la eficiencia promedio de la flota vehicular.
- Hacer más eficiente el transporte público a fin de que sea un sustituto del transporte privado.
- Planificar la producción de gasolinas de tercera generación.
- Elaborar y aplicar normas más estrictas para el transporte público federal, incluyendo la limitación de tiempo de vida útil del equipo y programas más estrictos de verificación.
- Desarrollar y fomentar sistemas de transporte limpio o de baja intensidad de carbono tales como sistemas ferroviarios, los sistemas multimodales y los sistemas urbanos de transportación en carriles confinados.

Deforestación y cambio de uso del suelo

- Limitar la expansión de la frontera agropecuaria.
- La extensión y reformulación del PROCAMPO ecológico con una focalización bien definida bajo claros criterios de mitigación y que se alineen los incentivos económicos de las políticas públicas en el campo.
- Apoyar plantaciones forestales de protección.
- Protección forestal contra incendios.
- Protección forestal contra plagas y enfermedades.
- Fomentar el establecimiento de plantaciones forestales de calidad, propiciar su adecuado mantenimiento y reposición. Con la finalidad de producir materias primas industriales y de disminuir la presión sobre los bosques nativos.

Subsidios agropecuarios

- Eliminar paulatinamente, la tarifa 09 que subsidia el uso del agua en las actividades agrícolas y que fomenta implícitamente la explotación no sustentable de los acuíferos y el uso de tecnologías ineficientes de riego. Así se propone:
 - Desarrollar programas para el aprovechamiento racional de los recursos naturales, en especial del agua.
 - Programas de internalización paulatina de los costos del bombeo en zonas agrícolas de riego.
 - Compensar temporalmente a los productores agrícolas más afectados.

Mercado de Carbono

La solución al cambio climático requiere la consolidación de un mercado internacional de carbono ya sea a través de la imposición directa de impuestos al carbono, del uso de un sistema de permisos comercializables o directamente del establecimiento de regulaciones con este propósito, o incluso de un sistema híbrido que combine algunas de estos instrumentos. En este sentido, es fundamental que México avance en la creación de un mercado de carbono en donde se defina su forma de integración con otros países incluso dentro los acuerdos comerciales ya vigentes. Para ello se propone:

- Construcción de un sistema de permisos comercializables de carbono en México.
- Instauración de un precio al carbono.
- Diseño y aplicación de regulaciones que apoyen la creación y funcionamiento eficiente de este mercado.

Debe reconocerse la importancia de modificar hábitos y patrones de producción, distribución y consumo, apoyar de manera decisiva la innovación y la difusión de nuevas tecnologías que reduzcan la intensidad en carbono, la eliminación de barreras institucionales y la conformación de una nueva cultura ambiental.

Adaptación

El proceso de adaptación es un componente fundamental para evaluar los impactos del cambio climático y por tanto es un elemento fundamental que debe incluirse en la estrategia ante el cambio climático. Los procesos de adaptación tienen costos significativos pero también existen costos importantes de no realizarse. Por ejemplo, un proceso de adaptación exitoso puede incluso reducir los impactos del cambio climático en más de la mitad. Los impactos climáticos son, sin embargo, de diversa índole y por tanto los procesos de adaptación son extremadamente complejos y difíciles de

identificar. De hecho, las proyecciones realizadas sugieren que la magnitud de los ajustes necesarios en el largo plazo son impresionantes, asimismo, debe reconocerse que la adaptación será insuficiente para resolver los problemas del cambio climático. La adaptación puede reducir los costos del cambio climático pero es insuficiente para controlar sus impactos.

La construcción de un proceso de adaptación eficiente y exitosa debe considerar:

1. Una adaptación es eficiente en el caso en que los beneficios exceden los costos. Por desgracia, con la estructura de precios relativos actuales el sector privado puede buscar una adaptación que aparece como eficiente individualmente pero que no incluye las externalidades negativas que genera.
2. La adaptación se hace bajo incertidumbre lo que aumenta sus costos y reduce su eficiencia ante la falta de información oportuna y de largo plazo.

En este sentido, es necesario diseñar una estrategia de adaptación eficiente considerando:

Sector agropecuario

- a. Cambios en las prácticas agrícolas con:
 - Introducción de variedades de mayor rendimiento.
 - Estudios sobre cultivos resistentes a la inundación, a temperaturas elevadas y a la sequía, y sobre la diseminación de tales cultivos.
 - Nuevos esquemas de riego para regiones áridas cultivadas.
 - Uso adecuado de fertilizantes.
 - Implementación de un sistema de control de plagas y enfermedades.
 - Reducir los efectos de la contaminación del suelo y del agua superficial, producida por el uso indiscriminado de pesticidas y herbicidas.
 - Mover la agricultura más sensible al clima del altiplano y regiones con más agua sin que ello impacte substancialmente el cambio de uso de suelo.
- b. Difundir los seguros agrícolas y pecuarios basados en índices meteorológicos. Estas pólizas de seguros permiten a los agricultores manejar mejor los riesgos y los estimulan a invertir en actividades agrícolas que exigen una inversión inicial más alta.
- c. Necesario proveer, a través de agencias gubernamentales, la información adecuada sobre el cambio climático.
- d. Aplicar una normatividad internacional en la utilización de agroquímicos.
- e. Fomentar la agro silvicultura, y la agroforestería, fomentar el aprovechamiento de tierras marginales para cultivos perennes. Fomento a la labranza de conservación.

Sector forestal

- a. Plantaciones forestales de protección: para controlar procesos erosivos, regular el régimen hídrico, captar CO₂ y disminuir su vulnerabilidad frente al cambio climático

- b. Protección forestal contra incendios: difundir e implementar actividades de prevención y control, para disminuir el nivel de ocurrencia de incendios forestales.
- c. Protección forestal contra plagas y enfermedades.
- d. Fomentar el establecimiento de plantaciones forestales con mantenimiento y reposición adecuada y que ofrezcan materias primas industriales de calidad, que contribuyan a disminuir la presión sobre los bosques nativos.
- e. Detener la tasa de deforestación.

Agua

- a. Mejorar la administración del agua.
- b. Controlar la demanda de agua haciéndola más eficiente.
- c. Construir infraestructura adecuada para administrar mejorar la administración de agua.

Biodiversidad

- a. Existen opciones limitadas para la adaptación en algunos ecosistemas (por ejemplo, los arrecifes coralinos de áreas en altas latitudes/altas altitudes) debido a su sensibilidad y/o exposición al cambio climático. Para algunos de estos sistemas (entre ellos los arrecifes coralinos), las opciones para la adaptación pueden incluir la limitación de otras presiones (por ejemplo, la contaminación o la escorrentía de sedimentos).
- b. Las estrategias de largo plazo que podrían contribuir a la adaptación de la biodiversidad se concentran en la expansión de reservas que podrían colaborar a disminuir la vulnerabilidad del ecosistema al cambio climático. De este modo, es necesario mantener y desarrollar áreas naturales protegidas, corredores naturales, conservación del suelo, manejo de ecosistemas, monitoreo y conservación *in situ*. Así, es necesario restaurar y mantener una mayor conectividad de áreas naturales protegidas ante el cambio climático lo que implica mantener corredores de biodiversidad como una prioridad.
- c. Asimismo, es necesario reducir y manejar el *stress* de especies y ecosistemas, asociado a factores distintos al cambio climático tales como la fragmentación, destrucción, sobreexplotación, desertificación y acidificación.
- d. Una política de impuesto sobre el valor agregado ecológico podría contribuir a la conservación de bosques y biodiversidad.

Turismo

- a. Medidas técnicas: reciclar agua, colecta de agua de lluvia, plantas de desalinización, estructuras tarifarias para el consumo de agua, estructuras resistentes a los ciclones, pronósticos del clima y sistemas de alerta.
- b. Medidas administrativas: planes de conservación del agua, diversificación de productos y mercados, diversificación regional de empresas, redireccionar clientes en zonas de impacto, impulsar la administración ambiental en las empresas (certificaciones), y ajustar las primas de las pólizas de aseguración.

- c. Educación: educación en conservación del agua entre empleados y huéspedes, campañas de conservación del agua.

Eventos extremos y costas

- a. Desarrollar la infraestructura para mitigar los impactos climáticos.
- b. Preparación para atender adecuadamente los eventos extremos.
- c. Desarrollar una estrategia de reubicación de actividades económicas y de población en riesgo potencial.

Salud

- a. Aplicar políticas específicas para reducir el riesgo de la población más sensible a los impactos climáticos con especial atención a las grandes ciudades y a los posibles contagios de enfermedades infecciosas en las zonas rurales.

Industria

- a. Promover la innovación tecnológica.
- b. Establecer costos que incluyan las externalidades negativas.
- c. Aplicar sistemas de incentivos fiscales para las empresas con inversiones para la transformación tecnológica en proporción a las emisiones disminuidas.

Construcción

- a. Fijar normas para los edificios públicos para la sustitución de focos y luminarias incandescentes.
- b. Desarrollar una normatividad para la construcción de vivienda que incorpore criterios de utilización de materiales, aislamiento térmico, equipos e instalaciones ahorradoras de energía, disposición adecuada de desechos, sistemas de recarga y tratamiento de aguas. Incluyendo además el apoyo en mecanismos financieros, como las hipotecas verdes y los fideicomisos para el ahorro de energía.
- c. Fortalecer la normatividad para la construcción de edificaciones verdes para el consumo de energía, disposición de residuos, consumo de agua y su tratamiento, descargas y manejo de desechos.
- d. Mejorar y controlar el manejo de desechos.

La economía mexicana, en los próximos años, tendrá que transitar a una trayectoria de crecimiento de baja intensidad de carbono como el resto de las economías del mundo, al mismo tiempo que realiza un proceso de adaptación que minimice los impactos del cambio climático. Los recursos monetarios y financieros requeridos para ello son significativos, más aún, existen usos alternativos para estos recursos como el desarrollo de la infraestructura, la construcción de una red de protección social o educación que son también fundamentales para un desarrollo sustentable. En algunos casos

existen economías de escala entre diferentes metas que deberán aprovecharse, sin embargo, es necesario diseñar una estrategia donde los recursos internos se complementen con recursos externos. La economía mexicana deberá realizar entonces diversas acciones de mitigación y adaptación dentro de su frontera de posibilidades, contribuyendo con ello a la solución global del cambio climático y en concordancia a la necesidad de actuar de acuerdo a su sentido de responsabilidad, sin embargo, es evidente que se requieren recursos adicionales para cumplir con metas más ambiciosas. México deberá buscar en el corto plazo aprovechar los recursos internacionales ya disponibles a través de diversos fondos y organizaciones; deberá contribuir a desarrollar los organismos e instituciones multilaterales que permitan consolidar las fuentes de financiamiento necesarias.

Los retos que implica el cambio climático son impresionantes y en muchos casos con impactos ya inevitables. La decisión estratégica fundamental consiste entonces no en reconocer la necesidad de enfrentar aquello que es ya inevitable sino descubrir la mejor forma de hacerlo.

Referencias

- Blanchard, O. (1997): *Macroeconomía*, Prentice Hall Iberia, Madrid.
- Brohan P., J. J. Kennedy, I. Harris, S. F. B. Tett & P. D. Jones (2006) "Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from (1850)". *J. Geophys. Res.*, 111.
- Brooks C. (2002) "Introductory Econometrics and Finance" Cambridge.
- Cahoon, D.R., and Hensel, P., (2002) "Hurricane Mitch: a regional perspective on mangrove damage, recovery and sustainability": USGS Open File Report 03-183, 31 p
- Centro Mario Molina (2009) *Estudios estratégicos sobre energía y medio ambiente*.
- CONABIO, Comisión Nacional para el uso de la Biodiversidad (1998). "La diversidad biológica de México: Estudio de País", Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Deschenes O. y M. Greenstone (2006), "The economic Impacts of climate Change: Evidence from Agriculture profits and Random Fluctuations in Weather".
- Doering O.C., J.C. Randolph, J. Southworth y R.A. Pfeifer (2002) "Effects of Climate Change and Variability on Agriculture Production Systems". Kluwer Academic Publishers.
- Engle, R.F. (1982), "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of UK Inflation", *Econometrica*, 50: 987–1008.
- Erasmus, B.F.N., A.S. Van Jaarsveld, S.L. Chown, M. Kshatriya y K.J. Wessels, (2002) "Vulnerability of SouthAfrican animal taxa to climate change". *Global Change Biol.*, 8: 679-693.
- Fleischer Aliza, Lichtman Ivgenia and Robert Mendelsohn (2008) "Climate change, irrigation, and Israeli agriculture: Will warming be harmful?" *Ecological economics* 65: 508–515.
- Hodrick, Robert, and Edward C. Prescott (1997), "Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation", *Journal of Money, Credit, and Banking*.
- IPCC (2007) "Climate Change 2007: The Physical Science Basis". Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B.
- Johnson, Alatorre, Romo y Liu (2009), "MEDEC: México Lon – Carbon History" Banco Mundial.
- Just, R.E. (1974), "An Investigation of the Importance of Risk in Farmers' Decisions", *American Journal of Agricultural Economics*, 56: 14–25.
- Kaya, Y, (1989) "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios". Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris.
- Lozano García Ma. Socorro (2004) "Evidencia del Cambio Climático: Cambios en el paisaje" INE, SEMARNAT.
- Magaña Víctor, Juan Matías Méndez, Ruben Moralez, y Cecilia Millán. (2004) "Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México". INE, SEMARNAT.

- Mendelsohn Robert, Nordhaus William and Daigee Shaw (1994); "The impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis" *The American Economic Review*, Vol. 84, No. 4, pp. 753-771.
- Millennium Ecosystem Assessment, (2005) "Ecosystem y Human Well-being. Vo. 2: Scenarios": Findings of the Scenarios Working Group, Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington DC. 560 pp.
- Mittermeier, R. y Goettsch, C. (1992). "La importancia de la diversidad biológica de México"; En Sarukhán, J. y Dirzo, R. (comps.), *México Ante los Retos de la Biodiversidad*. CONABIO, México.
- Mulholland P.J.; J.L. Tank; J.R. Webster; W.B. Bowden; W.K. Dodds; S.V. Gregory; N.B. Grimm; S.K. Hamilton, et al., (2002). "Can uptake length in streams be determined by nutrient addition experiments?. Results from an interbiome comparison study". *Journal of the North American Benthological Society*, 21(4): 544-560.
- Nordhaus W., (2008) "A question of Balance: Weighing the options on Global Warming Policies", Yale University Press, New Haven & London
- Ortiz Pérez M.A. y Ana P. Méndez Linares. (1999) "Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la cosra mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe". *Investigaciones Geográficas* 39: 68-81. Instituto de Geografía UNAM.
- Ortiz Pérez M.A. y Ana P. Méndez Linares. (2000) "Repercusiones por ascenso del nivel del mar en el Litoral del Golfo de México" en: *México, una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México*. Instituto de Geografía, UNAM.
- Park, R. A. (1991) " Testimony before the Subcommittee on Health y Environment U.S. House of Representatives". *Global Climate Change y Greenhouse Emissions*, SN 102-154, 171-182.
- Peterson A. T., J. Soberon, y V. Sanchez-Cordero (1999) "Conservatism of ecological niches in evolutionary time". *Science* 285: 1265-1267.
- Peterson T., V. Sánchez Cordero, J. Soberón, J. Bartley, R. Buddemeier y A. Sanchez Navarro (2001). "Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae". *Ecological Modeling* 144: 21-30.
- Peterson, A.T., M.A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sanchez-Cordero, J. Soberon, R.H. Buddemeier y D.R.B. Stockwell, (2002) "Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios". *Nature*, 416: 626-629.
- Quadri G. (2008) "El cambio climático en México y el potencial de Reducción de Emisiones por Sectores".
- Sanjurjo Rivera, E. e Y. Carrillo Guerrero. (2006). "Beneficios económicos de los flujos de agua en el delta del Río Colorado: consideraciones y recomendaciones iniciales". *INE México, Gaceta ecológica* 80.: 51-62.
- Stern N. (2007) "Stern Review: The economics of climate change". Cambridge University.
- Tejeda M. A. y L. Rodríguez (2006) "Estado de la investigación de los aspectos físicos del Cambio Climático en México" *Investigaciones geográficas boletín* 62.
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A.S. van Jaarsveld,

- G.F. Midgley, L. Miles, M.A. Ortega- Huerta, A.T. Peterson, O.L. Phillips y S.E. Williams, (2004) "Extinction risk from climate change". *Nature*, 427: 145-148.
- UNWTO, (2008), "Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges".
 - Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorgas-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, y, J.L. Palacio. (2002). "Patrones y tasas de cambio de uso del suelo". *INE México, Gaceta Ecológica No 062: 21-37.*
 - Villers Lourdes e Irma Trejo (2004) "Evaluación de la Vulnerabilidad en los ecosistemas forestales" INE, SEMARNAT.