

La economía del Cambio Climático en México: algunas reflexiones

*Luis Miguel Galindo y Karina Caballero**

Sumario

Existe una estrecha relación entre el aumento de emisiones de gases efecto invernadero y el cambio climático. Es por ello necesario hacer proyecciones de escenarios climáticos y de escenarios macroeconómicos para estimar los costos totales de mitigación (baja senda de carbono) que son indudablemente menores a los costos de inacción. A pesar de los altos niveles de incertidumbre y riesgos, este tipo de estimaciones, nos sirven para cuantificar el orden de magnitud para la economía mexicana.

Clasificación JEL: Q51, H43.

1. Introducción

La evidencia científica disponible muestra la existencia de una estrecha asociación entre el aumento de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y el fenómeno del cambio climático que se traduce en 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 (IPCC [2007]). En este sentido, el cambio climático tiene su origen en diversos procesos económicos y sociales que determinan la evolución de las principales fuentes de emisiones tales como la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo y/o la deforestación y los desechos sólidos; asimismo, estos cambios climáticos tienen, por medio de diversos canales de transmisión, efectos significativos sobre el conjunto de las actividades económicas, sociales, la población y los ecosistemas (IPCC [2007], Stern [2007], CEPAL [2009], Nordhaus [2008], Galindo [2010]).

El cambio climático, desde una óptica económica, representa una externalidad negativa global (Stern [2007]). Esto es, la atmósfera es un bien

* Profesores de la Facultad de Economía, UNAM; el primer autor es asesor de CEPAL y profesor afiliado al CIDE. Este artículo está basado en el Estudio “La Economía del Cambio Climático en México” publicado por SEMARNAT en 2010.

público y por tanto es utilizada, sin costo económico alguno, como receptáculo de gases de efecto invernadero que son el resultado colateral de diversas actividades económicas. En este sentido, el cambio climático representa una restricción adicional al desarrollo económico; es decir, los costos económicos del cambio climático derivados de los impactos directos, de los procesos de adaptación a las nuevas condiciones climáticas y de los procesos de mitigación requeridos implican una restricción presupuestal adicional e inducen la necesidad de buscar alternativas de crecimiento consistentes en un desarrollo sostenible.

De este modo, el análisis económico del cambio climático es un elemento fundamental tanto para identificar sus causas y consecuencias, como para identificar las opciones de desarrollo en el futuro. Existe entonces un creciente interés por este tipo de estudios de economía del cambio climático y en México se han realizado diversos análisis en este sentido, pero es necesario profundizar en el tema. Así, el objetivo fundamental de este artículo es realizar algunos comentarios sobre los costos económicos del cambio climático para México estimados en el estudio “La economía del cambio climático en México”.

El artículo incluye seis secciones; en la primera se introduce el tema y el objetivo del artículo; la segunda sección presenta algunas consideraciones generales sobre las características de los estudios del cambio climático. La tercera sección incluye una discusión sobre los escenarios base, climáticos y macroeconómicos, que son parte fundamental en el análisis económico del cambio climático. La cuarta sección incluye algunas consideraciones sobre los impactos del cambio climático en México; la quinta sección discute algunos temas sobre los procesos de mitigación. Finalmente, la última sección presenta las conclusiones y recomendaciones de política.

2. Consideraciones generales sobre el análisis económico del cambio climático

El análisis del cambio climático es un proceso complejo que requiere combinar modelos científicos y económicos de forma consistente; generar escenarios económicos en un horizonte de largo plazo; incluir márgenes de riesgo apropiados atendiendo, por ejemplo, a la posibilidad de eventos catastróficos en el largo plazo que tienen escasa probabilidad de ocurrencia en un año específico y reconocer, por tanto, la existencia de un margen de incertidumbre significativo en los resultados obtenidos incluyendo efectos que no tienen un valor de mercado y que en algunos casos son irreversibles, como la pérdida de biodiversidad. En este

sentido, el análisis económico del cambio climático es un tema en extremo complejo donde sus características condicionan y limitan el tipo de estudio a realizar, en donde destacan:

El cambio climático es un fenómeno global pero que se manifiesta de manera muy heterogénea por regiones con efectos asimétricos importantes.

El cambio climático es un fenómeno de largo plazo, con un elevado nivel de incertidumbre.

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.

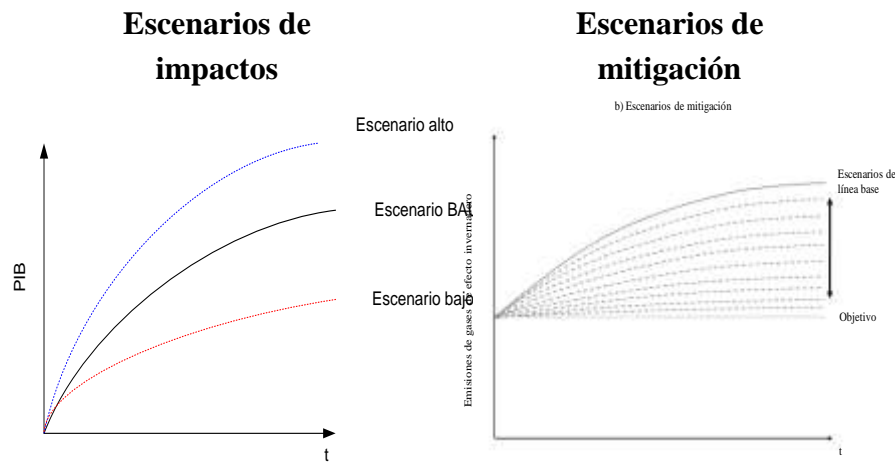
El análisis económico del cambio climático, no obstante estas características y limitaciones resulta, desde la óptica de la política pública y de la sociedad en general, un instrumento fundamental ya que permite identificar opciones y alternativas para construir estrategias de desarrollo sostenible y proteger para las generaciones futuras nuestros recursos naturales y ecosistemas más allá de su valor económico. En todo caso, debe considerarse que las proyecciones no representan pronósticos puntuales sino sólo escenarios prospectivos. En este contexto, es posible utilizar el análisis costo-beneficio¹ (CBA, por sus siglas en inglés) como una guía para evaluar las diversas opciones de políticas públicas. El CBA consiste fundamentalmente en identificar y estimar monetariamente los costos y beneficios de alguna medida de política pública. Ello requiere considerar los flujos monetarios futuros a valor presente, por lo que es necesario utilizar una tasa de descuento específica. Este proceso es en extremo complejo atendiendo a la presencia de competencia imperfecta, intervención del gobierno, ausencia de precios de mercado, la existencia de externalidades negativas o de elementos difíciles de evaluar como la vida humana. Ello lleva en ocasiones a utilizar, por ejemplo, precios sombra o distintas formas de valoración económica (Nas [1996]). Así, el análisis económico del cambio climático plantea al menos cuatro problemas inmediatos desde la óptica de la evaluación del costo-beneficio del cambio climático:

1. El análisis económico del cambio climático se fundamenta en la construcción de un escenario base o inercial que se utiliza como referencia para identificar los

¹ Existen desde luego una gran cantidad de críticas al análisis de costo beneficio (Hanley y Spash [2003])

efectos del cambio climático sobre el producto o las actividades económicas y para simular los escenarios base de consumo de energía y de emisiones sobre los que se incluyen las cuñas que implican diversas estrategias de mitigación (Gráfica 1). En este sentido, resulta fundamental identificar apropiadamente la trayectoria base ya que ello incide tanto en los costos económicos de los impactos como los de mitigación.

Gráfica 1



Fuente: Elaboración propia

2. La valuación económica de diversos costos y beneficios en el tiempo requiere el uso de una tasa de descuento apropiada² (r). Esto es, el análisis económico del cambio climático utiliza o supone una función social de bienestar intergeneracional donde U_1 representa el bienestar social por generación (Hanley y Spash [1995], Galindo y Samaniego [2010]):

$$(1) \quad W = F(U_1, U_2, \dots, U_k)$$

La comparación agregada de estos costos y beneficios económicos en distintos momentos en el tiempo requiere utilizar una estimación del valor presente neto (Layard y Glaister [1994] y Hanley y Spash, [1995]):

$$(2) \quad VPN_t = INV_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FN_i}{(1+r)^i}$$

² Véase Stern [2007], Norhaus [2008] y Galindo y Samaniego [2009] para una discusión sobre la selección de la tasa de descuento.

Donde VPN es el valor presente neto, INV_0 es la inversión inicial en el momento cero, VN_t es el valor neto en diferentes momentos en el tiempo y r es la tasa de descuento. En general³, el valor presente neto se obtiene con dos tipos de tasas de descuento descritas en la conocida ecuación de Ramsey (Ramsey [1928]; Blanchard y Fischer [1989]):

$$(3) \quad r = \delta + \alpha g$$

Donde δ es la tasa pura de preferencias en el tiempo o tasa pura de descuento que indica la importancia que se le otorga al bienestar futuro de las próximas generaciones y donde el ingreso o consumo futuro tiene un valor menor que el consumo actual; el parámetro α es la elasticidad de la utilidad marginal del ingreso o del consumo y refleja la valuación del ingreso adicional o la forma en que se reduce la utilidad marginal del consumo (o el ingreso) conforme éste aumenta. El parámetro g es la tasa de crecimiento del ingreso de equilibrio o del consumo. Este coeficiente (α) que mide la elasticidad de la utilidad marginal del ingreso, se multiplica entonces por la tasa de crecimiento del ingreso de equilibrio (g) para estimar el impacto total.

De este modo, el análisis económico del cambio climático puede descontar, de acuerdo a la ecuación (3), directamente con la tasa pura de descuento δ (*pure rate of time preference*) o derivando la tasa de descuento (r). En principio, la tasa pura de descuento δ representa una decisión ética y es, por tanto, exógena al proceso económico. Por su parte, la tasa de descuento (r) tiene un componente ético que es la tasa pura de descuento δ y otro que depende del sistema económico asociado a la trayectoria de crecimiento económico de equilibrio y a la elasticidad de la utilidad marginal del ingreso (Galindo y Samaniego [2010]). Es común, en el análisis del cambio climático, usar una tasa de descuento baja que le otorga una relevancia significativa al futuro y que resulta por tanto más consistente con un concepto de desarrollo sostenible (Stern [2007]); sin embargo, ello debe considerarse con especial atención.

Es importante considerar que existen dificultades al incluir en el análisis factores que no tienen un valor económico, por ejemplo, la biodiversidad y/o los servicios que proporciona; En este sentido, en la valuación realizada se incluyen aquellos elementos que tienen un valor de mercado y aquellos otros factores que

³ Este apartado se basa en Galindo y Samaniego [2010], Galindo y Samaniego y De Miguel [2010] y Heal [2000].

no están valuados directamente en el mercado se busca incluirlos por medio de métodos indirectos.

Los análisis de CBA tienen una tendencia a ignorar el riesgo en este tipo de evaluaciones. Ello resulta particularmente preocupante en un análisis económico del cambio climático que contiene un riesgo mínimo de pérdidas significativas pero en un periodo de tiempo particularmente prolongado. En este sentido, es necesario ponderar la irreversibilidad de ciertos procesos y la complejidad de los sistemas tanto sociales como naturales, que conducen a respuestas no lineales o de límite. Asimismo, persiste aún una incertidumbre importante y cierta ignorancia sobre los resultados de muy largo plazo.

3. Escenarios base: climáticos y macroeconómicos

El análisis económico del cambio climático se fundamenta en la definición de líneas base, climáticas y económicas, en donde para el caso mexicano pueden hacerse algunas precisiones:

3.1. Escenarios climáticos

El clima es consecuencia de la continua y compleja interacción entre la energía solar, atmósfera, los océanos, las capas de hielo y nieve, los continentes y de la vida en el planeta en general (Conde *et ál.* [2006], Magaña [2005]). Las formas de la variabilidad del clima son múltiples y en consecuencia el realizar un pronóstico sobre dicha variabilidad resulta una tarea en extremo compleja (Landa, *et ál.* [2008]) y más aún para regiones específicas. La naturaleza no lineal del sistema climático hace que cualquier proyección del clima sea altamente sensible a las condiciones iniciales y a las condiciones específicas regionales. Así, una estrategia para proyectar el clima futuro consiste en realizar numerosos experimentos con diversos modelos y desde diferentes condiciones iniciales, así como en analizar las respuestas del clima en un cierto rango; por ello persiste un nivel de incertidumbre.

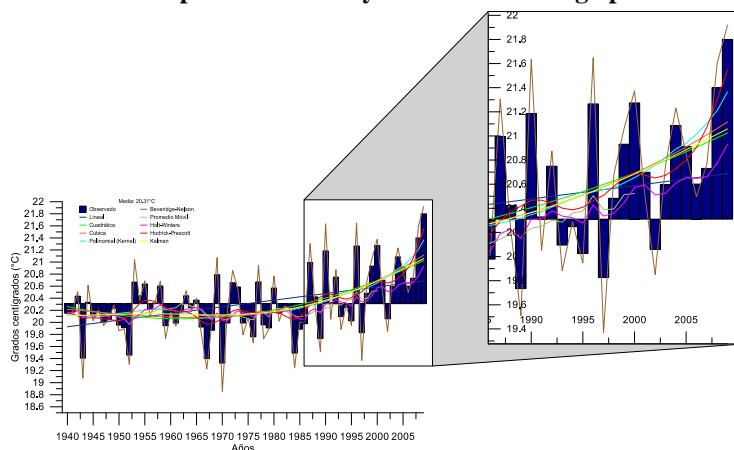
La evidencia histórica disponible para México muestra que las variables climáticas presentan ciertos patrones regulares en donde destacan las fluctuaciones en torno a una tendencia determinística o estocástica o en torno a una constante (Galindo *et ál.* [2010]). De este modo, es posible descomponer a la variable temperatura media de México⁴ mediante el método de componentes no

⁴ Desde luego, el uso de una media de temperatura para un país en particular tiene problemas importantes ya que resulta poco representativa, además el período de tiempo considerado es

observables considerando un componente permanente y uno transitorio⁵ en donde el primero se representa como un componente tendencial o no-estacionario y el segundo como una serie estacionaria (Mills [1991 y 2003]; Canova [1998 y 2007]; Maddala y Kim [1998] y Woodward y Gray [1995]). Estos procesos de descomposición de los componentes no observables pueden realizarse utilizando diversas técnicas y muestran en general la presencia de una tendencia ascendente en la temperatura media del país; este aumento de temperatura es además confirmado por las pruebas de raíces unitarias (Galindo, *et ál.* [2010]). Ello representa evidencia a favor de la presencia del cambio climático en México. Sin embargo, destaca que cada uno de estos filtros genera diferentes trayectorias de largo plazo lo que indica un importante nivel de incertidumbre (Gráfica 2) (Galindo *et ál.* [2010]).

Gráfica 2.

Temperatura media y tendencias de largo plazo



Fuente: Galindo *et ál.* [2010].

En este contexto, los escenarios climáticos base para el país y para los estados, basados en modelos de circulación general⁶ indican un aumento de temperatura,

relativamente corto para identificar tendencias climáticas de muy largo plazo; por lo que esta evidencia sólo es ilustrativa.

⁵ Excluyendo los patrones estacionales.

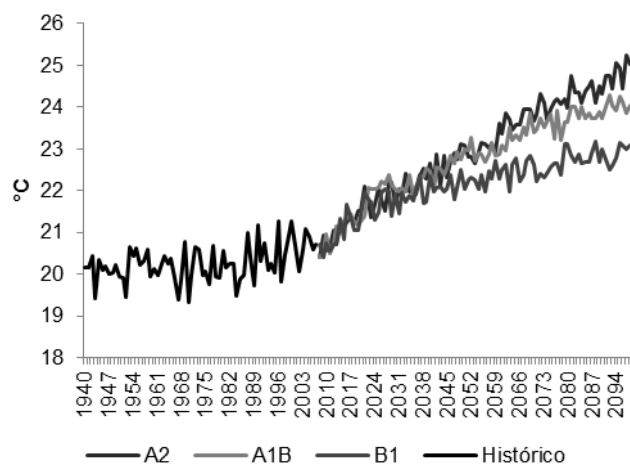
⁶ Los modelos de circulación general fueron estimados por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

en prácticamente todas las realizaciones para el 2100, con referencia al principio del siglo XX, en referencia a la temperatura media, aunque con diferencias estatales significativas y con el mayor aumento en el norte y noroeste de México. Así, las proyecciones climáticas (Gráfica 3) sugieren que el aumento de la temperatura media se ubicará durante el siglo XXI para México en el rango de 2 a 4°C aproximadamente, con una media de 3°C.

El IPCC generó una serie de escenarios de emisiones de GEI, los cuales se dividen en dos grandes familias (IPCC [2001]). Los escenarios “A” describen un mundo futuro con alto crecimiento económico, mientras que en los “B” ese crecimiento es más moderado. Los escenarios A1 y B1 suponen que habrá una globalización tal que las economías convergerán en su desarrollo. En los A2 y B2, se considera que el desarrollo se dará más a nivel regional. Estos escenarios parten de un conjunto de suposiciones sobre la evolución de los forzantes (población, tecnología, economía, uso del suelo, agricultura y energía) a nivel global y regional.

Gráfica 3.

Escenarios de temperatura México con distintos escenarios del IPCC (2007)



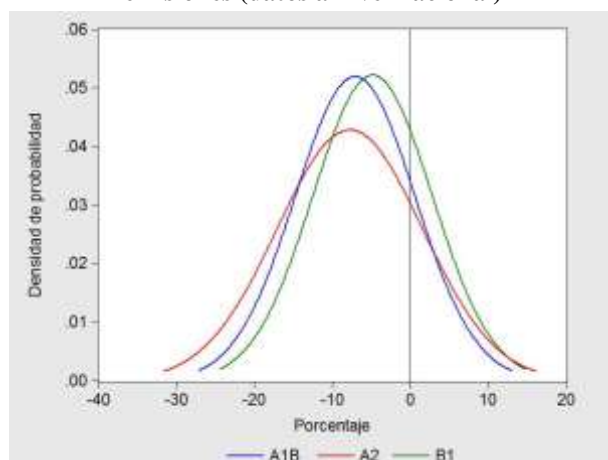
Fuente: Galindo [2010].

Estos escenarios de precipitación muestran una gran dispersión de resultados entre modelos y en términos de la variación porcentual. Destaca que bajo el escenario A2, los estados del norte muestran una disminución porcentual importante que puede llegar a 15%, mientras que en el escenario A1B la reducción en precipitación podría ser de alrededor de 9%. Debe destacarse

además que existe un cambio en la distribución de probabilidades del fenómeno climático engordando las colas de la distribución lo que sugiere una mayor presencia de eventos climáticos extremos (Gráfica 4). La variabilidad del fenómeno y el cambio en la distribución de probabilidades puede entonces modificar substancialmente los impactos climáticos, aunque ello es en extremo difícil de cuantificar aún.

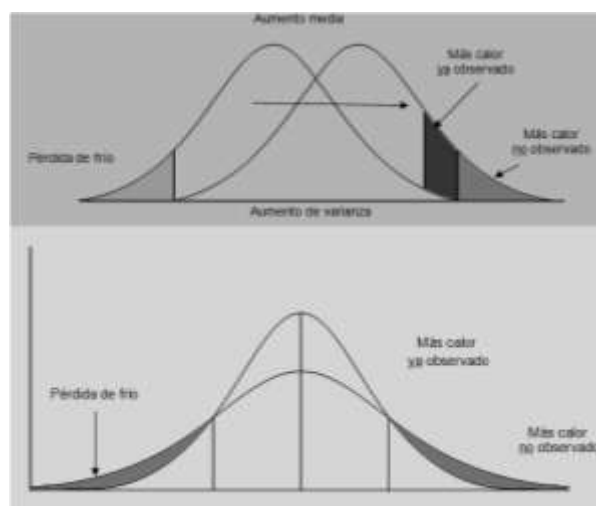
Gráfica 4.

Distribución de la anomalía de precipitación bajo los diferentes escenarios de emisiones (datos a nivel nacional)



Fuente: Galindo [2010]

Los escenarios climáticos muestran la presencia de un sesgo en la forma en que se percibe el fenómeno de los cambios climáticos por los agentes económicos. Por ejemplo, un aumento de la temperatura que mueve el conjunto de la distribución a la derecha es percibida por los agentes económicos como anomalías que no representan un cambio general del clima (Gráfica 5). Es decir, en la nueva distribución se mantiene la mayor parte de los días con la misma temperatura y sólo desaparece la cola izquierda y aparecen días en la cola derecha de la distribución que se consideran anómalos. Esta percepción se traduce en procesos de adaptación ineficientes, ya que no se considera necesario adecuarse en el largo plazo a las nuevas condiciones climáticas.

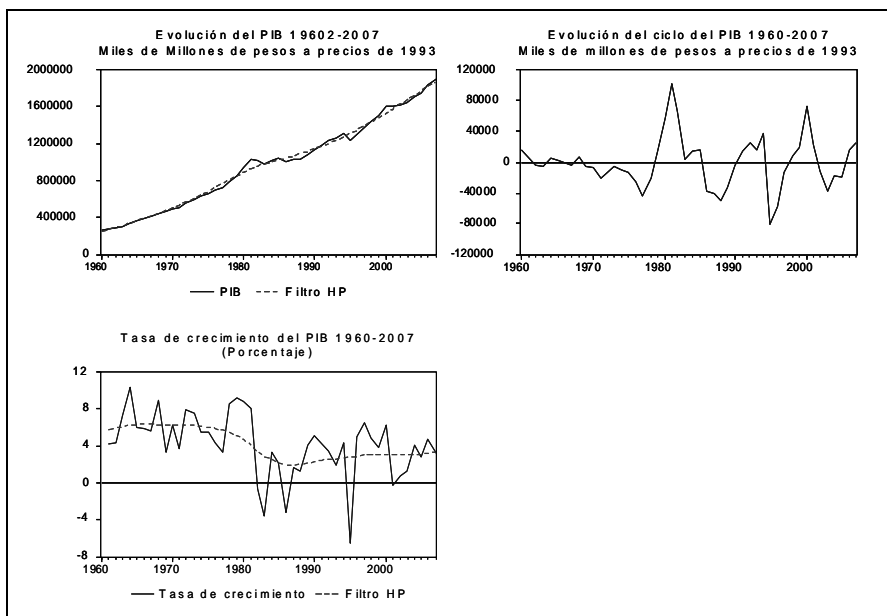
Grafica 5.**Modificación en la media de la distribución de temperatura y su varianza y colas**Fuente: Doering *et ál.* [2002]**3.2. Escenarios macroeconómicos**

La construcción, simulación y proyección de escenarios económicos vinculados con escenarios energéticos, regionales y ambientales es ciertamente una tarea compleja con un alto grado de incertidumbre y riesgo. Para ello se requiere, en principio, identificar los patrones regulares existentes entre las variables económicas más relevantes. En general la evidencia disponible muestra que la trayectoria del Producto Interno Bruto (PIB) es el resultado de una compleja matriz de factores e interrelaciones (De Gregorio y Lee [2003]; Ros [2000]; Mankiw, *et ál.* [1992]; King y Levine [1993], Sala-i-Martin [2000]), pero donde es posible identificar que el PIB sigue un comportamiento cíclico, normalmente autocorrelacionado, en torno a una tendencia ascendente (Hodrick y Prescott [1997] y Blanchard [1997]) (Gráfica 7). En este sentido, las desviaciones de esta trayectoria muestran los ciclos de expansión y recesión en torno a la tendencia general de las últimas cinco décadas en la economía mexicana. Asimismo, se observa que existen fases diferenciadas en las tasas de crecimiento de la economía mexicana en donde en las fases recientes existe un menor dinamismo aunado a

una mayor volatilidad (Gráfica 6). Esta dinámica de crecimiento de la economía mexicana puede sintetizarse, además, en una distribución de frecuencias trimodal (Renshaw [1991]) donde se observa que la mayor probabilidad de ocurrencia (50% de los casos) en las tasas de crecimiento se ubica en el rango de 2 a 5% anual. En un segundo término se ubican las tasas mayores a 5% sobre todo en el periodo de 1960 a 1981 (30% de los casos), y con una menor probabilidad se ubican las tasas menores a 2% (Gráfica 7).

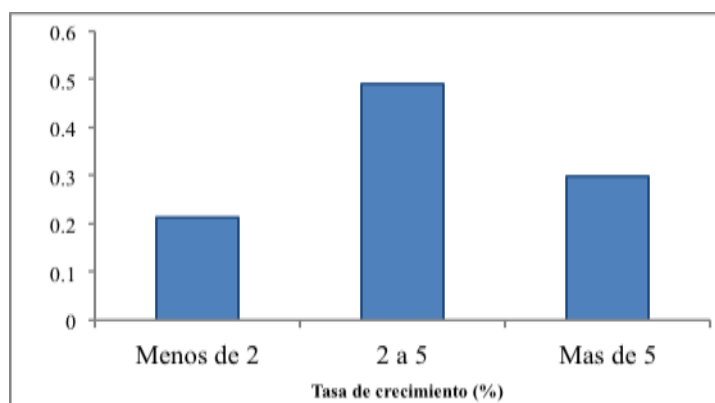
Gráfica 6.

Evolución del PIB Nacional



Fuente: elaboración propia con base en información de INEGI (Galindo [2010]).

Gráfica 7.
Distribución trimodal de la tasa de crecimiento del PIB
 (%), 1960 – 2007



Fuente: elaboración propia con base en información de INEGI (Galindo [2010]).

El conjunto de esta información empírica permite construir líneas base para el PIB, agregado y por sectores, y construir sus respectivas distribuciones de probabilidad (*Fan chart*). De esta manera, con una probabilidad del 60% se espera que el ritmo de crecimiento de la economía nacional, durante el periodo de 2008 a 2100, se ubique en un rango de 2.9% a 4.3% anual. Ello sugiere que se espera un crecimiento promedio de 3.5% (o quizá a un poco más bajo alrededor de 3% atendiendo a las condiciones actuales). En el caso del sector agropecuario el escenario más probable ubica su crecimiento promedio anual entre 1.6% y 2.8% anual. El sector industrial mantendrá un ritmo ligeramente inferior al promedio de la economía nacional, fluctuando en un rango de 2.1% a 3.4% anual. Los servicios seguirán siendo el sector dinámico de la economía con un ritmo del orden de 2.4% a 5.1% anual (Galindo [2010]).

Estos escenarios no representan pronósticos puntuales y debe considerarse que en su elaboración se hizo especial énfasis en los siguientes aspectos:

1. El entorno internacional de la economía mexicana. La evidencia internacional muestra que, para el periodo 1960–2008, no existe un proceso de convergencia absoluto¹ en el mundo (convergencia en β) (Barro y Sala-i-Martin [2003]). Esto es, la tasa de crecimiento de los

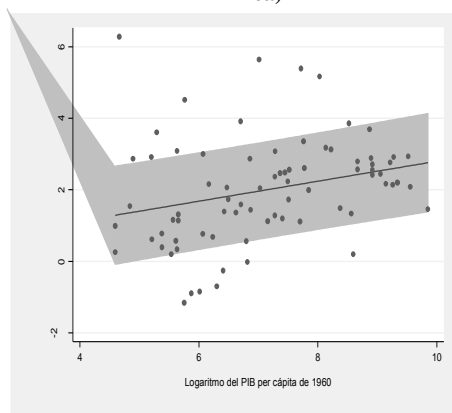
¹ Es importante hacer notar que este resultado depende, en buena medida, del tipo de PIB *per cápita* utilizado.

países con menor PIB *per cápita* no fue mayor que aquella de los países con un PIB *per cápita* superior. No obstante, se observan comportamientos diferenciados por regiones y/o por grupos de países (gráficas 8 y 9). Este resultado no implica, desde luego, que no exista un proceso de convergencia por clubes de países o convergencia condicional. En todo caso, muestra que es factible que la economía mexicana tenga un comportamiento dispar en referencia a las economías de América y que puede suponerse que en el futuro cerrará paulatinamente la brecha en referencia a la economía de Estados Unidos (Galindo, *et ál.* [2010]). En ese escenario, podría presentarse un menor ritmo de crecimiento al final del período.

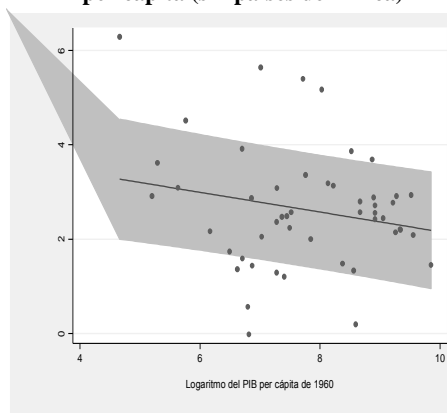
Gráfica 8.

Tasa de crecimiento medio del PIB per cápita (1960 – 2008) y PIB per cápita (1960) a nivel global (En porcentajes y logaritmo)

Relación entre el crecimiento del PIB per cápita y PIB per cápita (con países de África)

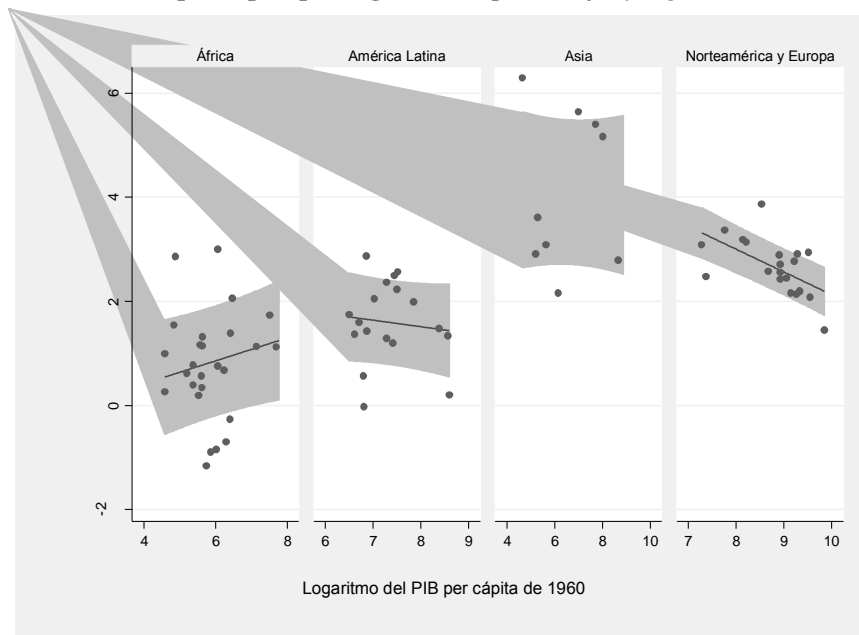


Relación entre el crecimiento del PIB per cápita y PIB per cápita (sin países de África)



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Banco Mundial (Galindo *et ál.* [2010]).
 Nota: Los datos corresponden a 78 países que disponen de información para el periodo de referencia en la base de datos del Banco Mundial. Se excluyeron algunos países con valores extremos.

Gráfica 9.
Relación entre el crecimiento medio del PIB per cápita y el
PIB per cápita por regiones (En porcentajes y logaritmo)

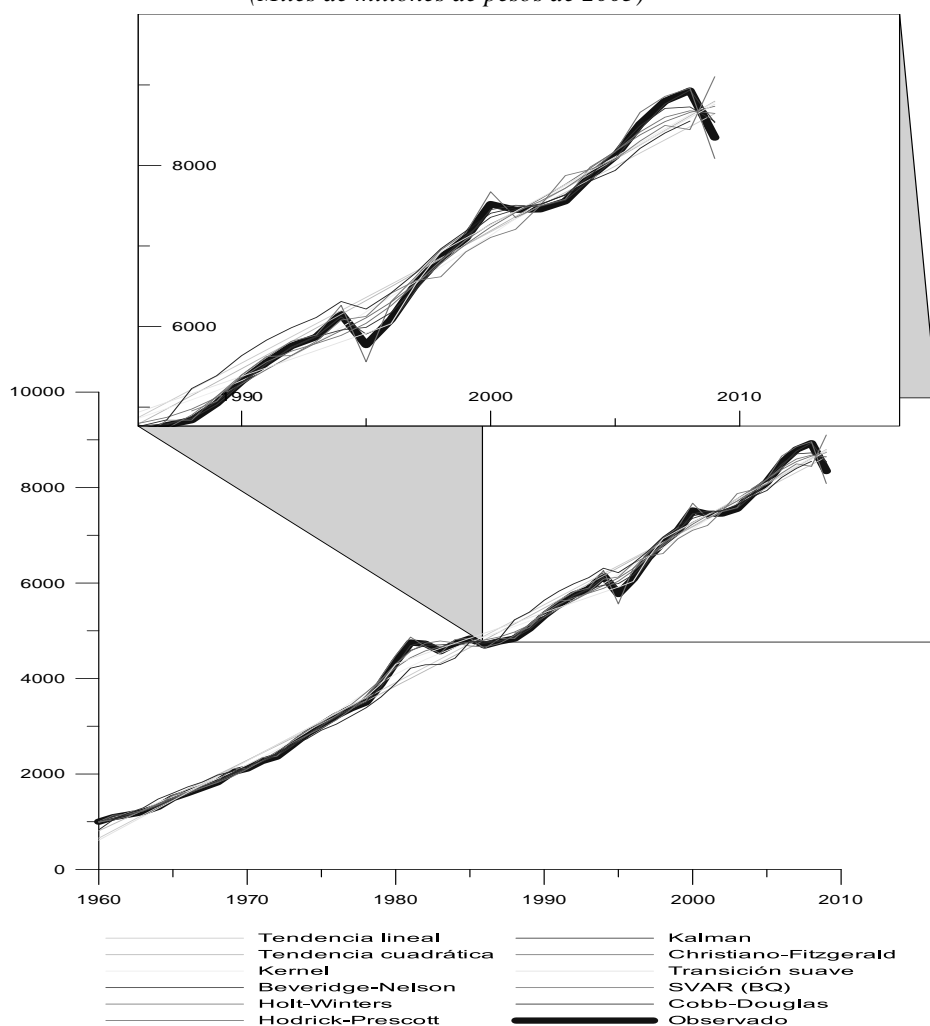


Fuente: Elaboración propia con base en datos del Banco Mundial (Galindo, *et ál.* [2010]).

Nota: Los datos corresponden a los países que disponen de información para el periodo de referencia en la base de datos del Banco Mundial. Se excluyeron algunos países con valores extremos.

2. Los valores específicos de la línea base son, desde luego, sensibles al tipo de técnica o filtro seleccionado como se observa en la Gráfica 10 donde, por medio del método de componentes no observables (Canova [2007]) se incluyen diversas opciones para identificar el comportamiento secular o de largo plazo del PIB mexicano. Por ello, es importante construir escenarios incluyendo rangos de probabilidad.

Gráfica 10.
Producto Interno Bruto de México y su tendencia, 1960 – 2009.
(Miles de millones de pesos de 2003)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI.

3. La construcción de pronósticos óptimos requiere disponer de un modelo correctamente especificado, que las series sean estacionarias y que no existan cambios estructurales en el período considerado (Hendry y Clements [2001]).

Obviamente, estos supuestos son difíciles de satisfacer en la construcción de escenarios para el análisis de la economía del cambio climático. En este caso, se busca identificar el comportamiento tendencial para reducir la posibilidad de esta fuente de error (Hendry y Clements [2001]).

4. Impactos del cambio climático: una síntesis prospectiva

La evidencia disponible muestra que las modificaciones climáticas tienen consecuencias significativas sobre las actividades económicas, la salud humana y la población y los ecosistemas, (IPCC [2007]). De este modo, se observa que en general los impactos económicos del cambio climático son significativos y normalmente crecientes en el tiempo, heterogéneos por sectores y regiones, no lineales y en muchos casos irreversibles (Stern [2007], Galindo [2010], Nordhaus [2008], CEPAL [2009]). Debido a la fuerte incertidumbre en las proyecciones climáticas y económicas, los valores estimados en el análisis costo-beneficio deben tomarse con extrema precaución y representan sólo un rango de valores indicativos. Un área de intenso debate es la de las evaluaciones económicas de los costos y beneficios del cambio climático a nivel internacional. En efecto, la evidencia disponible (Nordhaus y Boyer [2000], Nordhaus [2008], Frankhauser [1995], Mendelsohn [2002]) muestra una gran diversidad de resultados como consecuencia del uso de metodologías distintas, de proyecciones climáticas diferentes, de supuestos diferenciados y de incluir en la valuación distintos ámbitos, sectores, regiones o países. La identificación correcta de las estimaciones de costos de los impactos del cambio climático y de los costos de la mitigación resulta, desde la óptica de la política pública y de la sociedad, fundamental para definir una estrategia eficiente para enfrentar el cambio climático. Desde luego, la presencia de costos más altos asociados a los impactos del cambio climático que aquellos asociados a los procesos de mitigación se convierte en un argumento sólido para apoyar un acuerdo global para reducir las emisiones de GEI. Por ejemplo, Stern [2007] estima que los costos de la inacción implican perder entre el 5 y el 13% del PIB, mientras que los costos de mitigación llegan a sólo 1% del PIB, aunque con un rango de variación de entre -2 y 5% del PIB.

La valuación de los costos y beneficios totales del cambio climático en México se sintetiza en el Cuadro 1 donde se hace además una separación entre los costos de mercado y aquellos que no pasan por el mercado. Los costos totales del cambio climático alcanzan al 2100, con una tasa de descuento del 4%, alrededor del 6.2% del PIB y llegan al 30% del PIB con una tasa del 0.5%. Cabe resaltar,

que estos costos no incluyen impactos adicionales estimados tales como actividades pecuarias y eventos extremos, ni los costos asociados a la biodiversidad y a las vidas humanas, por la ausencia de un mercado. Desde luego, estos costos deben de tomarse con precaución, ya que suponen que no existen procesos ni costos de ajuste y adaptación.

Cuadro 1.
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	Prom. de los escenarios	B1	A1B	A2	Prom. de los escenarios	B1	A1B	A2	Prom. 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%

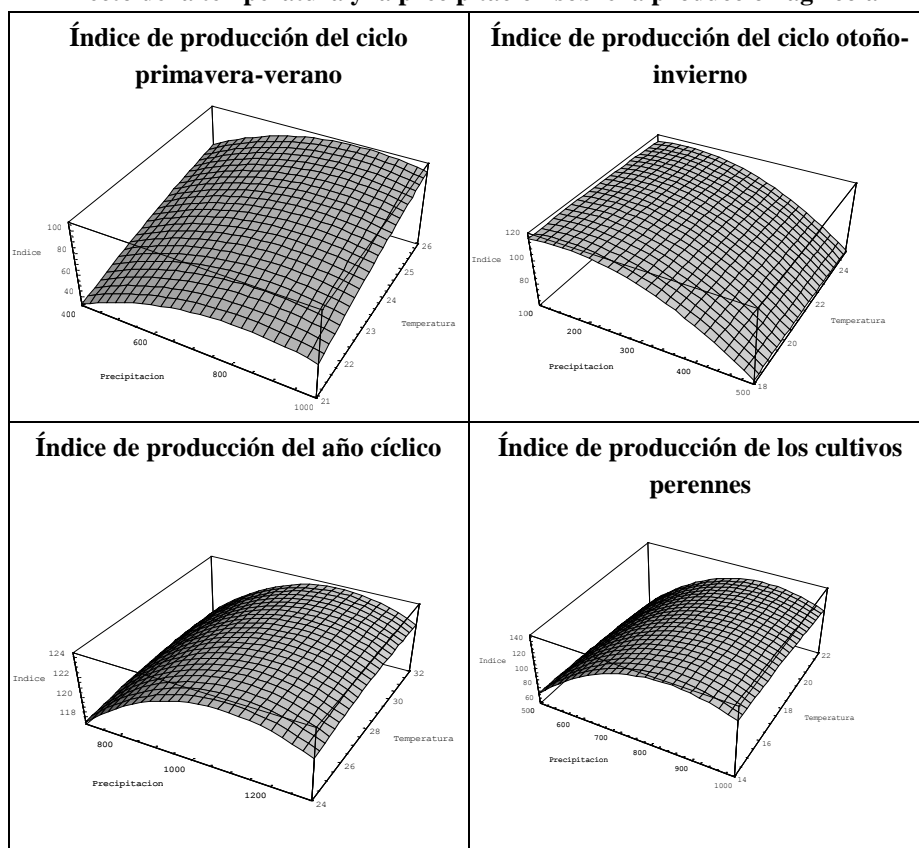
	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios
Agrícola	7.54%	11.15%	11.05%	9.91%	3.34%	4.83%	4.63%	4.26%	1.35%	1.91%	1.74%	1.67%
Agua	18.85%	18.85%	18.85%	18.85%	9.41%	9.41%	9.41%	9.41%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%
Uso de suelo	-0.41%	-0.28%	-0.15%	-0.28%	-	-0.08%	-0.04%	-0.08%	-	-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%

Esta valuación permite destacar algunos elementos:

1. La evidencia disponible muestra que el cambio climático induce comportamientos específicos en los agentes económicos, pero que estos comportamientos son difíciles de aislar ya que dependen de un conjunto de factores adicionales (económicos, sociales y demográficos). Por ejemplo, la evidencia disponible muestra que existen ya en curso procesos de adaptación al cambio climático o procesos que permiten una adaptación al cambio climático. Asimismo, las variables climáticas se pueden sustituir hasta cierto nivel; es decir, un aumento en la temperatura puede ser compensado, parcialmente y dentro de ciertos rangos, por un aumento en las lluvias y/o por un aumento de la irrigación (Gráfica 11). Ello induce a que los aumentos en temperatura sean compensados parcialmente con un mayor uso de agua. Este comportamiento tendrá consecuencias negativas en el largo plazo, puesto que el cambio climático ocasionará una demanda creciente de riego como consecuencia de la evotranspiración lo que implicará una sobreexplotación de los acuíferos; de igual manera, existen obras de infraestructura hidráulica que han permitido retrasar los impactos del cambio climático en el sector agrícola. Esta evidencia muestra que los procesos de adaptación son en extremo complejos y tienen consecuencias colaterales significativas que deberán estudiarse con mayor profundidad.

Gráfica 11

Efecto de la temperatura y la precipitación sobre la producción agrícola



Fuente: Galindo [2010].

2. La evidencia disponible muestra que los incentivos económicos en la economía mexicana no están orientados a la preservación o a la generación de un desarrollo sostenible. Por ejemplo, se observa una estrecha asociación entre la demanda de agua y la evolución del producto y una baja sensibilidad del consumo de agua a su precio. De este modo, un aumento del precio del agua, dentro de rangos razonables, es insuficiente para controlar el aumento del consumo de agua aunque tendría impactos recaudatorios significativos. Ello expresa también el uso de señales de precios muy bajas que no son consideradas por los agentes económicos. En todo caso, el uso de instrumentos económicos en el agua deberá

reforzarse con la aplicación de regulaciones en el mismo sentido. Asimismo, la valuación de los servicios ecosistémicos muestra que tienen un valor económico bajo y representan, en general, una externalidad económica positiva para el conjunto de las actividades económicas. En este sentido, no existen los incentivos económicos adecuados para la preservación de la biodiversidad. La evidente asimetría entre la pérdida física de biodiversidad esperada y su bajo costo monetario hace incluso más creíble el escenario de pérdida. Esta pérdida es, desde un punto de vista ético, inaceptable.

3. Las simulaciones de los experimentos Monte-Carlo permiten identificar ciertos patrones regulares que desincentivan, en el corto plazo, una estrategia de mitigación más agresiva. Esto es, los rangos de distribución de los impactos de los distintos escenarios climáticos se intersecan en la primera parte del siglo mientras que a partir del 2050 los escenarios probabilísticos de cada uno de los escenarios tienden a separarse. Ello resulta importante en la medida en que las opciones de mitigación que se instrumenten tendrán impactos claramente diferenciados hasta la segunda mitad de este siglo. En este sentido, el retraso en la diferencia en los escenarios puede hacer que no se considere relevante en el corto plazo el cumplimiento de metas específicas de mitigación.

4. La valuación económica no incluye aún los eventos extremos. Ello deberá mejorarse en el futuro ya que puede implicar pérdidas substanciales que modifique toda la estructura de valuación.

5. El proceso de mitigación en México y la construcción de una senda baja en carbono

Los costos de la mitigación² con reducciones al 50% de emisiones al 2100 con respecto al 2002 y una tasa de descuento del 4% se sintetizan en los Cuadros 2 y 3. Estos costos se ubican, entre 0.7 y 2.2% del PIB. Los costos de la mitigación deben entenderse como el costo de oportunidad y como un promedio general que deja desde luego los valores monetarios específicos por sectores. En este sentido, los costos de la inacción son superiores a los costos de la mitigación para el conjunto de la economía mexicana, bajo el supuesto de un acuerdo internacional al respecto.

² Estimados en el estudio la Economía del Cambio Climático (Galindo [2010]).

Cuadro 2.
Costo total de la reducción de emisiones de CO₂ para la meta de 50%
respecto al 2002 en el 2100 como %PIB

Costos			
	0.50%	2%	4%
Precio 9.56	2.10	1.20	0.70
Precio 30	6.60	3.76	2.21

Cuadro 3.
Costo total de la reducción de emisiones de CO₂ para la meta de 50%
respecto al 2002 en el 2050 como %PIB

Costos			
	0.5%	2%	4%
Precio 9.56	1.03	0.77	0.56
Precio 30	3.24	2.43	1.75

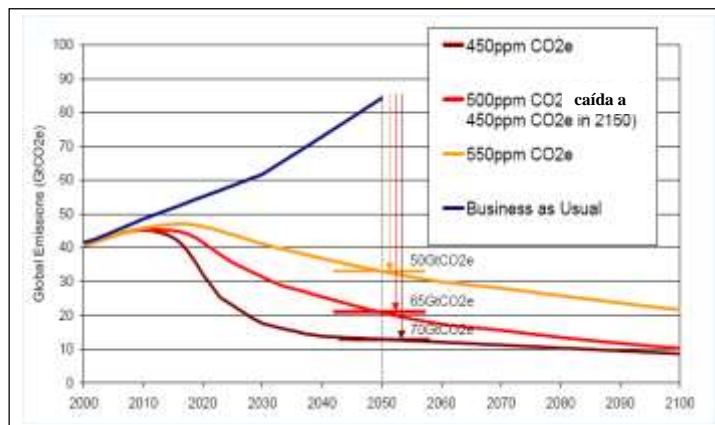
El diseño de una estrategia de mitigación es un tema de intenso debate donde deben ponderarse varios aspectos donde destacan:

1. El conjunto de esta evidencia permite sostener que en términos agregados el cambio climático representa una externalidad negativa global y, por tanto, existe una solución donde la sociedad mejora globalmente; ello desde luego no implica que cada grupo o sector resulte beneficiado. En este sentido, un proceso de mitigación global tiene sentido económico desde una óptica global aunque ello no sea necesariamente cierto por regiones, sectores o grupos sociales. Sin embargo, ello se traduce en una discusión de política internacional sobre la distribución de los costos por países, por sectores y por grupos económicos, el énfasis en la adaptación y la vulnerabilidad, en la mitigación o en los mecanismos de cumplimiento y sanciones respectivas.
2. La magnitud de los costos económicos de los procesos de mitigación dependen de un conjunto de factores tales como el monto de emisiones que se quiere reducir, el momento en el tiempo y la trayectoria seleccionada de reducciones e incluso del lugar específico en donde se realizará el proceso de mitigación. A pesar de ello, debe considerarse que alcanzar metas de emisiones de entre 450 y

500 ppm que implica un aumento en la temperatura de 2°C implica una reducción de aproximadamente el 50% de las emisiones actuales para el 2050 (Gráfica 12). Esta meta es muy ambiciosa e implica costos y modificaciones significativos al estilo de crecimiento y de vida. Esto es, actualmente las emisiones anuales son de entre 40 y 45 GtCO₂e que con una población de 6 mil millones de habitantes implica, aproximadamente, un promedio *per cápita* de 7 toneladas (Hepburn y Stern [2008]). Una reducción de 50% implica alcanzar emisiones de 20 GtCO₂e al 2050, lo que supone, con una población estimada de 9 mil millones de habitantes, que las emisiones *per cápita* deberán ser de un poco más de 2 toneladas *per cápita* (Hepburn y Stern [2008]). Bajo el supuesto, de que sólo el 20% de los 9 mil millones de habitantes corresponden a países ahora desarrollados, es inevitable plantear metas de emisiones para las economías emergentes, más aún con una meta de emisiones de 2.5 per cápita, resulta muy complicado cumplir en un esquema de fuertes diferencias regionales y que considera cierto nivel de equidad. Ello, sin embargo, debe realizarse en el contexto del principio de responsabilidad histórica compartida pero diferenciada.

Gráfica 12.

Trayectorias de estabilización y emisiones bajo el escenario inercial o de BAU para 450 – 550 ppm CO₂e



Fuente: IPCC, 2007.

3. Las simulaciones realizadas muestran que México tiene ventajas de participar en un acuerdo internacional general sobre cambio climático, ya que ello mejora su bienestar general. Sin embargo, ello no implica que no existan costos significativos para la economía mexicana o que existan sectores o grupos que incurran en costos económicos importantes y/o pérdidas. El reto en los próximos

años es entonces identificar una estrategia adecuada que permita reducir las emisiones de CO₂, desacoplando el ritmo de crecimiento del consumo de energía y de las emisiones; ello no es una tarea fácil atendiendo a la evidencia disponible. Esto es, las relaciones entre las emisiones de GEI de origen energético, el consumo de energía, el PIB y la población pueden formalizarse en la identidad IPAT o de Kaya (O'Neill *et ál.* [2003]). Así, un mayor crecimiento económico (reflejado en un incremento del PIB *per cápita*) o un aumento de la población implica un mayor nivel de emisiones y de consumo de energía. Sin embargo, también es posible esperar que se produzca un paulatino proceso de desacoplamiento energético (razón entre energía y PIB) y de descarbonización (razón entre emisiones y energía) en economías con un mayor ingreso *per cápita*.

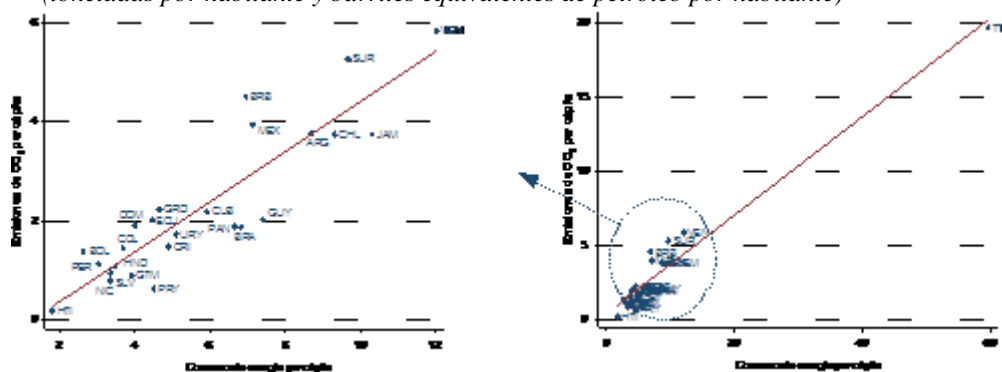
$$(4) \Delta CO_{2t} = \Delta[POB_t] * \Delta\left[\frac{PIB_t}{POB_t}\right] * \Delta\left[\frac{ENRG_t}{PIB_t}\right] * \Delta\left[\frac{CO_{2t}}{ENRG_t}\right]$$

La evidencia disponible muestra, en particular, para México y para el resto de América Latina y el Caribe que existe una estrecha asociación positiva entre el consumo de energía y el PIB *per cápita* y entre emisiones y PIB *per cápita* aunque con diferentes intensidades por países (Gráficas 13 y 14) (CEPAL [2009]). Es decir, el crecimiento económico está basado en un continuo consumo energético que se traduce en un aumento de las emisiones. Existe, desde luego, un paulatino proceso de desacoplamiento energético a la trayectoria del PIB pero todavía a un ritmo insuficiente para alcanzar metas sólidas de mitigación consistentes con una reducción de las emisiones globales. En este contexto, es indispensable diseñar una estrategia de crecimiento económico para México que permita transitar a una economía baja en carbono, socialmente incluyente. Esto representa el reto del siglo XXI.

Gráfica 13.

América Latina y El Caribe: Emisiones de CO₂ y consumo de energía per cápita 2005

(toneladas por habitante y barriles equivalentes de petróleo por habitante)

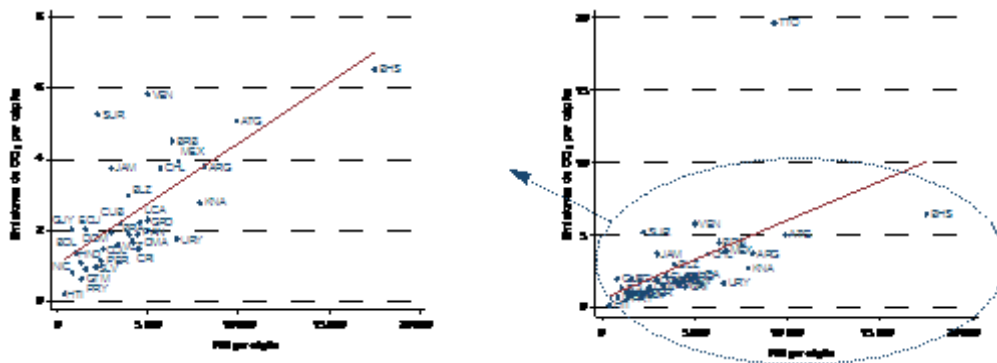


Fuente: CEPAL, 2009.

Gráfica 14.

América Latina y el Caribe: emisiones de CO₂ y PIB per cápita, 2005

(En toneladas por habitante y dólares de 2000 por habitante)



Fuente: CEPAL [2009].

6. Conclusiones y comentarios generales

La evidencia científica disponible muestra la presencia de una estrecha asociación entre el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático; existe también evidencia que muestra que los impactos económicos, sociales y en los ecosistemas de las modificaciones climáticas son ciertamente relevantes; asimismo, que existen costos económicos significativos proyectados

en los procesos de mitigación. En este sentido, el cambio climático representa una restricción adicional al crecimiento económico. En este contexto, el análisis económico del cambio climático es un instrumento fundamental para buscar alternativas y formas que reduzcan sus impactos más negativos.

La realización de estos estudios, sin embargo, debe considerar las características y condiciones específicas del tema; en particular que es un fenómeno de largo plazo, con un alto nivel de incertidumbre y donde la administración apropiada del riesgo resulta fundamental. En este contexto, existen también debates intensos sobre algunos temas fundamentales tales como la elaboración de las líneas base o la tasa de descuento aplicada. A este respecto se observa que la evidencia climática disponible para México es consistente con el fenómeno del cambio climático global. Esto es, se observa un aumento paulatino de la temperatura y comportamientos anómalos en precipitación; sin embargo, persiste un alto nivel de incertidumbre sobre las proyecciones futuras que lleva a utilizar diversos escenarios. Asimismo, es factible construir líneas base para los escenarios macroeconómicos tomando como referencia la evidencia histórica y manteniendo un nivel de incertidumbre. Además destaca que existen diversas formas de construir estos escenarios pero que, en general, todas estas opciones muestran fluctuaciones en torno a una tendencia ascendente y pueden complementarse con las respectivas funciones de distribución de probabilidad.

Del mismo modo, la evidencia disponible muestra que el cambio climático tiene y tendrá impactos significativos, crecientes y no lineales en el tiempo en la economía mexicana, donde algunos de ellos son irreversibles. Los impactos y los procesos de adaptación esperados son, sin duda, importantes 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. 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. Pese a 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. Más aún, existen límites irreversibles, donde los costos aumentan más que

proporcionalmente. Al mismo tiempo, los riesgos de daños muy elevados asociados a eventos extremos se incrementan con el tiempo. En este sentido, es necesario no sólo ponderar los costos y beneficios del cambio climático sino también considerar “la compra de un seguro” ante la posibilidad de cambios o impactos más extremos. Conjuntamente, existen procesos de adaptación en curso que pueden ser ineficientes al no incorporar toda la información sobre el cambio en la distribución de las variables climáticas y que, en algunos casos, están sobreutilizando recursos que posteriormente serán limitados como las reservas hídricas del país.

No obstante su carácter preliminar, el conjunto de resultados permite 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 entonces más eficiente actuar que dejar el problema para las generaciones futuras, más allá de las consideraciones éticas que ello conlleva. Existen argumentos económicos sólidos que sugieren la importancia de apoyar los procesos de mitigación, pero que señalan que deben considerarse las condiciones específicas dentro de las que se aplica este proceso de reducciones. En este sentido, es importante avanzar en la definición de una estrategia de crecimiento baja en carbono y socialmente incluyente para México.

Debe además enfatizarse que este trabajo sólo contiene escenarios prospectivos y son órdenes de magnitud, pero no representan una proyección puntual y aún persiste un alto nivel de incertidumbre y riesgo inherente a este tema. 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 obtenidos.

7. Referencias

- Barro, R. y X. Sala-i-Martin (2003), *Economic Growth*, 2nd. Edition, The MIT Press.
- Blanchard, O. (1997), *Macroeconomía*, Prentice Hall Iberia, Madrid.
- Blanchard, O. y S. Fischer (1989), *Lectures on Macroeconomics*, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, Marzo.

- Canova, F. (1998), "Detrending and business cycle facts", *Journal of Monetary Economics*, 41, 475-512.
- Canova, F. (2007), *Methods for Applied Macroeconomic Research*, Princeton University Press.
- Clements, M.P. y D.F. Hendry (2000), *Forecasting Economic Time Series*, Cambridge University Press.
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL) (2009), *La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Síntesis*, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Conde, C., C. Gay, C. y O. Sánchez (2006), *Escenarios de Cambio Climático para México. Temperatura y Precipitación*. Documento de Trabajo, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- De Gregorio, J. y J-W. Lee (2003), *Growth and Adjustment in East Asia and Latin America*, Documento de trabajo 245, Central Bank of Chile.
- Frankhauser, S. (1995), *Valuing Climate Change. The Economics of the Greenhouse*, Earthscan, London.
- Galindo L. M., Catalan H., y Caballero K. (2010), *¿Existe el Cambio Climático en México? Algunos Patrones Regulares de Temperatura y Precipitación*, Documento de trabajo
- Galindo, L.M. (2010), *La Economía del Cambio Climático en México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México.
- Galindo, L.M. y J.L. Samaniego (2010), *La Economía del Cambio Climático en América Latina: Algunas Regularidades Empíricas*, Revista de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Núm. 100, Abril.
- Galindo, L.M., J.L. Samaniego, J.L. y C. de Miguel (2010), *La Economía del Cambio Climático y la Pobreza en América Latina*, Documento de Trabajo, Comisión Económica para América Latina (CEPAL).
- Hanley, N. y C.L. Spash (1993), *Cost-Benefit Analysis and the Environment*, Aldershot, Edward Elgar.
- Heal, G. (2000), *Nature y the Marketplace. Capturing the Value of Ecosystem Services*, Island Press, Washington, D.C.
- Hendry, D. F. and M. P. Clements (2001a). *Economic forecasting: Some lessons from recent research*. Mimeo, Economics Department, University of Oxford.

- Hepburn, C. y N. Stern (2008), "A new global deal on climate change", *Oxford Review of Economic Policy*, 24(2), Nueva York, Oxford University Press, Junio.
- Hodrick, R.J. y E.C. Prescott (1997), "Postwar US business cycles: An empirical investigation", *Journal of Money, Credit, and Banking*, 29(1), 1-16.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007a), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and Nueva York, NY, USA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007b), *Climate Change 2007. Synthesis report*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and Nueva York, NY, USA.
- King, R.G. y R. Levine (1993), "Financial intermediation and economic development" en *Financial Intermediation in the Construction of Europe*, Eds. Colin Mayer and Xavier Vives, London, Centre for Economic Policy Research, 156-89.
- Landa R., V. Magaña y C. Neri (2008), *Agua y Clima: Elementos para la Adaptación al Cambio Climático*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad Nacional Autónoma de México (SEMARNAT-UNAM), México.
- Layard, R.G. y S. Glaister (1994), *Cost-Benefit Analysis*, Cambridge University Press.
- Maddala, G.S. e I. Kim (1998), *Unit Roots, Cointegration and Structural Change*, Cambridge University Press.
- Magaña, V. (2005), *Escenarios Climatológicos para la Región de México, Centroamérica y Cuba*, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM/PNUD, 3.
- Mankiw, N.G., D. Romer y D.N. Weil, (1992), "A contribution to the empirics of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, CVII, 407-437.
- Mendelsohn R. (2002), *Global Warming and the American Economy: A Regional Assessment of Climate Change Impacts*, MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall.
- Mills, T.C. (1991), *Time Series Techniques for Economists*, Cambridge University Press.

- Mills, T.C. (2003), *Modelling Trends and Cycles in Economic Time Series*, Palgrave Macmillan.
- Nas, T.F. (1996), *Cost-benefit Analysis: Theory and Application*, Thousand Oaks, Sage Publications.
- Nordhaus W. (2008), *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*, Yale University Press, New Haven & London.
- Nordhaus, W.D. y J.G. Boyer (2000), *Warming the World: The Economics of the Greenhouse Effect*, The MIT Press.
- O'Neill, B., A. Grübler, N. Nakicenovic, M. Obersteiner, K. Riahi, L. Schrattenholzer y F. Toth (2003), "Planning for future energy resources", *Science*, 300(5619), Nueva York, American Association for the Advancement of Science.
- Ramsey, F.P. (1928), "A mathematical theory of saving", *The Economic Journal*, 38(152), Oxford, Blackwell Publishing.
- Renshaw,(1991), "A formula plan for a more volatile stock market," *Financial Analysts Journal*, January/February, 85-87.
- Ros, J. (2000), *Development Theory and the Economics of Growth*, University of Michigan Press.
- Sala-i-Martin, X. (2000), *Apuntes de Crecimiento Económico*, Segunda edición, Antoni Bosch Editor, Barcelona.
- Stern, N. (2007), *Stern Review: The Economics of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Woodward, W.A. y H.L. Gray (1995), "Selecting a model for detecting the present of a trend", *Journal of Climate*, 8, 1929-1937.