



ESTUDIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA

Reflexiones metodológicas del análisis del cambio climático

Una visión desde
América Latina

Luis Miguel Galindo
Joseluis Samaniego
José Eduardo Alatorre
Jimmy Ferrer Carbonell



NACIONES UNIDAS

CEPAL



Reflexiones metodológicas del análisis del cambio climático

Una visión desde América Latina

Luis Miguel Galindo
Joseluis Samaniego
José Eduardo Alatorre
Jimmy Ferrer Carbonell



Este documento fue preparado por Luis Miguel Galindo, Joseluis Samaniego, José Eduardo Alatorre y Jimmy Ferrer Carbonell, funcionarios de la Unidad de Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del Programa EUROCLIMA (CEC/10/001), con financiamiento de la Comisión Europea.

Ni la Comisión Europea ni ninguna persona que actúe en nombre de la Comisión es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización. Tampoco reflejan necesariamente los puntos de vista de la Comisión Europea.

Índice

Resumen ejecutivo	5	
Introducción	7	
I. Características del cambio climático	9	
II. Análisis económico y social del cambio climático	15	
A. Sector Agrícola	22	
B. Sector hídrico	30	
C. Salud	32	
III. Análisis económico y social	35	
A. Sector energético	36	
B. Biodiversidad	37	
C. Impactos sociales: pobreza y cambio climático	40	
IV. Mitigación	41	
A. Sector energético	42	
V. Conclusiones generales	45	
Bibliografía	47	
Cuadros		
Cuadro 1	Probabilidad (en porcentaje) de exceder el aumento de temperatura en el nivel de estabilización de equilibrio	11
Cuadro 2	Rango de estimaciones de los efectos del cambio climático sobre rendimientos de cultivos seleccionados	26

Gráficos

Gráfico 1	Concentraciones de CO ₂ en la atmósfera.....	9
Gráfico 2	Cambios observados y proyectados de la temperatura.....	10
Gráfico 3	Aumento en las anomalías de temperatura, alza en el promedio del nivel del mar y cubierta de hielo	12
Gráfico 4	Impactos y costos económicos del cambio climático	19
Gráfico 5	Impactos del cambio climático en América Latina y el Caribe ante un aumento en la temperatura de 2.5 ° C	20
Gráfico 6	Impactos del cambio climático	21
Gráfico 7	Efecto del cambio climático sobre el potencial epidémico de la malaria y el dengue	33
Gráfico 8	Efectos de la onda de calor sobre la mortalidad	34

Diagramas

Diagrama 1	Análisis del cambio climático.....	15
Diagrama 2	Zonas de vida de Holdridge en América Latina	39

Mapa

Mapa 1	Aumento de temperatura en América Latina.....	13
--------	---	----

Resumen ejecutivo

La evidencia disponible muestra que el cambio climático es ciertamente un fenómeno con incidencia global donde existe un intenso debate sobre sus causas y consecuencias, la magnitud de sus impactos y las opciones de política pública para atender este fenómeno. Los esfuerzos simultáneos para mitigar los gases de efecto invernadero, adaptarse a las nuevas condiciones climáticas y ajustarse a la magnitud de las pérdidas por los impactos negativos esperados son de tal magnitud que condicionaran el estilo de desarrollo y limitan las posibilidades de un desarrollo sostenible durante este siglo.

El análisis económico y social del cambio climático es un insumo fundamental para diseñar políticas públicas para una estrategia eficiente que permita transitar a un desarrollo sostenible. Sin embargo, dadas las características del cambio climático, su análisis es una tarea compleja, con un alto nivel de incertidumbre, que abarca una gran diversidad de temas y de métodos de investigación. Así, el objetivo de este estudio es presentar algunas reflexiones sobre el análisis de los impactos económicos y sociales del cambio climático a nivel general ilustrando estos puntos con algunos ejemplos.

Existe una gran diversidad de métodos y enfoques para analizar las causas y los efectos socioeconómicas del cambio climático (IPCC, 2007b; Stern, 2007; Feenstra y otros, 1998). En este contexto, el análisis económico y social del cambio climático debe basarse en reconocer algunas de sus principales características: por ejemplo, que debe entenderse como la consecuencia de una externalidad negativa (Stern, 2007, 2008); que es un fenómeno de largo plazo con efectos intergeneracionales; que es un fenómeno con una incertidumbre inherente significativa que requiere una administración de riesgos apropiada, con potenciales impactos físicos irreversibles.

Uno de los métodos principales para el análisis y para el diseño de política pública es el análisis de costo beneficio (ACB), el cual se desarrolló con la finalidad de evaluar las implicaciones de diversas políticas públicas a partir de la comparación de las ganancias y las pérdidas potenciales de una propuesta específica valuadas en unidades monetarias. En el caso en que los beneficios exceden los costos, entonces el proyecto es factible. Es posible extender este enfoque hacia la elección de alguna política pública específica buscando maximizar los beneficios netos (o minimizar los costos) (Pearson, 2011). La evaluación de los impactos del cambio climático, y la elaboración del análisis costo beneficio, implica comparar las trayectorias de las distintas variables de interés en un escenario inercial o línea base que refleja la evolución de los sistemas ambientales, económicos y sociales en ausencia del cambio climático. Establecer esta línea base es ciertamente complejo y su construcción resulta fundamental para identificar las consecuencias del cambio climático (Angrist y Pischke, 2008). Para ello, el análisis del cambio climático requiere la construcción de escenarios de largo plazo que

pueden interpretarse como líneas base y que no representan pronósticos específicos y que contienen, desde luego, un elevado nivel de incertidumbre.

Existen diversas estimaciones de los costos económicos globales del cambio climático los cuales son crecientes con el nivel de temperatura, algunos modelos sobrepasan incluso el 5% del PIB mundial en pérdidas y normalmente se ubican desde el 1% del PIB global. Al mismo tiempo, los costos económicos de los procesos de mitigación se estiman en promedio entre 1% y, probablemente, 2% del PIB mundial (Hepburn y Stern, 2008). Así, el análisis de costo beneficio muestra la relevancia de que a nivel global se articule una estrategia que permita realizar los procesos de mitigación correspondientes que eviten las consecuencias negativas del cambio climático. Este ejemplo pone de relieve la importancia de las estimaciones económicas de los impactos del cambio climático, así como de las posibles políticas de mitigación y adaptación para la toma de decisiones.

Los métodos de estimación de impactos económicos en los sectores de agricultura, el sector hídrico, el sector salud la biodiversidad, son variados y todos conllevan un nivel importante de incertidumbre y son sensibles a la elección de los supuestos, sin embargo, permiten realizar escenarios sobre los potenciales impactos del cambio climático y, en algunos casos permite la estimación de diversas actividades de adaptación.

Los modelos de cambio climático asocian las emisiones a factores económicos tales como la evolución del producto y su composición, el crecimiento demográfico, la tecnología disponible y sus formas de innovación e incluso de elementos sociales y culturales (Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997 y IPCC, 1996). De este modo, el análisis del cambio climático se traduce en realizar supuestos sobre la evolución de un conjunto de variables socioeconómicas y demográficas. Se excluyen en esta discusión los modelos integrados de clima y condiciones socioeconómicas.

Introducción

La evidencia disponible muestra que el cambio climático es ciertamente un fenómeno con incidencia global donde existe un intenso debate sobre sus causas y consecuencias y la magnitud de sus impactos y las opciones de política pública para atender este fenómeno. En efecto, las emisiones de gases de efecto invernadero, básicamente de origen antropogénico, están ocasionando modificaciones climáticas tales como un aumento de la temperatura media global, cambios en los patrones de precipitación, reducción de la criósfera y alza del nivel del mar y modificaciones en los patrones de eventos climáticos extremos (IPCC, 2007). De este modo, los esfuerzos simultáneos para mitigar los gases de efecto invernadero, adaptarse a las nuevas condiciones climáticas y ajustarse a la magnitud de las pérdidas por los impactos negativos esperados son de tal magnitud que condicionaran el estilo de desarrollo de este siglo y limitan las posibilidades de un desarrollo sostenible.

En este contexto, el análisis económico y social del cambio climático es un insumo fundamental para diseñar políticas públicas para una estrategia eficiente que permita transitar a un desarrollo sostenible. Sin embargo, este análisis es una tarea compleja, con un alto nivel de incertidumbre, que abarca una gran diversidad de temas y de métodos de investigación. Así, el principal objetivo de este trabajo es presentar algunas reflexiones metodológicas sobre el análisis de los impactos económicos y sociales del cambio climático a nivel general ilustrando estos puntos con algunos ejemplos.

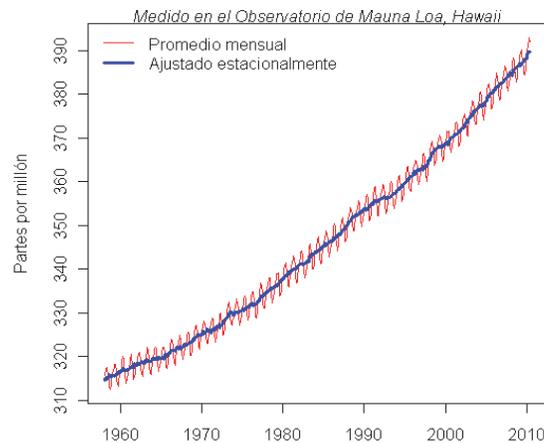
El documento incluye cinco secciones. La sección posterior a esta introducción hace un breve resumen de las características del cambio climático y la evidencia sobre sus manifestaciones y los escenarios futuros. La tercera sección hace un breve análisis sobre los temas metodológicos más relevantes para el análisis económico de los impactos del cambio climático, así como para la evaluación de políticas. Esta sección, abunda sobre los fundamentos del análisis económico del cambio climático, centrándose en el análisis costo beneficio como una de las herramientas principales para la toma de decisiones; asimismo, aborda la evidencia existente sobre los costos del cambio climático tanto globales como para la región, mostrando que los potenciales impactos del cambio climático pueden superar ampliamente a los costos asociados con mitigarlo. Se esbozan de forma breve la metodología de la estimación de los impactos económicos del cambio climático para la agricultura, el sector hídrico, el sector salud y la biodiversidad y, además, se comenta la inclusión de las variables sociales al análisis económico de los impactos del cambio climático. La cuarta sección muestra las herramientas para construcción de los escenarios de emisiones, a partir de estos escenarios es posible realizar análisis de políticas para la mitigación, asimismo, se aborda la estimación de escenarios de demanda de energía, el cual es uno de los sectores más relevante para las acciones de

mitigación. Finalmente, la quinta sección incluye las conclusiones y algunos comentarios generales. Se excluye de esta discusión a los modelos integrados de clima y condiciones económicas y sociales.

I. Características del cambio climático

La evidencia científica disponible muestra que el cambio climático tiene su origen en el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (IPCC, 2007a). Estos gases de efecto invernadero son originados tanto por procesos naturales como, y principalmente a partir de la revolución industrial¹, por la realización de diversas actividades antropogénicas tales como la quema de combustibles fósiles, los procesos industriales como la producción de cemento, la deforestación y el cambio de uso de suelo (IPCC, 2007a; Stern, 2007). Así, las concentraciones de CO₂ aumentaron de, aproximadamente 280 partes por millón (ppm) de CO₂ del periodo previo a la revolución industrial (IPCC, 2007a) a casi 394 ppm de CO₂ en 2012 (Tans y Keeling, 2013) (véase el gráfico 1), y se espera que se incrementen alrededor de 2 ppm por año de mantenerse la trayectoria inercial actual.

GRÁFICO 1
CONCENTRACIONES DE CO₂ EN LA ATMÓSFERA



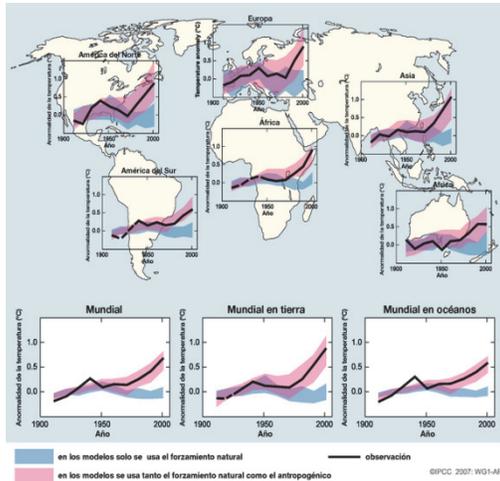
Fuente: Elaboración propia con datos de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

¹ De hecho, aquellos modelos climáticos que asocian el aumento de temperatura a factores puramente naturales no logran predecir de manera correcta los cambios en la temperatura (IPCC, 2007a).

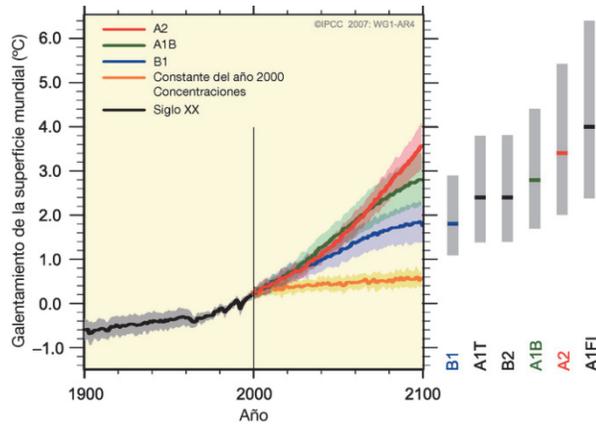
La evidencia disponible sobre la causalidad entre emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático es, con la incertidumbre inherente en todo proceso de conocimiento, sólida. Por ejemplo, los modelos climáticos muestran que existe un 95% de confianza de que el cambio climático es consecuencia de las emisiones y que las simulaciones climáticas ajustan mejor a la trayectoria reciente del clima incluyendo el efecto de las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007a) (véase el gráfico 2).

GRÁFICO 2 CAMBIOS OBSERVADOS Y PROYECTADOS DE LA TEMPERATURA

A. Cambio de la temperatura continental y mundial



B. Medias multimodelos y rangos evaluados del calentamiento de la superficie



Fuente: (IPCC, 2007a).

Nota: (a) Comparación de los cambios observados a escala continental y mundial en la temperatura de la superficie con resultados simulados por modelos climáticos mediante forzamientos naturales y antropógenos. Se muestran los promedios decenales de las observaciones del periodo 1906-2005 (línea negra) trazados en función del centro del decenio y con respecto al promedio correspondiente a 1901-1950. Las líneas discontinuas denotan una cobertura espacial menor de 50%. Las bandas sombreadas en azul muestran un intervalo de 5-95% de 19 simulaciones de cinco modelos climáticos utilizando solamente los forzamientos naturales debidos a la actividad solar y los volcanes. Las bandas sombreadas en rosado muestran el intervalo de 5-95% para 58 simulaciones de 14 modelos climáticos en los que se emplearon forzamientos naturales y antropógenos. (b) Las líneas sólidas denotan las medias del calentamiento mundial obtenidas con múltiples modelos (con respecto a 1980-1999) para los escenarios A2, A1B y B1, mostrados como continuación de las simulaciones del siglo XX. El sombreado denota el intervalo de la desviación estándar+1 de las medias anuales de los modelos individuales. La línea color naranja representa el experimento donde las concentraciones se mantuvieron constantes en los valores del año 2000. Las barras grises de la derecha indican la mejor estimación (línea sólida en cada barra) y el rango probable evaluado de los seis escenarios de referencia del IE-EE. La evaluación de la mejor estimación y de los rangos probables en las barras grises incluyen MCGAOs en la parte izquierda de la figura y los resultados de una jerarquía de modelos independientes y las limitaciones de la observación.

De este modo, los escenarios de emisiones de CO₂ condicionan, en buena medida, los escenarios climáticos esperados (véase el gráfico 2). Así, la información disponible muestra que de mantenerse el escenario inercial actual será inevitable alcanzar concentraciones de 450 ppm de CO₂eq alrededor del 2050 que son consistentes, con un alto nivel de probabilidad (78%), con un aumento global de 2°C de temperatura con respecto a los niveles previos a la revolución industrial (Stern, 2008) (véase el cuadro 1) y que implican además mayores aumentos de temperatura durante la segunda mitad del siglo con importantes efectos de retroalimentación climática. Los escenarios altos de emisiones implican además efectos de retroalimentación difíciles de simular que se traducirán muy probablemente en modificaciones climáticas más intensas y con mayor frecuencia (IPCC, 2007a, WWF, 2011).

CUADRO 1
PROBABILIDAD (EN PORCENTAJE) DE EXCEDER EL AUMENTO DE TEMPERATURA
EN EL NIVEL DE ESTABILIZACIÓN DE EQUILIBRIO

Niveles de estabilización (en ppm de CO ₂ eq)	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C
450	78	18	3	1	0	0
500	96	44	11	3	1	0
550	99	69	24	7	2	1
650	100	94	58	24	9	4
750	100	99	82	47	22	9

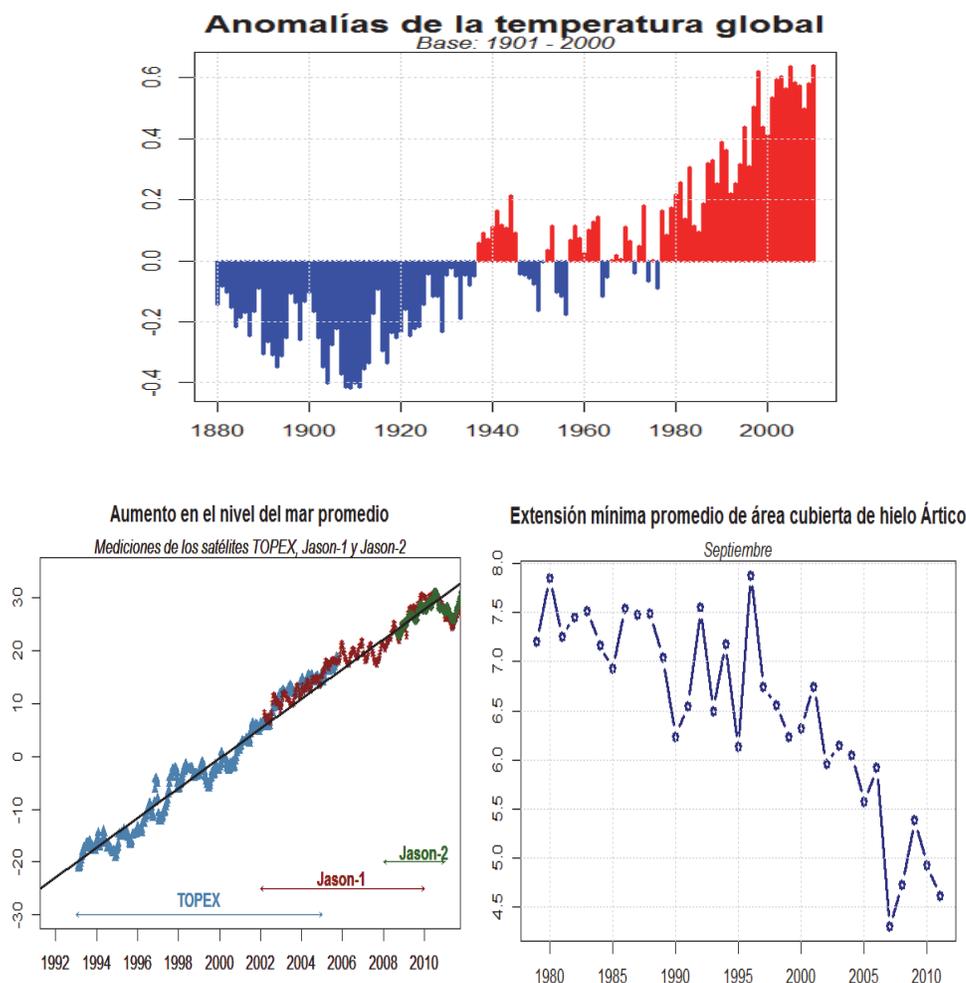
Fuente: Stern, N. (2008) “The Economics of Climate Change”, American Economic Review, 98(2), 1-37.

Las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico indican la relevancia de considerar entonces las fuentes de estas emisiones y por tanto de considerar los factores determinantes de estas fuentes de emisiones. Ello lleva a reconocer que en lo fundamental las fuentes de emisiones y sus trayectorias, son consecuencia de procesos económicos sociales y demográficos. En este sentido, es importante reconocer que los escenarios, socio-económicos y de emisiones conllevan niveles importantes de incertidumbre atendiendo al horizonte de tiempo, a la multiplicidad de factores involucrados y a la incertidumbre inherente al tema.

Así, el cambio climático, producto de estas emisiones de gases de efecto invernadero, se manifiesta fundamentalmente en diversos aspectos (IPCC, 2007a):

- Un aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre global aunque con diferencias significativas por regiones. La evidencia disponible sobre la temperatura promedio indica que aumentó, para el periodo 2001-2005 con respecto al 1850-1899, en 0.76°C con un intervalo de 0.19°C (Church y White, 2006).
- Cambios en los patrones de precipitación. Esto es, se observa una intensificación de los patrones hidrológicos (IPCC, 2007a). Existe además una asociación entre temperatura y precipitación (Madden y Williams, 1978).
- Aumento del nivel del mar. Así, el promedio del nivel del mar aumentó 1.8 milímetros anuales entre 1961 y 2003 y para el periodo 1993 – 2003 dicho aumento fue de 3.1 mm al año (IPCC, 2007a) (véase el gráfico 3). La tendencia observada por mediciones satelitales muestra un incremento de 2.8 ± 0.44 milímetros al año para el periodo 1992 a 2011 (NOAA, 2011).
- Disminución de la extensión de nieves y hielos. Dicha extensión ha disminuido, desde 1978, 2.7% por decenio, y en verano la disminución alcanzó los 7.4% (IPCC, 2007a) (véase el gráfico 1). Para septiembre de 2011 la cobertura promedio de hielo fue de 4.61 millones de kilómetros cuadrados, 2.42 millones de kilómetros cuadrados por debajo del nivel del promedio del periodo 1979-2000 (NSIDC, 2011). Asimismo, la extensión de los lagos glaciares y su número han aumentado (Polyak et al., 2010) y se observa una reducción significativa de los glaciares.
- Modificaciones en los patrones de los eventos extremos aunque persiste una gran incertidumbre sobre si estos cambios implican modificaciones en la intensidad o la frecuencia de estos eventos.

GRÁFICO 3
AUMENTO EN LAS ANOMALÍAS DE TEMPERATURA,
ALZA EN DEL PROMEDIO DEL NIVEL DEL MAR Y CUBIERTA DE HIELO



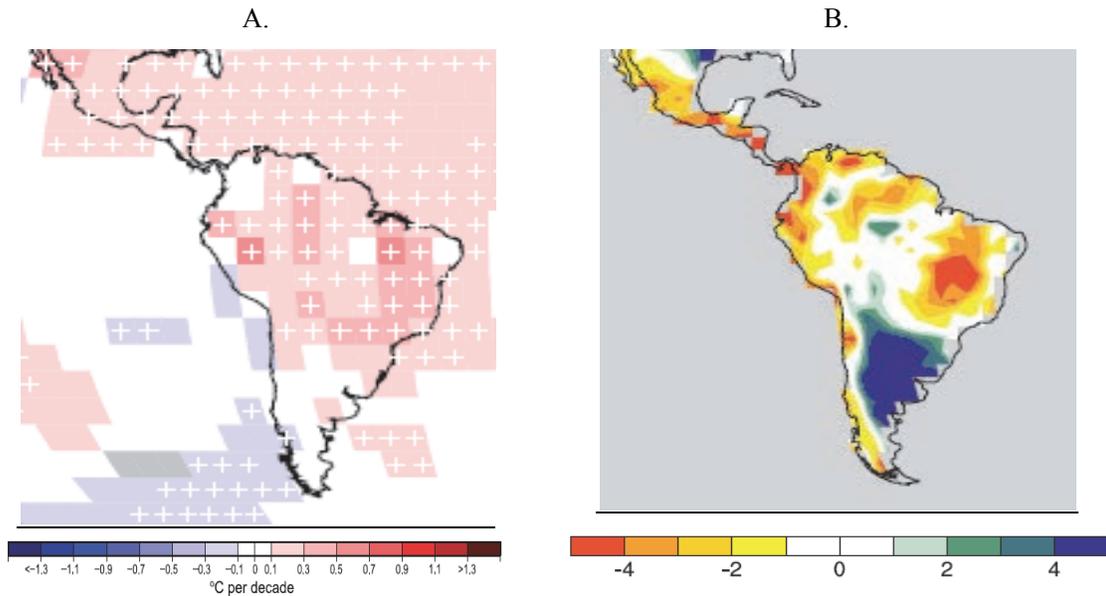
Fuente: IPCC, 2007a y elaboración propia con datos de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y de National Snow and Ice Data Center (NSIDC).

Nota: Datos del altímetro fueron obtenidos del Laboratory for Satellite Altimetry de la NOAA. http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/slr/LSA_SLR_timeseries_global.php. Las señales de estacionalidad fueron removidas, promedios móviles de seis meses.

La evidencia disponible para América Latina sobre el cambio climático muestra patrones regulares similares a aquellos a nivel global². Así, en América Latina se observa un aumento paulatino pero persistente de la temperatura promedio de $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$, estimado como una tendencia lineal considerando los últimos 100 años (1906–2005) (IPCC, 2007a).

² Debe reconocerse que la construcción de estos escenarios climáticos regionales (*downscaling*) conlleva un alto nivel de incertidumbre; incluso mayor que los escenarios globales. Esto es, un solo escenario global implica diversos escenarios regionales probables y los escenarios regionales deben de incorporar un número mayor de factores específicos tales como interacciones con el uso de suelo o altitud (IPCC, 2007a, 2007b).

MAPA 1 AUMENTO DE TEMPERATURA EN AMÉRICA LATINA



Fuente: (IPCC, 2007a).

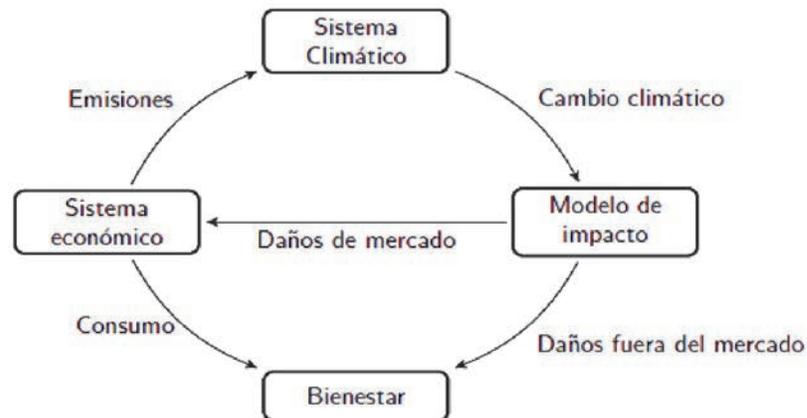
Nota: A. Tendencia lineal de las temperaturas anuales de 1979 a 2005 (°C por década). Las áreas en gris tienen datos insuficientes para generar tendencias confiables. El número mínimo de años requeridos para calcular una tendencia son 18 años de 1979 a 2005. Un valor anual está disponible si existen 10 valores mensuales válidos de anomalías en la temperatura. La base de datos utilizada fue producida por NCDC de Smith y Reynolds (2005). Las tendencias significativas al nivel de 5% están indicadas por marcas + en blanco. B. Índice de Severidad Palmer Drought (PDSI por sus siglas en inglés) patrones espaciales para el período 1990 - 2002. Valores positivos/negativos del PDSI muestran áreas más húmedas/secas con respecto al promedio, indicadas por las áreas azules y rojas.

Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

II. Análisis económico y social del cambio climático

Existe una gran diversidad de métodos y enfoques para analizar las causas y los efectos socioeconómicos del cambio climático (IPCC, 2007b; Stern, 2007; Feenstra y otros, 1998). En forma esquemática el análisis económico y social del cambio climático puede sintetizarse en el diagrama 1. Esto es, los agentes económicos, a través de sus decisiones de consumo y de producción generan gases de efecto invernadero (GEI). Los GEI al acumularse en la atmósfera generan un proceso de calentamiento global el cual produce el cambio climático que a su vez tiene efectos sobre el conjunto de las actividades económicas, los ecosistemas y, en última instancia sobre el bienestar (Fankhauser, 1994; Stern, 2008). Esto hace un fenómeno con un procesos importante de retro-alimentación.

DIAGRAMA 1
ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO



Fuente: Fankhauser, Samuel (1995), *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*, Routledge, marzo.

En este contexto, el análisis económico y social del cambio climático debe entonces basarse en reconocer algunas de sus principales características:

- El cambio climático, desde una óptica económica puede entenderse como la consecuencia de una externalidad negativa (Stern, 2007, 2008). Esto es, los GEI y su consecuente cambio climático representan una externalidad cuyos impactos son globales independientemente del lugar geográfico donde se generan las emisiones. En este sentido, su corrección requiere la utilización de diversas políticas públicas tales como los impuestos al carbono, la eliminación de subsidios dañinos para el ambiente, la mejora de la eficiencia del consumo de energía, el desarrollo y difusión de la tecnología. Asimismo, el carácter global de la externalidad implica la necesidad de aplicar medidas globales para mitigar efectivamente el cambio climático.
- El cambio climático es un fenómeno de largo plazo de modo que es necesario ponderar con cuidado los efectos inter-generacionales y, por tanto, la forma de descontar el futuro. En este sentido el cambio climático es un tema que requiere temas del análisis económico y social con consideraciones de equidad y éticas relevantes. Por ejemplo, la elección de la tasa de descuento resulta fundamental ya que una tasa alta de descuento le otorga una baja ponderación presente a los efectos futuros del cambio climático. Por el contrario, el uso de una tasa de descuento baja le otorga una mayor importancia al futuro y por tanto es más cercana al concepto de un desarrollo sostenible (Stern, 2007).
- El cambio climático es un fenómeno con una incertidumbre inherente significativa que requiere una administración de riesgos apropiada. Esto es, los escenarios elaborados con cambio climático solo son indicativos y son altamente sensibles a los supuestos considerados. De este modo, no pueden ser considerados como pronósticos específicos. Asimismo, el cambio climático implica la posibilidad de eventos climáticos extremos con consecuencias catastróficas con una baja probabilidad pero que en un largo periodo de tiempo se traducen en una modificación de la forma en que se administran estos riesgos y sus probabilidades de ocurrencia. Asimismo, existen impactos físicos irreversibles que deben de considerarse con base en un principio precautorio.

Los análisis económicos y sociales del cambio climático son de una gran diversidad y horizontes de tiempo y utilizan diversas metodologías de análisis (IPCC, 2007b; Stern, 2007; Feenstra y otros, 1998; Fankhauser, 1994). Todos estos enfoques y opciones metodológicas tienen ventajas y desventajas y están sujetos a cierto nivel de incertidumbre. Destaca por su relevancia los análisis de costo beneficio. En efecto, el análisis de costo beneficio (ACB) es una de las herramientas principales para el análisis de las políticas públicas que puede ser aplicado en el contexto del análisis económico del cambio climático (Stern, 2007). Este enfoque se desarrolló con la finalidad de evaluar las implicaciones de diversas políticas públicas a partir de la comparación de las ganancias y las pérdidas potenciales de una propuesta específica valuadas en unidades monetarias. En el caso en que los beneficios exceden los costos, entonces el proyecto es factible. Es posible extender este enfoque hacia la elección de alguna política pública específica buscando maximizar los beneficios netos (o minimizar los costos) (Pearson, 2011).

El análisis de costo beneficio normalmente consiste en las siguientes etapas (Layard y Glaister, 1994; Mishan y Quah, 2007; Johansson, 1993; Boardman y otros, 2010; Brent, 2008; Campbell y Brown, 2003; Nas, 1996; Hanley y Spash, 1995):

1. Identificar los costos y beneficios de la medida en particular.
2. Cuantificar en términos monetarios los costos y beneficios de la medida.
3. Evaluar los montos de los costos y beneficios.
4. Aplicar una tasa de descuento para transferir en el tiempo los costos y beneficios que genera la política pública propuesta y obtener el valor presente neto del proyecto.
5. A través de una regla de decisión se opta por aplicar o descartar la política pública seleccionada.

Una variante del ACB es el análisis de costos efectividad (ACE). El ACE es utilizado para clasificar los resultados de distintas líneas de acción (Garber y Phelps, 1997). La característica principal que lo diferencia del ACB es que no requiere la asignación de valores monetarios a los efectos de las distintas políticas, esto es, el ACE describe a una intervención en términos de la relación entre los costos marginales de la política y los efectos marginales (Garber y Phelps, 1997). Una de las principales aplicaciones del ACE es en el sector salud, donde se clasifican las distintas medidas en términos de los años de vida.

De este modo, el análisis de costo beneficio tiene como fundamento la estimación del valor presente tanto de los costos como de los beneficios económicos de un proyecto que puede obtenerse de acuerdo a la formulas enumeradas en las ecuaciones (1), (2) y (3):

$$(1) \quad W = \int_{t=0}^n e^{-\delta} U_t(ye_t) dt$$

$$(2) \quad VPN_t = -INV_0 + \sum_{t=0}^n \frac{VN_t}{(1+r)^n}$$

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

Donde W es la forma continua de la función de bienestar intertemporal, la cual está determinada por la función utilidad de cada generación, U_t , cuyo argumento es el ingreso de equilibrio, ye_t , o el consumo. VPN_t es el valor presente neto de los flujos monetarios en el tiempo, el cual se determina por el monto de inversión inicial, INV_0 , y la suma de los flujos del valor neto VN_t para $t = 1, 2, \dots, n$, descontados por la tasa r . La ecuación (3) define la ecuación de Ramsey de la tasa social de descuento, r , donde δ es la tasa pura de preferencias en el tiempo, α es la elasticidad de la utilidad marginal del ingreso o consumo, y g es la tasa de crecimiento del ingreso de equilibrio o del consumo. La tasa pura de preferencias en el tiempo estima la importancia que se le otorga al bienestar de las próximas generaciones reflejando la impaciencia por el consumo, la elasticidad de la utilidad marginal del ingreso o consumo muestra la curvatura de la función de utilidad y refleja que tan rápido decrece la utilidad ante aumentos en el ingreso, por lo cual se multiplica por la tasa de crecimiento del ingreso de equilibrio para así obtener el impacto total (Galindo y Samaniego, 2010). La selección de la tasa de descuento es la descripción de la forma en que responden los agentes económicos, así como la forma en que juzgan el futuro (Hanley y Spash, 1995). Es común en el análisis económico aplicado del cambio climático aplicar una tasa social de preferencias distinta y, en general, menor a la tasa de interés de mercado con la finalidad de considerar el bienestar de las generaciones futuras (Galindo y Samaniego, 2010; Hanley y Spash, 1995; Sen, 1997).

De este modo, la aplicación del análisis del costo beneficio en referencia al cambio climático busca identificar, a nivel agregado, sus costos y sus beneficios a valor presente donde los beneficios son los costos netos evitados que ocasionan los cambios del clima. Asimismo, existen estudios que intentan calcular el nivel óptimo de emisiones, donde el costo marginal de abatimiento iguala al beneficio marginal y se busca entonces maximizar el bienestar social (Nordhaus y Boyer, 2000; Pearson, 2011).

El enfoque de costo-beneficio del cambio climático presenta algunas características relevantes que producen al menos tres problemas inmediatos desde la óptica del análisis del costo beneficio:

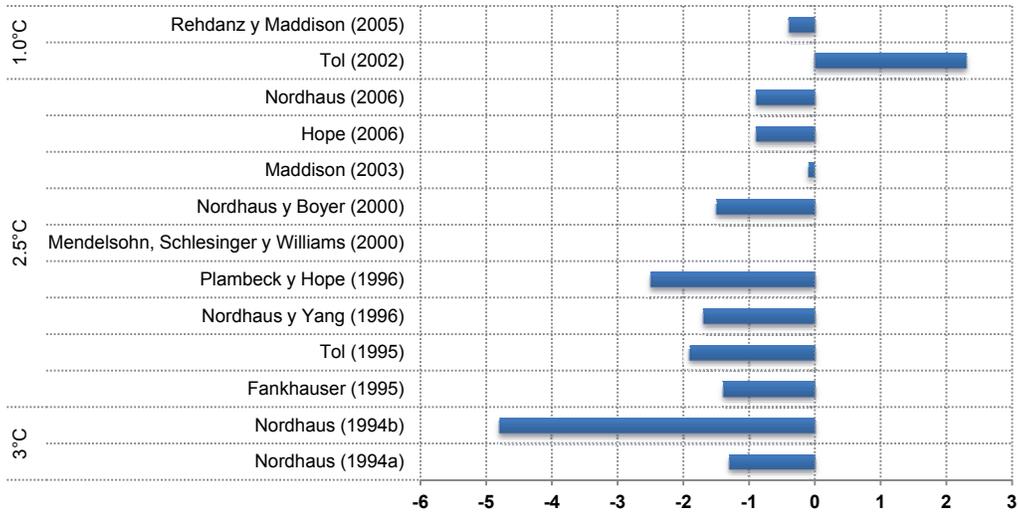
1. Los análisis de CBA tienen una tendencia a ignorar el riesgo en este tipo de evaluaciones. Este tipo de análisis no necesariamente pondera adecuadamente eventos catastróficos de baja probabilidad, tales como los eventos climáticos extremos (WWF, 2011). Esto en particular se debe a que los eventos extremos están rodeados de un grado importante de incertidumbre (Weitzman, 2009). Esto implica que, la existencia de un riesgo mínimo de pérdidas considerables en un periodo de tiempo extenso, debe ponderarse con extrema precaución; 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.

2. La valoración económica de los bienes y servicios que se encuentran fuera del mercado y, por tanto, no están valuadas en términos económicos. La valoración económica de los elementos tales como la vida humana y la biodiversidad, por ejemplo, presenta retos tanto éticos como económicos que es difícil incorporar adecuadamente en el CBA.
3. La elección de la tasa de descuento (Fankhauser, 1995; Nordhaus, 2008; Stern, 2008) también presenta retos éticos y económicos. En principio al evaluar los costos y beneficios de un fenómeno de largo plazo como el cambio climático, implica la aplicación de una tasa de descuento para realizar comparaciones inter-temporales. Sin embargo, el análisis de costo-beneficio es particularmente sensible a la elección de dicha tasa (Aldred, 2009). La selección de la tasa de descuento es una descripción en la forma en que actualmente responden los agentes como las formas de considerar el futuro. En este sentido, elegir una tasa de descuento no es exclusivamente una decisión técnica sino que también implica una opción ética (Hanley y Spash, 1993). Es necesario considerar ejercicios de sensibilidad para reducir los niveles de incertidumbre reconociendo y seleccionando una tasa acorde con un desarrollo sustentable. En este sentido, aplicar una tasa más elevada, dado el horizonte de tiempo involucrado del fenómeno, se traduce en eliminar los impactos normalmente más significativos (Galindo, 2009). Asimismo, debe de considerarse que la tasa de interés que se utiliza desde el punto de vista conceptual para los modelos de equilibrio general y para los análisis parciales es distinta.

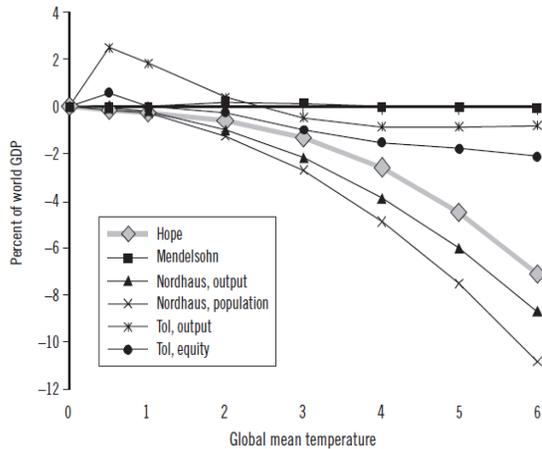
La evaluación de los impactos del cambio climático, y la elaboración del análisis costo beneficio, implica entonces comparar las trayectorias de las distintas variables de interés en un escenario inercial o línea base que refleja la evolución de los sistemas ambientales, económicos y sociales en ausencia del cambio climático. Establecer esta línea base es ciertamente complejo y existen diversas formas y métodos pero desde luego su construcción resulta fundamental para identificar las consecuencias del cambio climático (Angrist y Pischke, 2008). Por ejemplo, sectores tales como el agrícola y el hídrico o los bosques y la biodiversidad están sujetos a diversas presiones y transformaciones, aun en ausencia del cambio climático. Ello debe ser tomado en cuenta para atribuir adecuadamente los efectos del cambio climático. Así, el análisis del cambio climático requiere la construcción de escenarios de largo plazo que no pueden interpretarse como pronósticos. Estos escenarios contienen, desde luego, un elevado nivel de incertidumbre. Es importante notar que uno de los puntos más relevantes es que debido a que los impactos del cambio climático pueden ser positivos o negativos, en función de la ubicación geográfica y los sectores económicos, la agregación de los impactos del cambio climático debe ser cuidadosa y reconocer los supuestos para su elaboración.

A nivel agregado los costos económicos globales del cambio climático se pueden sintetizar en el panel A. del gráfico 4 en el contexto global y en gráfico para América Latina y el Caribe. De este modo, se observa que los impactos estimados del cambio climático oscilan entre una ganancia de 2.3% ante un aumento de 1°C y una caída de -4.8% ante un aumento de 3°C (véase el gráfico 4). Es importante notar que se espera que los costos de los impactos esperados sean crecientes con el nivel de temperatura, donde algunos modelos sobrepasan el 5% del PIB en pérdidas (Panel B gráfico 4).

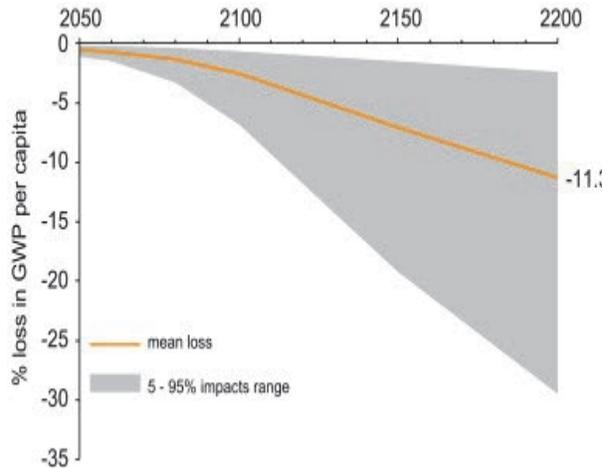
GRÁFICO 4
IMPACTOS Y COSTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
A. Impactos del cambio climático
(en porcentajes del PIB global)



B Costos dinámicos del cambio climático como función de la temperatura global media
(en porcentajes del PIB global)



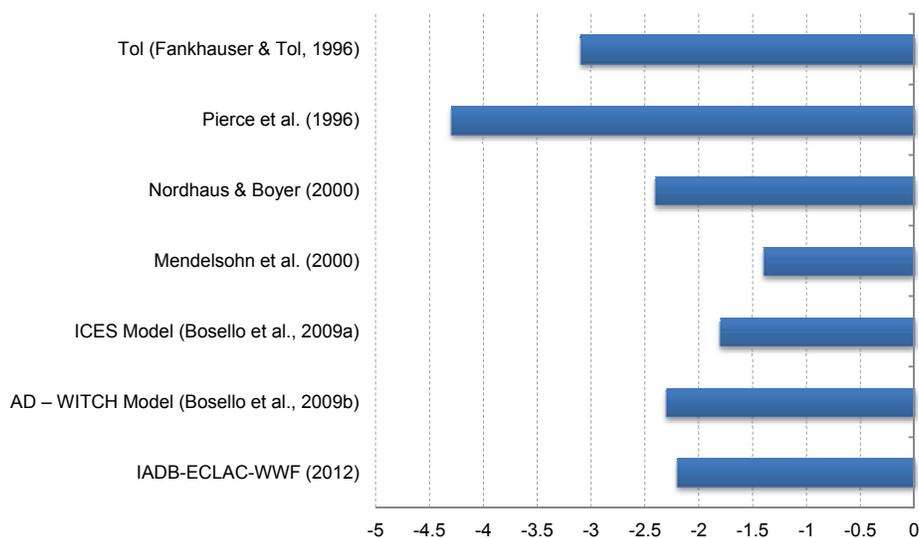
C. Costos dinámicos del cambio climático
Escenario base, Stern (2007)
(en porcentajes del PIB global)



Fuente: A. Elaboración propia en base a Tol, Richard S. J (2009), “The Economic Effects of Climate Change”, Journal of Economic Perspectives, vol. 23, No. 2, mayo. El estudio de Stern (2007) está basado en el trabajo de Hope (2006). B. Dietz, Simon y Chris Hope (2007), “Reflections on the Stern Review (1)”, World Economics, vol. 8, No. 1, y C. Dietz, Simon, Chris Hope y Nicola Patmore (2007), “Some economics of ‘dangerous’ climate change: Reflections on the Stern Review”, Global Environmental Change, vol. 17, No. 3-4, agosto.

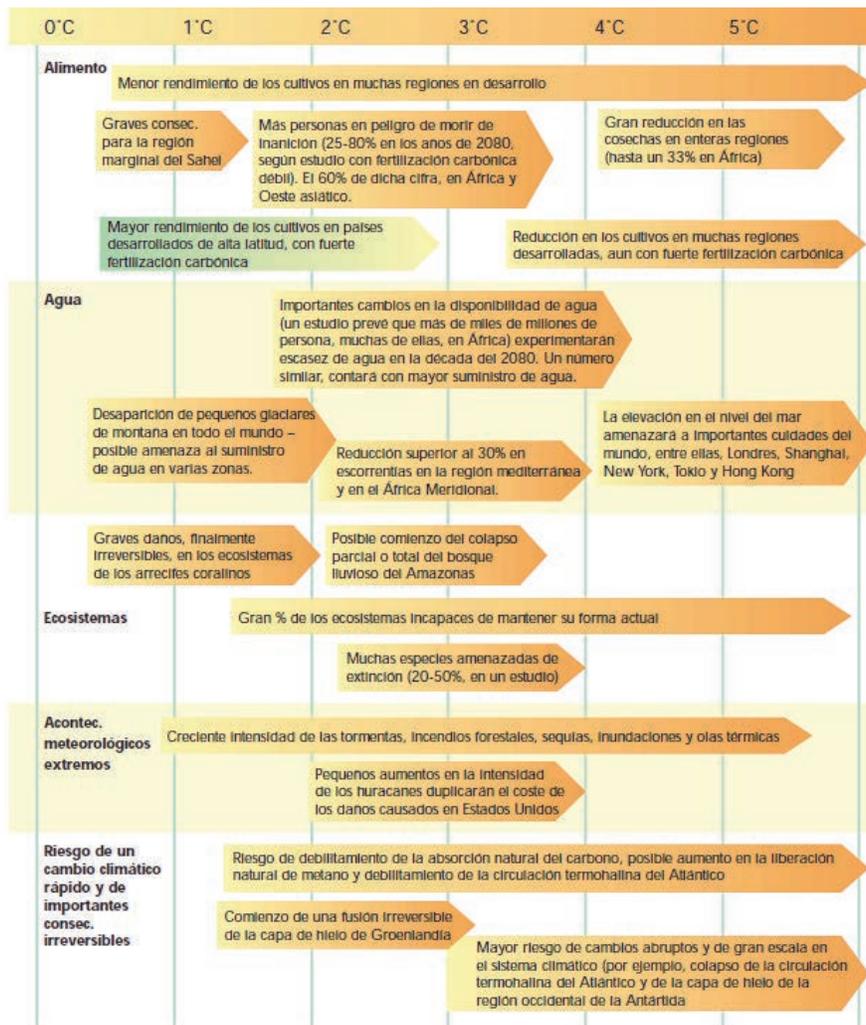
Destaca el trabajo de Hope (2006) el cual es adoptado en el Informe Stern (Stern, 2007) que ubica los costos globales del cambio climático en 5% y el 20% del PIB hasta el 2200 (Panel (c) (véase el gráfico 4). Al mismo tiempo, los costos económicos de los procesos de mitigación para estabilizar en niveles de entre 450 y 550 ppm se ubican entre -1% a 3.5% del PIB mundial con un promedio de 1% y donde incluso se reconoce que pueden llegar a 2% (Hepburn y Stern, 2008). Asimismo, los costos estimados para América Latina oscilan entre 1.5% y 5% del PIB actual de la región (véase el gráfico 5). Así, el análisis de costo beneficio muestra la relevancia de que a nivel global se articule una estrategia que permita realizar los procesos de mitigación correspondientes que eviten las consecuencias negativas del cambio climático. Destaca además (véase el gráfico 6) que existen sectores económicos particularmente sensibles a los efectos del cambio climático con distintos niveles de tolerancia a las modificaciones climáticas. Ejemplos de estos análisis sectoriales o específicos son las actividades agropecuarias, agua, bosques, biodiversidad o salud, pobreza o energía.

GRÁFICO 5
IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
ANTE UN AUMENTO EN LA TEMPERATURA DE 2.5 ° C
(En porcentajes del PIB regional)



Fuente: Los impactos del cambio climático ante un aumento de temperatura de 2.5 ° C para América Latina proviene de Bosello, F., C. Carraro and E. De Cian (2010) "Market- and Policy-Driven Adaptation". In: Bjørn Lomborg (ed.), *Smart Solutions to Climate Change: Comparing Costs and Benefits*. Cambridge University Press, pp. 222-277 y de IADB, Inter-American Development Bank, Economic Commission for Latin America and the Caribbean ECLAC y World Wildlife Fund WWF (2012), «Low carbon climate resilience development in Latin America and the Caribbean» (Forthcoming).

GRÁFICO 6
IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO



Fuente: Stern, Nicholas (2007), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, enero. <http://ukinecuador.fco.gov.uk/resources/es/pdf/740473482/informe-stern>.

En las subsecciones siguientes, se esbozan de forma breve la metodología de la estimación de los impactos económicos del cambio climático para la agricultura, el sector hídrico, el sector salud y la biodiversidad y, además, se comenta la inclusión de las variables sociales al análisis económico de los impactos del cambio climático.

A. Sector Agrícola

El sector agrícola es uno de los sectores más sensible a los impactos directos del cambio climático. En efecto, el rendimiento de los cultivos y la producción agrícola están determinados por un conjunto de factores climáticos y geográficos tales como la humedad del suelo, la temperatura, la precipitación, la variabilidad climática, la luz solar y el grado de fertilidad de la tierra (Mendelsohn y Dinar, 2009; Dawson y Spannagle, 2009). Asimismo, es importante considerar que la producción y los rendimientos del sector agropecuario también dependen de un conjunto de factores adicionales tales como la combinación de insumos, los fertilizantes, la tecnología, la irrigación, el tipo de administración de riesgos, los pesticidas y de la cantidad y calidad del factor trabajo (Carlson et al., 1993; Doering et al., 2002).

Además, las estimaciones de los impactos deben considerar una demanda creciente de alimentos y de insumos. Por ejemplo, es viable que el cambio climático pueda generar una reducción parcial en la oferta de alimentos o un menor ritmo de crecimiento de esta oferta agrícola y, por tanto, ocasione un aumento de los precios agrícolas, con potenciales efectos negativos sobre la seguridad alimentaria, la pobreza, la nutrición y el bienestar, asimismo, incrementará la necesidad de un aumento en la inversión de infraestructura agrícola (Ahmed, Diffenbaugh y Hertel, 2009; Nelson y otros, 2009; World Bank, 2010). Por otro lado, la reducción en la producción y los rendimientos, en conjunto con los impactos en los precios, tendrá consecuencias sobre la balanza comercial de los países (Nelson y otros, 2009). En este sentido, identificar los impactos climáticos requiere considerar adecuadamente los efectos del resto de variables no climáticas en la evolución de las actividades agropecuarias o la trayectoria tendencial esperada. Es importante señalar que los rendimientos agrícolas muestran una fuerte dependencia hacia las condiciones específicas de cada región, tales como el tipo de suelo, los nutrientes y los recursos hídricos (Mendelsohn y Dinar, 2009). Ello sugiere la importancia de considerar los efectos potenciales de retroalimentación entre distintos sectores; por ejemplo, los efectos de modificaciones en la oferta hídrica en la productividad agrícola. Asimismo, los efectos climáticos son sensibles al efecto de fertilización del CO₂ (Cline, 2007), por lo cual el impacto final de las emisiones sobre ciertos cultivos puede resultar ambiguo, principalmente ante aumentos moderados de temperatura (Pearson, 2011).

Los impactos del cambio climático sobre el sector agropecuario muestran ciertas características que es necesario considerar en el análisis (Galindo, 2009; Mendelsohn y Dinar, 2009):

- Los impactos del cambio climático deben considerar, en un contexto amplio, a diversas variables de control tales como los efectos económicos asociados al progreso técnico, la inversión en infraestructura agrícola (mecanización, irrigación, uso intensivo de insumos), la fertilización por CO₂ o los procesos de adaptación a los cambios climáticos, los cambios en los ecosistemas, en las semillas, insectos y plagas, así como las condiciones del mercado. La omisión de este conjunto de factores puede generar un sesgo en la estimación de los impactos climáticos.
- Los impactos del cambio climático son no-lineales, lo que implica la existencia de límites específicos de tolerancia y resistencia de los distintos cultivos; asimismo se observa que los impactos tienden a crecer exponencialmente y pueden llegar a puntos de inflexión donde se conjugan diversos factores con el peligro de afectar seriamente la producción. De este modo, cambios climáticos que parecen no tener impactos importantes se harán evidentes posteriormente.
- Los impactos climáticos son diferenciados y muy heterogéneos y pueden tener efectos incluso en direcciones contrarias. De este modo, la simulación de los efectos netos son sensibles a los escenarios agregados sobre la evolución del CO₂, la temperatura, la precipitación y los eventos extremos e incluso la altitud en los cultivos. Asimismo, debe tomarse en cuenta que existen simultáneamente procesos de ajustes y procesos económicos de innovación tecnológica o adaptación que actúan en dirección opuesta. Ello explica,

parcialmente, los resultados mixtos de los impactos climáticos sobre el sector agropecuario y la importancia de considerar especificidades regionales (Mendelsohn, 2007).

Estas características muestran la complejidad en la medición de los impactos y la incertidumbre asociada a cada estimación; por tanto, los resultados obtenidos representan, más que una estimación puntual, una serie de escenarios y proyecciones con una función de probabilidad asociada.

Existen distintos enfoques y metodologías para analizar los impactos del cambio climático sobre de la producción y/o rendimientos del sector agropecuario (Cline, 2007; Mendelsohn y Dinar, 2009). Los distintos enfoques sobre la estimación de los impactos del cambio climático en la agricultura pueden ser agrupados en tres categorías principales (Hertel y Rosch, 2010):

1. Modelos de simulación de crecimiento de los cultivos
2. Enfoques estadísticos
3. Modelos Ricardianos

Los modelos de simulación de crecimiento de los cultivos (MSCC) se utilizan en forma experimental bajo condiciones controladas o regulares para simular los impactos del cambio climático en la agricultura. Este enfoque tiene como fundamento la aplicación de funciones de producción agrícolas basado en insumos físicos, esto es, la estimación de la respuesta de la producción agrícola ante cambios en el tipo de suelo, los niveles de nutrientes, la temperatura, la disponibilidad de agua, la radiación solar, los niveles de carbono en la atmósfera o de abono y en ocasiones se simulan otras variables como la infraestructura hídrica-agrícola (Pearson, 2011). Para cada región en particular los MSCC son calibrados y, considerando diversas prácticas de gestión y diversos escenarios de cambio climático son utilizados para los cultivos seleccionados. Así, los cambios en los rendimientos que se obtienen en los modelos son extrapolados para obtener el efecto agregado del cambio en el clima sobre los cultivos (Rosenzweig y Martin L. Parry, 1994; M. L. Parry y Rosenzweig, 1993).

Los MSCC tienen la capacidad de simular el crecimiento de los cultivos tanto por campos individuales como por las distintas etapas de crecimiento de los cultivos en función del suelo, la disponibilidad de agua, la temperatura, así como la dinámica del nitrógeno en el suelo a nivel de campos individuales. Además, estos modelos permiten evaluar diversas prácticas de adaptación ya que permiten simular la elección de las variedades de cultivo, las fechas de plantación, los niveles de irrigación y el uso de fertilizantes entre otras prácticas (Mendelsohn y Dinar, 2009; Hertel y Rosch, 2010). Los fundamentos agronómicos de estos modelos permiten integrar además las condiciones hidrológicas, el efecto fertilizante del CO₂ y permiten ser calibrados para tomar en cuenta condiciones locales (Mendelsohn y Dinar, 2009). Sin embargo, este tipo de modelos presenta algunas limitaciones, sobre todo en su aplicación a los países en desarrollo ya que suele ser intensivo en el uso de información climática, espacial y de calidad de suelos, asimismo, estos modelos están sujetos a la incertidumbre relacionada con la calibración de los parámetros y solo han sido estimados para ciertas localidades específicas por lo que sus resultados pueden resultar no representativos (Hertel y Rosch, 2010; Mendelsohn y Dinar, 2009). Además, estos modelos están basados fundamentalmente en relaciones agronómicas por lo que resulta particularmente complejo incluir modificaciones en la conducta de los agricultores ante cambios socioeconómicos (Mendelsohn y Dinar, 2009).

Un segundo enfoque se basa en la estimación estadísticas de la sensibilidad del rendimiento o de la producción de los cultivos a las condiciones climáticas (Mendelsohn y Dinar, 2009; Hertel y Rosch, 2010; Cline, 2007). Esto es, se utiliza un modelo empírico de función de producción con la finalidad de obtener el efecto de las variables climáticas sobre la producción o rendimiento de un cultivo dado, utilizando datos sobre el tipo de suelo, recursos hídricos y otras variables económicas (Mendelsohn y Dinar, 2009). Estos modelos tienen la ventaja de que son menos intensivos en los requerimientos de información, asimismo, pueden ser estimados a nivel de país o región (Hertel y Rosch, 2010). Sin embargo, al estar basados en las relaciones históricas, existe gran incertidumbre ante su capacidad de simular los efectos del cambio climático ante condiciones climáticas completamente nuevas, por otro lado, los cambios en los cultivos, en las fechas de siembra y otras

variables de conducta no son normalmente incorporados lo que dificulta incluir medidas de adaptación (Hertel y Rosch, 2010; Mendelsohn y Dinar, 2009).

Los modelos estadísticos pueden ser estimados utilizando datos de sección cruzada, series de tiempo o de panel. El modelo de función de producción agrícola puede ser expresado por variables de insumos, así como por la capacidad tecnológica (Fleischer et al., 2008). Las variables exógenas incluyen el clima y la cuota de agua de riego y las variables económicas como la mano de obra, el capital, semillas y fertilizantes, entre otros. La función de producción se define entonces como:

$$Y_i = f(z, m, x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Donde Y_i representa la producción del cultivo i , la cual está en función de z , que simboliza el vector de variables climáticas, m es un vector de características exógenas y x_i que es un vector de insumos del cultivo i ; x_i puede ser expresado en el óptimo como $x_i = x_i(z, m)$. En general las variables climáticas son incluidas como una forma funcional cuadrática (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw, 1994; Cline, 2007). También es común observar la inclusión de una tendencia para representar el progreso técnico (Chang, 2002, Galindo, 2009). Los coeficientes estimados se utilizan entonces para simular los cambios en la producción bajo escenarios alternativos de cambio climático. Normalmente se establece una función cóncava entre la producción o los rendimientos y las condiciones climáticas (temperatura y/o precipitación) (Kaufmann y Snell, 1997, Sergenson y Dixon, 1999).

La tercera opción son los modelos ricardianos que estiman la producción neta o los rendimientos de las tierras agrícolas como función del clima, el tipo de suelo y otras variables de control (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw, 1994; Schlenker, Hanemann y Fisher, 2005; Mendelsohn y Dinar, 2009). Estos modelos se basan en muestras de sección cruzada o de datos panel para varias zonas climáticas con la finalidad de estimar la sensibilidad del valor de la tierra o de los ingresos netos por hectárea al clima (Mendelsohn y Dinar, 2009). Bajo éste enfoque es posible establecer una relación directa entre los factores climáticos y el valor de la tierra agrícola, donde el valor de la tierra es proporcional a su productividad. A partir de esta relación se puede estimar la contribución marginal de cada insumo al ingreso agrícola, ya que se asume que el valor agrícola refleja el valor presente de la suma de los beneficios netos futuros (Molua y Lambi, 2007). A diferencia de los modelos de función de producción, los modelos ricardianos, en particular los modelos estructurales Ricardianos, permiten modelar los procesos de adaptación de los agricultores ante los cambios en las condiciones climáticas y económicas (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw, 1994; Mendelsohn y Dinar, 2009). El modelo ricardiano al igual que la función de producción es un modelo no lineal que incluye las variables climáticas de forma lineal y cuadrática (Mendelsohn y Dinar, 2009).

En general, la evidencia disponible de todos estos modelos muestra que los impactos esperados del cambio climático sobre la agricultura son heterogéneos y distintos por regiones. Por ejemplo, los aumentos moderados de temperatura puede tener efectos benéficos sobre algunos cultivos, sobre todo en zonas templadas, y efectos negativos en las zonas semi-áridas y tropicales, asimismo, aumentos más allá de los 2°C producirán reducciones cuasi-generalizadas en la productividad de los cultivos de no instrumentarse procesos de adaptación correspondientes (Stern, 2007; Tubiello y Rosenzweig, 2008) (véase el cuadro 2).

Así, los estudios sobre los impactos recientes sugieren la existencia de importantes efectos del cambio climático sobre el sector agrícola en América Latina y el Caribe (IADB, ECLAC y WWF, 2012; Mendelsohn y Dinar, 2009; CEPAL, 2010). La variación de la temperatura y de los patrones de precipitación sobre los rendimientos en el corto plazo muestran tendencias mixtas; estos varían dependiendo del tipo cultivo, de los factores geográficos, de la consideración sobre la fertilización proveniente de la mayor cantidad de CO₂ en la atmósfera y de la evolución de las variables de control correspondientes (World Bank, 2010; Magrin y otros, 2007; Seo y Mendelsohn, 2008; Mendelsohn y Dinar, 2009; IADB, ECLAC y WWF, 2012). En general, los resultados son sensibles a la disposición de recursos hídricos y a la posible presencia de eventos meteorológicos extremos (Mendelsohn y Dinar, 2009; Ackerman y Stanton, 2011). En este sentido, una combinación de fenómenos tales como

un aumento en la temperatura, un mayor estrés hídrico y eventos climáticos extremos tendrían impactos negativos significativos.

En el largo plazo, sin embargo, se espera una caída generalizada de los rendimientos de la región, especialmente en aquellos casos, donde el estrés hídrico sea particularmente agudo, exista un aumento en las plagas, se presentan cambios en las condiciones de los suelos, y las medidas de adaptación sean inadecuadas o inexistentes (IADB, ECLAC y WWF, 2012; CEPAL, 2010; Tubiello y Rosenzweig, 2008; Mendelsohn y Dinar, 2009; Nelson y otros, 2009; Ackerman y Stanton, 2011; Jones y Thornton, 2003). Así, en el se sintetizan algunos de los estudios sobre los impactos del cambio climático en el sector agrícola en América Latina³. Estos impactos negativos del cambio climático en los cultivos clave de América Latina y el Caribe tendrán también incidencia en la cadena mundial de alimentos (Fernandes y otros, 2013). Por ejemplo, se estima una pérdida de entre 32 y 54 miles de millones de dólares al año a 2050 en términos de exportaciones para América Latina y el Caribe (Fernandes y otros, 2013). En este contexto, se observa que las medidas simples de adaptación tales como, la mejora de variedades de cultivos, los cambios de fechas de cosechas e irrigación moderada no serán suficientes para contrarrestar los impactos proyectados del cambio climático aunque pueden reducir el impacto sobre los rendimientos (Fernandes y otros, 2013).

³ Se estima, por ejemplo, que un aumento de 2.5°C en la temperatura global, tenga un impacto de 0.76% sobre el PIB agrícola de América Latina (Tol, 2002).

CUADRO 2
RANGO DE ESTIMACIONES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
SOBRE RENDIMIENTOS DE CULTIVOS SELECCIONADOS

Región/país	Estudio	Escenarios	Cultivo	Impacto
América Latina	Argentina	Sala y Paruelo (1994)	Maíz	-36% a -17%
		Magrin, et al. (in press)	Maíz	-4% a -18%
	Baethgen y Magrin (1995)	Con fertilización por CO ₂	Trigo	+3% a +48%
		Con fertilización por CO ₂	Girasol	+14% a +23%
		Con fertilización por CO ₂	Soya	-8% a -3%
	Magrin y Travasso (2002)	Con CO ₂ y alta respuesta a la precipitación	Trigo	-10% a -5%
		+1 / +2 / 4°C (550 ppm CO ₂) e irrigación	Trigo	+11% / +3% / -4%
	Magrin, et al. (2005)	+1 / +2 / 4°C (550 ppm CO ₂) e irrigación	Maíz	0 / -5% / -9%
		+1 / +2 / 4°C (550 ppm CO ₂) e irrigación	Soya	+40% / +42% / +39%
		Aumento en la precipitación	Soya	+38%
		Aumento en la precipitación	Maíz	+18%
		Aumento en la precipitación	Trigo	+13%
	Vinocur, et al. (2000) y Vinocur (2005)	Aumento en la precipitación	Girasol	+12%
		+1.5 / +3.5°C (1°C CO ₂)	Maíz	-13% / -17%
	Jones y Thornton (2003)	+1.5 / +3.5°C (1°C CO ₂) (duplicación de la varianza de la temperatura)	Maíz	-19% / -35%
Diversos escenarios climáticos		Maíz	-19%	
Cline (2007)	Con fertilización por carbono (implica un aumento de 15% en el rendimiento)	Cultivos (Maíz, Arroz, y Soya)	+2,2%	

Cuadro 2 (continuación)

Región/país	Estudio	Escenarios	Cultivo	Impacto
Brasil	Siqueira, <i>et al.</i> (1994)	+2 y +4°C y -20% Precipitación Con fertilización por CO ₂	Trigo	-50% a -15%
		+2 y +4°C y -20% Precipitación Con fertilización por CO ₂	Maíz	-25% a -2%
	Pinto, <i>et al.</i> (2002)	+2 y +4°C y -20% Precipitación Con fertilización por CO ₂	Soya	-61% a +6%
		+2°C y +15% Precipitación	Café	-10%
	Siqueira, <i>et al.</i> (2001)	+5.8°C y +15% Precipitación	Café	-97%
		550 ppm CO ₂	Trigo	-30%
		550 ppm CO ₂	Maíz	-15%
		Diversos escenarios climáticos	Soya	+21%
	Jones y Thornton (2003)	Diversos escenarios climáticos	Maíz	-25%
		Con fertilización por carbono (implica un aumento de 15% en el rendimiento)	Cultivos (Maíz, Arroz, y Soya)	-4,4%
Chile	Downing (1992)	-25% Precipitación	Maíz	Aumento
		-25% Precipitación	Papa	Aumento
		-25% Precipitación	Uva	Reducción
	Jones y Thornton (2003)	Diversos escenarios climáticos	Maíz	+33,5%
		Con fertilización por carbono (implica un aumento de 15% en el rendimiento)	Cultivos (Maíz, Arroz, y Soya)	-13,1%
Colombia	Jones y Thornton (2003)	Diversos escenarios climáticos	Maíz	-5,9%
		Con fertilización por carbono (implica un aumento de 15% en el rendimiento)	Cultivos (Maíz, Arroz, y Soya)	-11,7%

Cuadro 2 (continuación)

Región/país	Estudio	Escenarios	Cultivo	Impacto
Ecuador	Jones y Thornton (2003)	Diversos escenarios climáticos	Maíz	+0,07%
	Cline (2008)	Con fertilización por carbono (implica un aumento de 15% en el rendimiento)	Cultivos (Maíz, Arroz, y Soya)	-18,1%
Guatemala	National Communications (2001)	+1,5°C y -5% Precipitación	Maíz / Arroz	-11% a 8% / -16%
		+2°C y +6% Precipitación	Maíz / Arroz	-11% a 15% / -20%
	Jones y Thornton (2003)	+3,5°C y -30% Precipitación	Maíz / Arroz	-34% a 13% / -27%
		Diversos escenarios climáticos	Maíz	-4%
México	Liverman y O'Brien (1991 y 1994)	2 y 4°C y -20% Precipitación	Maíz	-61% a -6%
		Con fertilización por CO ₂		
	Conde, <i>et al.</i> (1997)	2 y 4°C y (+/-) 20% Precipitación	Maíz	~ -20% a 61%
		Tres escenarios climáticos a 2100	Cultivos	-42% a -54% del valor
	Gay, <i>et al.</i> (2004)	Diversos escenarios climáticos a 2050	Café	-73% a -78% en producción
		Diversos escenarios climáticos	Maíz	-7,4%
Perú	Jones y Thornton (2003)	Con fertilización por carbono (implica un aumento de 15% en el rendimiento)	Cultivos (Maíz, Arroz, y Soya)	-25,7%
		Diversos escenarios climáticos	Maíz	-2,99%
	Cline (2008)	Con fertilización por carbono (implica un aumento de 15% en el rendimiento)	Cultivos (Maíz, Arroz, y Soya)	-20,2%

Cuadro 2 (conclusión)

Región/país	Estudio	Escenarios	Cultivo	Impacto
Uruguay	Beathgen (1994)	+2 y +4°C y -20% Precipitación con y sin fertilización por CO2	Cebada	-40% a -30%
		Aumento de 1°C y cambio en la precipitación	Cebada	-10% y -6% a +8%
	Baethgen y Magrin (1994) Jones y Thornton (2003)	Aumento de 2°C y cambio en la precipitación	Maíz	-15% y -13% a +10%
		Con fertilización por CO2 y alta respuesta a la precipitación	Trigo	-10% a -5%
Venezuela	Jones y Thornton (2003)	Diversos escenarios climáticos	Maíz	-1,9%
		Diversos escenarios climáticos	Maíz	-26,91%
	Cline (2008)	Con fertilización por carbono (implica un aumento de 15% en el rendimiento)	Cultivos (Maíz, Arroz, y Soya)	-22%
América Latina	Bosello, <i>et al.</i> (2010)	+1,2°C / +3,2°C	Trigo	-6,69% / -68,1%
		+1,2°C / +3,2°C	Arroz	-6,61% / -55,6%
		+1,2°C / +3,2°C	Cereales	-8,259% / -76,3%
	Nelson, <i>et al.</i> (2009)	Escenario A2 del IPCC	Arroz	-19,2% a -21,7%
		Escenario A2 del IPCC	Trigo	11,4% a 17,4%
		Escenario A2 del IPCC	Maíz	-0,3% a -4%
	Escenario A2 del IPCC	Mijo	7,2% a 8,8%	
	Escenario A2 del IPCC	Sorgo	2,3% a 4,3%	

Fuente: ECLAC (2012) basado en IPCC (1995, 2007b); Adams, *et al.* 1998; Cline (2007) y Magrin, *et al.* (2007).

La estimación de los costos de adaptación del sector agrícola conlleva identificar varios procesos tales como el aumento de la intensidad del uso de insumos (trabajo, agua o fertilizantes), cambios en los días de siembra, en los tipos de cultivos, o combinando algunas actividades agrícolas con ganaderas que sean atribuibles al cambio climático (Mendelsohn y Dinar, 2009). Es por ello que dicha estimación es compleja y está relacionada con variables no siempre observables. No obstante ello, existen algunas estimaciones como por ejemplo Nelson et al. (2009) que calcula el costo de adaptación a partir del número de niños desnutridos⁴; Los autores calculan que para América Latina y el Caribe es necesaria una inversión de 1.2 miles de millones de dólares (en dólares del año 2000) por año al 2050 para evitar el aumento de la incidencia de la desnutrición infantil que generaría el cambio climático (Nelson y otros, 2009).

B. Sector hídrico

Las modificaciones en los patrones de precipitación y, en menor medida el aumento en la temperatura promedio, consecuencia del cambio climático tendrán importantes implicaciones para la disponibilidad de agua. En efecto, se proyecta que el cambio climático genere modificaciones al ciclo de agua, lo que incluye variaciones en la distribución, el ritmo y la intensidad de las precipitaciones y cambios en el ritmo de los flujos estacionales de agua (Dawson y Spannagle, 2009; IPCC, 2007a) asimismo, se espera una reducción paulatina de la extensión de los glaciares. Bajo estas proyecciones la disponibilidad hídrica para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico se verían afectada (IPCC, 2007a).

La estimación de los potenciales impactos del cambio climático sobre el sector hídrico es ciertamente compleja y tiene, desde luego, un alto grado de incertidumbre. La estimación de los impactos debe considerar los efectos sobre la oferta y la demanda de agua del cambio climático y basarse en la construcción de un escenario base. Así, la estimación de la demanda del recurso hídrico se puede realizar con una especificación estándar de demanda (Deaton y Muellbauer, 1980; Varian, 1992); esto es, considerando el consumo de agua como función del nivel de gasto o ingreso, los precios relativos del agua y otras variables relevantes como la población (Galindo, 2009). La estimación de las funciones de demanda permite identificar la trayectoria del consumo en el futuro. La estimación de la disponibilidad de agua deben considerar principalmente las proyecciones en los patrones de precipitación y los cambios en la temperatura, asimismo, puede ser construida a partir de una extensión del comportamiento histórico de la serie. Comparando el nivel de demanda con la disponibilidad es posible obtener una aproximación al grado de estrés sobre los recursos hídricos.

Los modelos de proyección de la disponibilidad futura de agua deben considerar variables tales como los niveles de precipitación y de evapotranspiración y sus modificaciones potenciales como consecuencia del cambio climático. La estimación de la evapotranspiración supone considerar las complejas interacciones entre los sistemas suelo-plantas-atmósfera. Esto implica evaluar la radiación solar, el déficit de la presión del vapor, la humedad relativa, la velocidad del viento, la temperatura del aire, la naturaleza de la superficie de evaporación (localización geográfica, época del año) y la escala de tiempo considerada (análisis de la evaporación horaria, diaria, estacional, mensual, o anual) (IPCC, 2007a). El procedimiento de evaluación de la evapotranspiración utiliza diversas ecuaciones de balance hídrico y modelos con información fisiográfica, meteorológica e hidrométrica detallada. La disponibilidad total de agua renovable es el volumen de agua repuesto cada año por la precipitación menos el que se pierde por evapotranspiración en un territorio determinado (balance hídrico). Este volumen es el que escurre o se almacena en cuerpos superficiales, o bien recarga los acuíferos y puede

⁴ En efecto, Nelson y otros, (2009) asumen que un objetivo del sector público es invertir en mejoras de la productividad agrícola (investigación, expansión, eficiencia, caminos rurales) para evitar el aumento en el número de niños con desnutrición que se produciría a partir de las pérdidas en la agricultura generados por el cambio climático. La línea base de la estimación corresponde entonces al número de niños con desnutrición existente sin cambio climático.

ser fácilmente usado. Este cálculo no ajusta necesariamente la disponibilidad del agua ya que debe considerarse además movimientos fronterizos. Para ilustrar este cálculo, en forma simplificada, se puede utilizar, entre otros métodos, la ecuación siguiente (Turc, 1954):

$$D = [P - E] * A * F$$

$$E = \frac{P}{\left[0.9 + \left(\frac{P}{\varphi}\right)^2\right]^{0.5}}$$

Donde:

$$\varphi = 300 + 25T + 0.05T^3$$

D = Disponibilidad (m³/año)

P= Precipitación acumulada anual (mm/año)

T= Temperatura (oC)

A=Superficie (Km²)

F=Factor conversión igual a 1,000

Ambas ecuaciones permiten estimar la disponibilidad de agua en un escenario base sin cambio climático y otros con cambio climático. La disponibilidad del escenario base se calcula con base en el promedio de los años de datos históricos de lluvia acumulada por año y de la temperatura media anual. La disponibilidad con cambio climático se puede estimar con el promedio simple de lluvia acumulada y el de la temperatura media anual con los diferentes escenarios. Los cálculos consideran la disponibilidad por país o región. Por ello debe tenerse presente que no se incluyen los ajustes derivados de los flujos recibidos de las cuencas transfronterizas (Galindo, 2009).

Con base en los resultados de la disponibilidad natural y la demanda de agua y considerando los cambios en temperatura y precipitación debidos al cambio climático, es factible obtener, por ejemplo, un índice de vulnerabilidad en el consumo de agua (Mendoza *et al.* 2006) que se define como:

$$I_t = (\text{CONA}_t/Q)*100$$

Donde I_t = Valor del Índice para el año t; CONA_t = el consumo total de agua del año t; Q = es la disponibilidad natural. Así, Mendoza *et al.* (2006) proponen la siguiente clasificación:

$I_t < 20\%$ No vulnerable

$20\% < I_t < 50\%$ Vulnerabilidad baja

$50\% < I_t < 75\%$ Vulnerabilidad moderada

$I_t > 75\%$ Vulnerabilidad alta

Se estima que en América Latina y el Caribe alrededor de 6% de la población no tiene acceso a agua potable (WHO y UNICEF, 2012). En este contexto, se espera que el cambio climático intensifique estas condiciones. Se estima además que, bajo distintos escenarios de emisiones, en la región entre 12 y 81 millones de personas experimenten estrés hídrico en 2020, ello se incrementará a entre 79 y 178 millones de personas en 2050 (Arnell, 2004; IPCC, 2007b).

Un importante fenómeno relacionado con el ciclo hidrológico es la existencia de eventos extremos, tales como inundaciones. Por ejemplo, entre 1930 y 2008, Centroamérica registró 248 eventos extremos relevantes, donde las inundaciones, tormentas y desplazamientos de tierra fueron alrededor de 85% de dichos eventos, mientras que las sequías representaron el 9% (CEPAL, 2010).

Las estimaciones de los costos económicos del sector hídrico para la región ascienden a mil millones de dólares de 2002 ante un aumento de 1°C en la temperatura (Tol, 2002). Mientras tanto, los costos anuales de adaptación se estiman entre 3.2 y 5.5 mil millones de dólares de 2005 a 2050 (World Bank, 2010).

C. Salud

El cambio climático tiene, en general, efectos adversos sobre la salud humana, sin embargo, estos son heterogéneos y varían dependiendo de los grupos poblacionales y las regiones. Los grupos que se verán más afectados serán aquellos que presentan menor capacidad de adaptación, en particular los países y regiones de bajos ingresos (IPCC, 2007b). Así, los impactos en salud asociados a los aumentos de la temperatura se relacionan con el incremento de las olas de calor, mientras que aquellos relacionados con la modificación de los patrones de precipitación cambiarán, a su vez, la distribución geográfica de enfermedades tales como la malaria y el dengue (WHO, et al., 2008). El incremento de eventos climáticos extremos tales como las inundaciones elevan el riesgo de diversas enfermedades como la diarrea, por otro lado, la mayor presencia de sequías genera mayores riesgos de incidencia de enfermedades relacionadas con la baja disponibilidad de agua, así como los impactos negativos sobre la seguridad alimentaria (IPCC, 2007b).

Los impactos del cambio climático sobre la salud se transmiten a través de distintos canales en donde destacan (McMichael, 1993; Schwartz, et al., 1997; Checkley, et al., 2000; Patz, et al., 2000; Cifuentes, et al. 2001; McMichael and Githeko 2001; WHO 2001; and Riojas, et al., 2006;):

- Proliferación de enfermedades tales como la malaria y el dengue.
- El aumento de la temperatura incide sobre la conservación de los alimentos.
- El aumento de olas de calor.
- Existe evidencia de que la mortalidad cardiaca prematura, neumonía, asma, enfermedades pulmonares y respiratorias que aumenta debido a las concentraciones de ozono en las áreas urbanas.

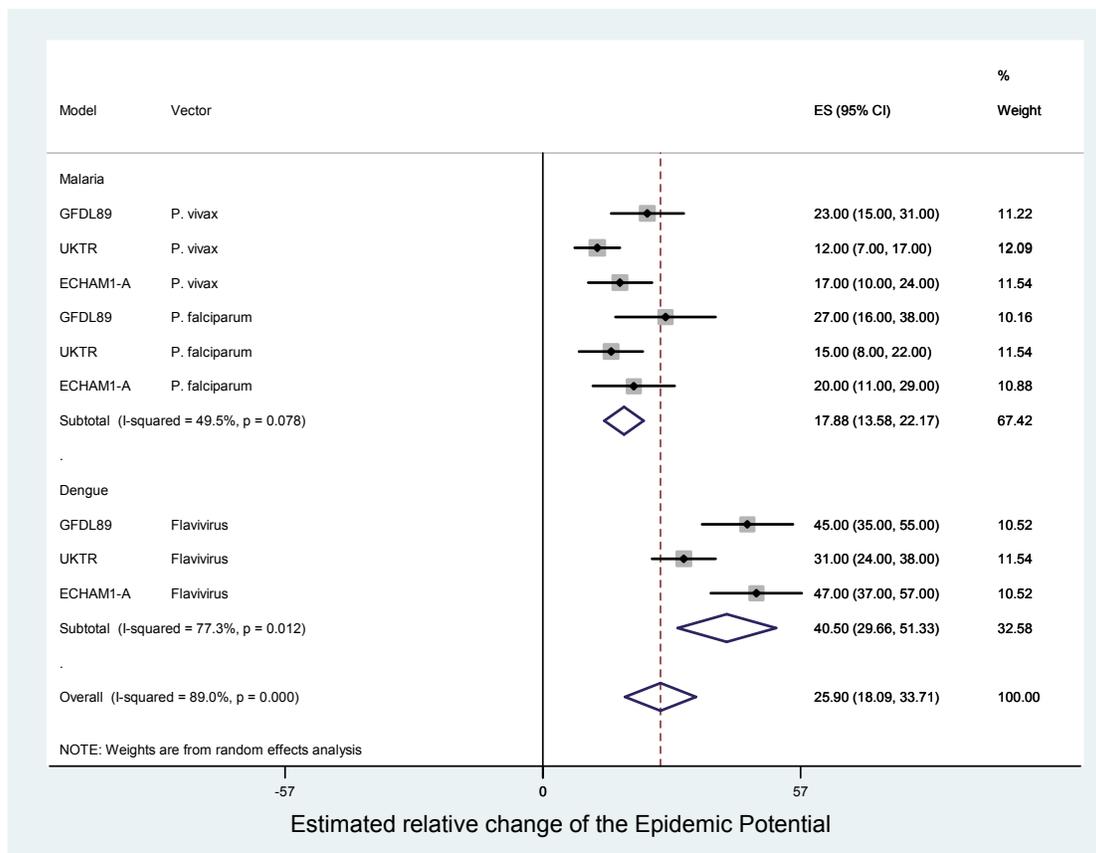
Existen dos métodos principales para elaborar un análisis de los impactos en salud. El primero se basa en la medición directa de los impactos, sin embargo, la carencia de información y estudios concretos para varias regiones o países, y para varios tipos de enfermedades hacen, en general, este método costoso. Por otra parte, es posible realizar una medición indirecta a través del uso de la técnica de meta-análisis que hace una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre los efectos de los cambios en la temperatura y precipitación con la salud humana. A partir del meta-análisis⁵ es posible vincular el efecto del cambio climático con la salud humana, ya que es posible simular los cambios en dichas variables ante cambios en la temperatura, de los patrones de precipitación y de los eventos extremos.

Por ejemplo, con el meta-análisis es posible reunir los resultados de varias investigaciones sobre la medición de la sensibilidad de la malaria y el dengue al cambio climático (véase el gráfico 7). Estos estudios utilizan modelos de circulación general para predecir en qué porcentaje se modifica el potencial epidémico de ambas enfermedades en las regiones con alto riesgo, tales como África, el

⁵ El meta análisis es un método estadístico que integra resultados de diferentes estudios independientes con la finalidad de producir inferencias más precisas que los estudios individuales y, en algunos casos, identificar la fuente de heterogeneidad de los resultados obtenidos en los distintos estudios (Borenstein, et al 2009, Saenz, et al, 2001, Schwartz, 1994 y Glass et al, 1981). El estimador del efecto combinado que se obtiene del meta-análisis es una medida ponderada de la magnitud de de los efectos encontrados en cada estudio donde las ponderaciones individuales se asignan de acuerdo a su precisión (varianza o error estándar) (Sterne, 2009).

Sudeste Asiático, Centro y Sudamérica. Así, por ejemplo, el resultado de la meta-análisis sugiere que el cambio climático aumenta el potencial epidémico de la malaria y del dengue.

GRÁFICO 7
EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL POTENCIAL EPIDÉMICO
DE LA MALARIA Y EL DENGUE

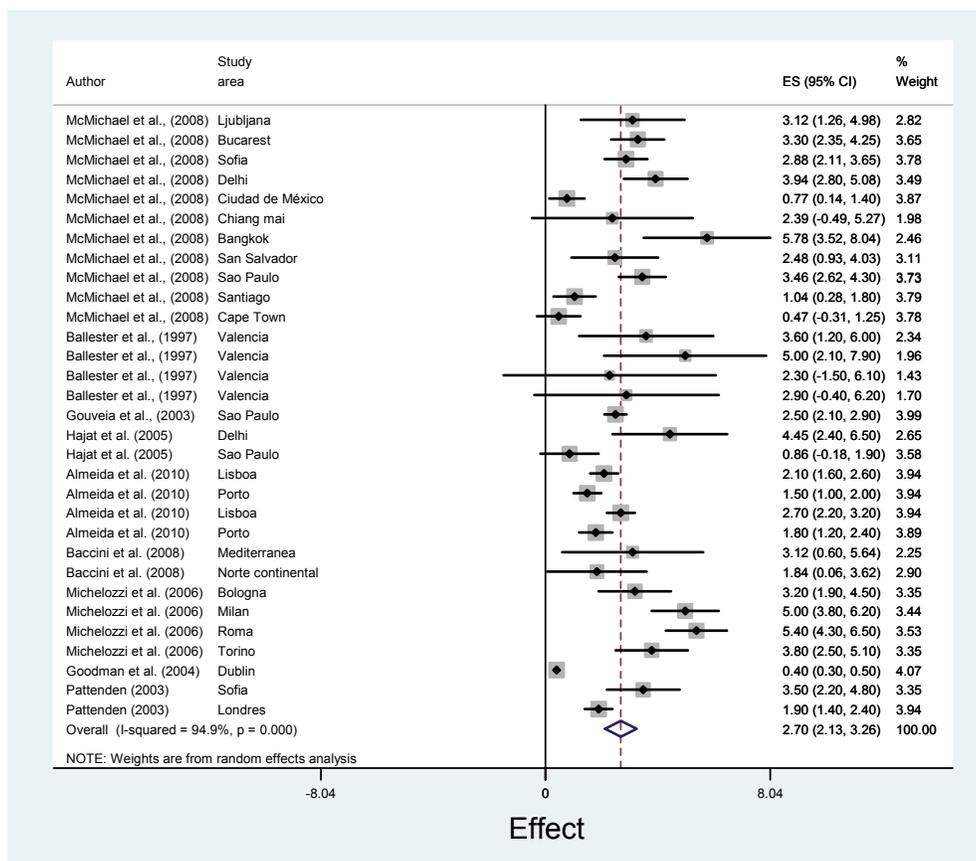


Fuente: CEPAL (2012) basado en información de la OMS.

Nota: Las gráficas de bosque (forest plot) muestran los efectos del cambio climático en el potencial epidémico de la malaria y el dengue estimado en diversos estudios para África, Sudeste de Asia y Centro y Sudamérica. El efecto agregado se obtiene a través de una media ponderada por la varianza de los estudios.

Asimismo, a partir de un análisis de los estudios de ondas de calor, se sugiere que el aumento de la temperatura de 1°C se puede relacionar con un aumento de la tasa de mortalidad de 2.7% (véase el gráfico 8).

GRÁFICO 8
EFFECTOS DE LA ONDA DE CALOR SOBRE LA MORTALIDAD



Fuente: CEPAL (2012) basado en información de la OMS.

Nota: Las gráficas de bosque (forest plot) muestran los efectos del cambio climático en el potencial epidémico de la malaria y el dengue estimado en diversos estudios para África, Sudeste de Asia y Centro y Sudamérica. El efecto agregado se obtiene a través de una media ponderada por la varianza de los estudios.

III. Análisis económico y social

Las emisiones de gases invernadero (GEI) y su relación con las fuentes de emisiones son el resultado de un complejo sistema dinámico, con rezagos y costos de ajuste importantes que además está sujeto a distintos tipos de *shocks*. En principio, los modelos de cambio climático asocian las emisiones a factores económicos tales como la evolución del producto y su composición, el crecimiento demográfico, la tecnología disponible y sus formas de innovación e incluso de elementos sociales y culturales (Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997 y IPCC, 1996). No obstante ello, existe un intenso debate sobre las formas, las magnitudes y las elasticidades de esta relación entre emisiones de GEI y los procesos económicos.

De este modo, es posible identificar las emisiones por sectores de actividad económica y sus consumos de energía respectivos. Un marco general para formular las relaciones entre emisiones, consumo de energía, producto y población puede realizarse de acuerdo a la conocida identidad de Kaya (1989) o IPAT (O'Neill *et al.*, 2003, Perman, *et al.*, 2003 y Yamaji, *et al.*, 1991). Esta identidad permite dar un marco conceptual para elaborar tanto un escenario base (BAU) como escenarios alternativos a través de descomponer la contribución a las emisiones en aquellas asociadas a población, al producto per cápita, a la tecnología y al consumo de energía (Bongaart, 1992, Stern 2007).

Así, la identidad de Kaya (Kaya, 1990), sintetizada en las ecuaciones (1) y (2), indican que las emisiones de CO₂ están determinadas por las trayectorias de la población, el ingreso per cápita, y las razones de energía y PIB y de emisiones a consumo de energía:

$$CO_{2t} = Población_t * \left[\frac{PIB_t}{Población_t} \right] * \left[\frac{Energía_t}{PIB_t} \right] * \left[\frac{CO_{2t}}{Energía_t} \right]$$

$$\Delta CO_{2t} = \Delta Población_t + \Delta \left[\frac{PIB_t}{Población_t} \right] + \Delta \left[\frac{Energía_t}{PIB_t} \right] + \Delta \left[\frac{CO_{2t}}{Energía_t} \right]$$

La identidad de Kaya permite, trazar a nivel muy general, la elaboración de escenarios de emisión bajo distintos supuestos de crecimiento poblacional, económico y de las razones de energía a PIB y de emisiones a energía. Ello permite proyectar distintas sendas de emisiones para un país o región en particular, así como establecer los posibles escenarios de mitigación. Estos escenarios deben desde luego completarse con modelos de energía más sofisticados.

A. Sector energético

El sector fundamental para los planes de mitigación de las economías es el sector energético ya que las emisiones de GEI están directamente vinculadas al consumo de combustibles fósiles (IPCC, 2007a; CEPAL, 2010).

El análisis de diferentes medidas de política pública en sector energético con el objetivo de mitigación implica la construcción de trayectorias tendenciales o escenarios base tanto de la oferta como de demanda de los distintos componentes del sector tales como la energía eléctrica, las gasolinas y naftas, los querosenos, el diesel, el combustóleo, el gas natural o el gas licuado de petróleo y el carbón. Esto con la finalidad de comparar el escenario base con respecto a los distintos escenarios de política. Las políticas pueden representar cambios en los precios relativos de los energéticos, disminución de los subsidios al consumo o creación de regulaciones para aumentar la eficiencia en la utilización de la energía.

Al igual que en el sector agrícola, la construcción del escenario base o tendencial futuro requiere tomar en cuenta factores que influyen sobre la demanda tales como el aumento de la población, el crecimiento económico, el cambio en la composición de la estructura económica de los países y los cambios en los precios relativos de los energéticos, en los bienes sustitutos y complementarios. También es relevante considerar la evolución de los sectores con alto consumo de combustibles tales como el sector transporte. Asimismo, es importante considerar la evolución potencial de la matriz energética y factores de oferta.

Existen dos enfoques fundamentales, los modelos *top-down* y *bottom-up*, los cuales permiten examinar los vínculos entre la economía y los sectores emisores de GEI, como por ejemplo, el sector energético. Los modelos *top-down* evalúan el sistema a través de variables económicas agregadas, mas desde un punto de vista macro-económico, mientras que, los modelos *bottom-up* consideran distintas opciones tecnológicas o políticas de mitigación específicas de cada proyecto y se construyen desde abajo tendiendo a las características tecnológicas (IPCC, 2001).

Una opción comúnmente utilizada es la construcción de escenarios con base en la especificación y estimación de distintos modelos econométricos. Por ejemplo, la demanda de energía a nivel nacional puede ser estimada como función del ingreso o PIB per cápita del país y los precios relativos de la energía. Con dicho modelo es posible obtener el impacto general de un cambio en los precios relativos de la energía o del nivel de ingresos; de esta forma es posible simular, por ejemplo, la aplicación de un impuesto a la energía a través de la modificación de los precios relativos.

Asimismo, la construcción de modelos de demanda por sectores permite simular políticas específicas; por ejemplo, en el sector transporte una función de particular importancia es la demanda de gasolina, la cual es una demanda derivada de las necesidades de transporte de la población. Una posible especificación de la demanda de gasolinas (g_t) implica relacionarla con el nivel de ingreso del país, región o agente económico (y_t), los precios relativos de la gasolina (p_t) y con el conjunto de bienes y servicios sustitutos y otros factores adicionales (X_{it}), tales como la existencia de alternativas de transporte (Dahl, 2011; Sterner, 2007). De esta manera una posible especificación del consumo de gasolinas se resume en la ecuación siguiente:

$$g_t = \beta_0 + \beta_1 y_t + \beta_2 p_t + \sum_{i=3}^k \beta_i X_{it} + u_t$$

Las estimaciones pueden ser realizadas a partir de métodos econométricos tradicionales que consideran el orden de integración de las series (Patterson, 2000; Maddala y Kim, 1998) y las relaciones de cointegración (Johansen, 1988; Engle y Granger, 1987). Asimismo, dependiendo de la disponibilidad de los datos es posible construir estos modelos utilizando información de las encuestas de ingreso gasto de los agentes con la finalidad de conocer los impactos de las distintas estrategias por

quintil de ingreso (Koenker, 2005). A partir de las estimaciones es posible obtener inferencias sobre la sensibilidad de la demanda de gasolina u otro energético como la electricidad, diesel, gas natural, etc., al cambio en los precios relativos, el ingreso o a la aplicación de normas sobre eficiencia; además, es posible obtener simulaciones y pronósticos relativamente razonables.

En este contexto, resulta además importante construir escenarios sobre la evolución de la oferta energética. Ello implica identificar sus principales determinantes en términos de la disponibilidad de los tipos de energía, las tecnologías disponibles y los incentivos económicos. Un ejemplo de modelo de proyección energética es el modelo WEM (*World Energy Model*) de la Agencia internacional de Energía⁶ que incluye tres módulos: oferta de combustibles fósiles, para petróleo, gas y carbón respectivamente. La oferta de petróleo se estima a través de un enfoque parcial *bottom up*, utilizando la información histórica por país, los perfiles de producción y estimaciones de tasas de decrecimiento de los yacimientos. Asimismo, incorpora información sobre los nuevos yacimientos descubiertos y potenciales yacimientos existentes y la viabilidad económica de su explotación.

Los costos de adaptación del sector salud se pueden evaluar a partir del costo de tratamiento de los casos adicionales de malaria, dengue o diarrea propiciados por el cambio climático (UNFCCC, 2007). Ebi (2008) estima que el costo en 2030 de tratar los casos adicionales de desnutrición, diarrea y malaria en América Latina se encuentra entre los 23 y 65 millones de dólares de 2007. Sin embargo, es importante notar que existen medidas de prevención que resultan costo efectivas las cuales tiene importantes co-beneficios en sectores no relacionados con el cambio climático (Bosello, Carraro y Cian, 2009).

B. Biodiversidad

Las actividades humanas han causado pérdidas en biodiversidad⁷, principalmente a través de la deforestación y el cambio de uso de suelo, la contaminación y degradación del agua y de los suelos, la desertificación, y la contaminación del aire; asimismo, el desvío de las aguas hacia predios agrícolas, industriales y/o sistemas urbanos; la fragmentación del hábitat, la explotación selectiva de especies; la introducción de especies no autóctonas, y el agotamiento del ozono estratosférico (IPCC, 2002). Se espera entonces que el cambio climático ejerza una presión adicional sobre la biodiversidad, se estima, por ejemplo, que la resiliencia de una cantidad significativa de los ecosistemas será excedida para el 2100 y que entre el 20 o el 30 por ciento de las especies se encuentren en peligro de extinción en el caso de que el aumento de temperatura sobrepase los 2°C o 3°C (IPCC, 2007b), estos efectos se verán exacerbados ante mayores aumentos de la temperatura (IPCC, 2007b).

La valuación económica de la biodiversidad y de los impactos del cambio climático sobre ésta es una tarea compleja, ya que involucra la asignación de precios en un entorno donde, en general, no existe mercado o precios observables (MA, 2005). Sin embargo, es posible asignar un valor o precio a los servicios que se obtienen de la biodiversidad; estos servicios, que se les conoce como ecosistémicos (SE) y son aquellos que contribuyen directa o indirectamente al bienestar humano incluyendo aquellos beneficios que proporcionan los sistemas ecológicos a los hogares, comunidades y a la economías (MA, 2005; Costanza y otros, 1998; Daily, 1997). Los SE pueden ser clasificados en cuatro categorías principales (MA, 2005):

1. Provisión de servicios o productos. Incluye los productos obtenidos de los ecosistemas, por ejemplo, provisión de agua, alimentos y fibras, combustibles, recursos genéticos, bioquímicos, productos farmacéuticos, productos ornamentales, etc.

⁶ [https://www.iea.org/media/weowesite/energymdoel/WEM Methodology WEO2011.pdf](https://www.iea.org/media/weowesite/energymdoel/WEM%20Methodology%20WEO2011.pdf).

⁷ La biodiversidad o diversidad biológica se define como “la variabilidad entre los organismos vivos de todas las fuentes, incluyendo, entre otros, los organismos terrestres, marinos y de otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas” (UNEP, 1992).

2. Servicios de regulación. Son los beneficios obtenidos a partir de la regulación de los procesos ecosistémicos. Por ejemplo, el mantenimiento de la calidad del aire a partir de los procesos de extracción y envío de químicos a la atmósfera por parte del ecosistema; la regulación climática; la regulación del ciclo hidrológico y la purificación del agua, así como el tratamiento de residuos en ésta; el control de la erosión; la regulación de enfermedades humanas a través del control de la cantidad de agentes patógenos; control biológico, como por ejemplo la incidencia de pestes en los cultivos y el ganado; la polinización y la protección contra las tormentas.
3. Servicios culturales. Estos incluyen el disfrute estético o la apreciación de la biodiversidad en un contexto cultural (Spash, *et al.*, 2006); como por ejemplo, la diversidad cultural, los valores espirituales o religiosos, los sistemas de conocimiento, herencia cultural, la recreación y el ecoturismo, etc.
4. Servicios de soporte o de hábitat. Estos servicios son aquellos necesarios para la producción del resto de los servicios ecosistémicos. Estos servicios tienden a ser servicios indirectos y de largo plazo, como por ejemplo, la formación de suelos, la producción de oxígeno, los ciclos de nutrientes, el ciclo hidrológico y la provisión del hábitat (MA, 2005).

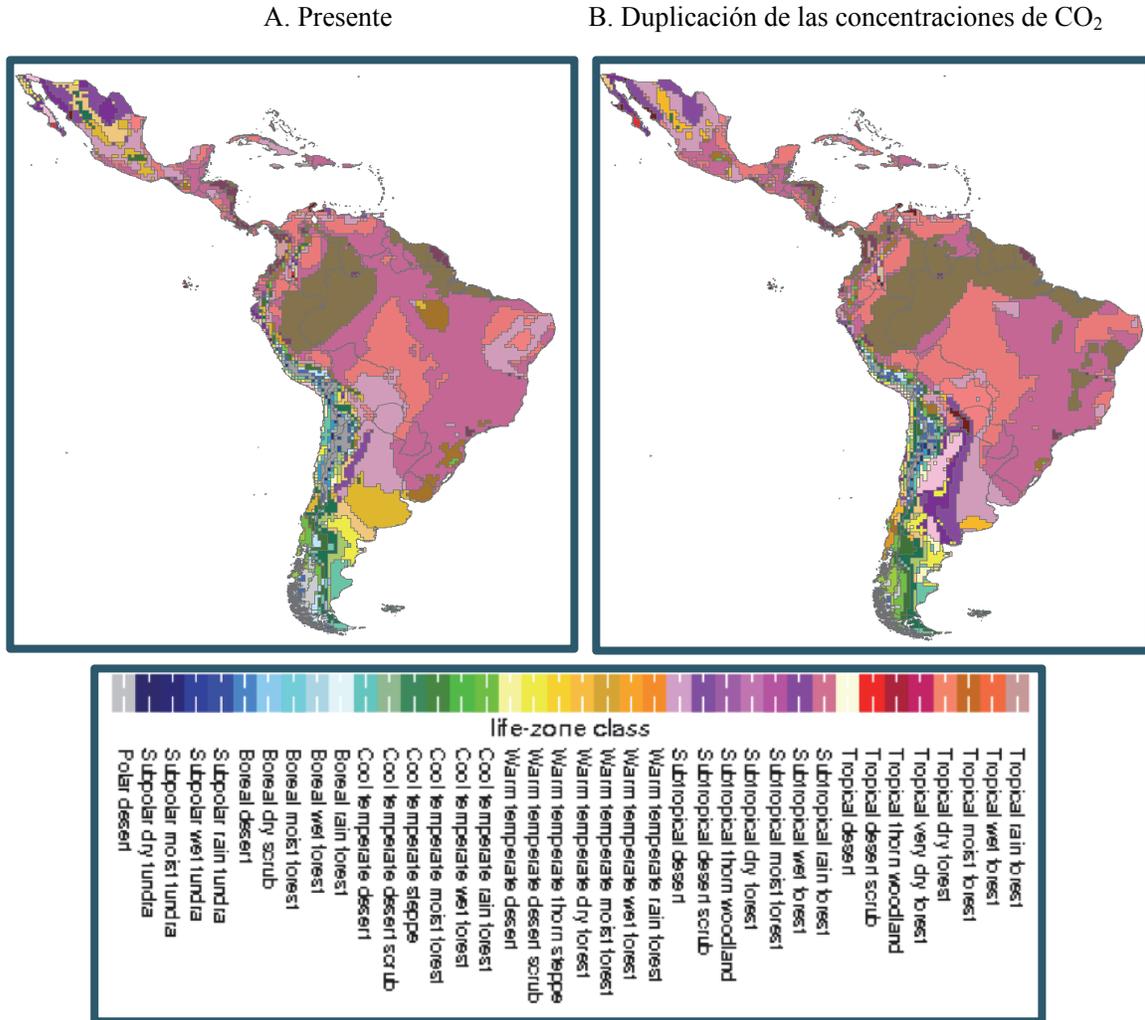
Los métodos de valuación de la biodiversidad son variados, y dependen del contexto específico en el que sean utilizados, esto es, dependerán del tipo de bien o servicio a ser valuado, así como de la calidad y cantidad de la información existente (Economics and Funding SIG, 2007). Por ejemplo, para el caso de bienes o servicios para los cuales existe un precio de mercado, estos pueden ser ajustados para representar el precio social o sombra. Así, una posibilidad para estimar el valor de la biodiversidad es a través de estimar los cambios en la productividad relacionados con los cambios en la biodiversidad, incluyéndola como un factor adicional en un modelo de función de producción (Bockstael y McConnell, 2010). Una posibilidad adicional, es considerar el monto de inversión pública destinada en la conservación de ecosistemas como una aproximación a su valor social (Economics and Funding SIG, 2007).

En el caso en que no existan precios de mercado, existen varios enfoques entre los cuales destacan aquellos basados en preferencias reveladas, de preferencias establecidas y enfoques basados en costos (Economics and Funding SIG, 2007). Los enfoques relacionados con preferencias reveladas, se basan en inferir el valor de los SE a través de mercados asociados; en esta categoría se encuentra el método de costo de viaje. El método de costo de viaje tiene como objetivo valuar un atributo ambiental mediante la observación del costo adicional en que el usuario desea incurrir para recrearse en el lugar con los atributos ambientales preferidos (Conrad, 2010), otros métodos bajo el enfoque de preferencias reveladas son los modelos de utilidad aleatoria, los modelos de precios hedónicos, etc. (Bockstael y McConnell, 2010). El método más utilizado dentro del enfoque de preferencias establecidas es el de valuación contingente (Carson, 2012; Conrad, 2010; Freeman III, Herriges y Kling, 2003). Este método emplea encuestas donde los individuos directamente establecen su disponibilidad a pagar por ciertos atributos o el nivel de compensación que un individuo requeriría en caso de perder cierto atributo. Finalmente, los enfoques basados en costos, infieren el valor de un recurso natural a través del monto en que se incurre para reemplazarlo o restaurarlo.

Un enfoque adicional para medir los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad, es el enfoque de Zonas de vida de Holdridge (ZVH) (Holdridge, 1967; Leemans, 1990), el cual es un sistema de clasificación para de las zonas terrestres en función del esquema climático. Esto es, las ZVH describen una combinación de climas con tipos de vegetación, bajo condiciones climáticas “normales” (Leemans, 1990). Por tanto, es posible conocer cómo cambiarían las ZVH a partir de cambios en las condiciones climáticas resultantes del calentamiento global. Una de las principales características de este enfoque son los bajos requerimientos de información (temperatura, y precipitación anual promedio, elevación, etc.). Finalmente, es posible asociar pérdidas en cada una de las ZVH con sus pérdidas económicas a partir de un meta análisis del valor económico de la biodiversidad en la literatura (IADB, ECLAC y WWF, 2012).

Las ZVH fueron calculadas para América Latina considerando la situación actual y ante el cambio climático resultante de una duplicación de las concentraciones atmosféricas de CO₂ (IADB, ECLAC y WWF, 2012). La valuación de las ZVH para la región a través de un meta análisis, fue de 344 mil millones de dólares y los cambios del cambio climático pueden significar una pérdida económica de alrededor de 36 mil millones de dólares para la región (IADB, ECLAC y WWF, 2012). Esta pérdida monetaria subvalúa las consecuencias potenciales de las pérdidas en biodiversidad pero sirve para ilustrar este efecto.

DIAGRAMA 2
ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE EN AMÉRICA LATINA



Fuente: (IADB, ECLAC y WWF, 2012).

C. Impactos sociales: pobreza y cambio climático

Una primera aproximación al análisis de los impactos potenciales del cambio climático sobre la pobreza, a través de la evolución del sector agrícola, puede basarse en la conocida hipótesis de crecimiento a favor de los pobres (*pro poor growth*). Esto es, el crecimiento económico del sector agrícola reduce la pobreza pero al mismo tiempo el cambio climático incide sobre el ritmo de crecimiento del sector agrícola. De este modo, el cambio climático, a través del ritmo de crecimiento del sector agrícola, incide sobre la evolución de la pobreza. Así, a partir de la estimación de la elasticidad del ingreso a la pobreza, es posible relacionar las pérdidas potenciales del sector agrícola, consecuencia del cambio climático, como un retraso en la reducción del número de pobres o como caídas netas en reducción en la pobreza (Galindo, Samaniego, Alatorre, Ferrer, 2013).

La relación entre pobreza y crecimiento económico puede analizarse a través de la descomposición desarrollada por Datt y Ravallion (1992) donde los cambios en la pobreza se pueden descomponer en una forma flexible que incluye un componente atribuible al crecimiento de la media del ingreso, en un componente de la distribución del ingreso y a otras variables de control y un residual (Ravallion y Datt, 1996; Adams Jr., 2004; Ravallion y Chen, 2007, 2003, 1997):

$$\frac{dP_t}{dt} = \frac{\partial P_t}{\partial Y_t} \frac{dY_t}{dt} + \frac{\partial P_t}{\partial G_t} \frac{dG_t}{dt} + \varphi_t$$

Donde P_t representa el índice de pobreza, Y_t denota a la variable de ingreso (PIB per cápita o ingreso/consumo medio por persona), G_t es una variable que mide la distribución del ingreso (por ejemplo el índice de Gini). La variable φ_t es un residual.

De este modo, es posible estimar la variación de los índices de pobreza ante cambios en el ingreso y en la distribución de éste y por esta vía identificar los efectos del cambio climático sobre la pobreza. Ello representa, desde luego, solo un canal posible.

IV. Mitigación

Las emisiones de gases invernadero (GEI) y su relación con las fuentes de emisiones son el resultado de un complejo sistema dinámico, con rezagos y costos de ajuste importantes que además está sujeto a distintos tipos de *shocks*. En principio, los modelos de cambio climático asocian las emisiones a factores económicos tales como la evolución del producto y su composición, el crecimiento demográfico, la tecnología disponible y sus formas de innovación e incluso de elementos sociales y culturales (Mabey, Hall, Smith y Gupta, 1997 y IPCC, 1996). No obstante ello, existe un intenso debate sobre las formas, las magnitudes y las elasticidades de esta relación entre emisiones de GEI y los procesos económicos.

De este modo, es posible identificar las emisiones por sectores de actividad económica y sus consumos de energía respectivos. Un marco general para formular las relaciones entre emisiones, consumo de energía, producto y población puede realizarse de acuerdo a la conocida identidad de Kaya (1989) o IPAT (O'Neill *et al.*, 2003, Perman, *et al.*, 2003 y Yamaji, *et al.*, 1991). Esta identidad permite dar un marco conceptual para elaborar tanto un escenario base (BAU) como escenarios alternativos a través de descomponer la contribución a las emisiones en aquellas asociadas a población, al producto per cápita, a la tecnología y al consumo de energía (Bongaart, 1992, Stern 2007).

Así, la identidad de Kaya (Kaya, 1990), sintetizada en las ecuaciones (1) y (2), indican que las emisiones de CO₂ están determinadas por las trayectorias de la población, el ingreso per cápita, y las razones de energía y PIB y de emisiones a consumo de energía:

$$(1) \quad CO_{2t} = Población_t * \left[\frac{PIB_t}{Población_t} \right] * \left[\frac{Energía_t}{PIB_t} \right] * \left[\frac{CO_{2t}}{Energía_t} \right]$$

$$(2) \quad \Delta CO_{2t} = \Delta Población_t + \Delta \left[\frac{PIB_t}{Población_t} \right] + \Delta \left[\frac{Energía_t}{PIB_t} \right] + \Delta \left[\frac{CO_{2t}}{Energía_t} \right]$$

La identidad de Kaya permite, trazar a nivel muy general, la elaboración de escenarios de emisión bajo distintos supuestos de crecimiento poblacional, económico y de las razones de energía a PIB y de emisiones a energía. Ello permite proyectar distintas sendas de emisiones para un país o región en particular, así como establecer los posibles escenarios de mitigación. Estos escenarios deben desde luego completarse con modelos de energía más sofisticados.

A. Sector energético

El sector fundamental para los planes de mitigación de las economías es el sector energético ya que las emisiones de GEI están directamente vinculadas al consumo de combustibles fósiles (IPCC, 2007a; CEPAL, 2010).

El análisis de diferentes medidas de política pública en sector energético con el objetivo de mitigación implica la construcción de trayectorias tendenciales o escenarios base tanto de la oferta como de demanda de los distintos componentes del sector tales como la energía eléctrica, las gasolinas y naftas, los querosenos, el diesel, el combustóleo, el gas natural o el gas licuado de petróleo y el carbón. Esto con la finalidad de comparar el escenario base con respecto a los distintos escenarios de política. Las políticas pueden representar cambios en los precios relativos de los energéticos, disminución de los subsidios al consumo o creación de regulaciones para aumentar la eficiencia en la utilización de la energía.

Al igual que en el sector agrícola, la construcción del escenario base o tendencial futuro requiere tomar en cuenta factores que influyen sobre la demanda tales como el aumento de la población, el crecimiento económico, el cambio en la composición de la estructura económica de los países y los cambios en los precios relativos de los energéticos, en los bienes sustitutos y complementarios. También es relevante considerar la evolución de los sectores con alto consumo de combustibles tales como el sector transporte. Asimismo, es importante considerar la evolución potencial de la matriz energética y factores de oferta.

Existen dos enfoques fundamentales, los modelos *top-down* y *bottom-up*, los cuales permiten examinar los vínculos entre la economía y los sectores emisores de GEI, como por ejemplo, el sector energético. Los modelos *top-down* evalúan el sistema a través de variables económicas agregadas, mas desde un punto de vista macro-económico, mientras que, los modelos *bottom-up* consideran distintas opciones tecnológicas o políticas de mitigación específicas de cada proyecto y se construyen desde abajo tendiendo a las características tecnológicas (IPCC, 2001).

Una opción comúnmente utilizada es la construcción de escenarios con base en la especificación y estimación de distintos modelos econométricos. Por ejemplo, la demanda de energía a nivel nacional puede ser estimada como función del ingreso o PIB per cápita del país y los precios relativos de la energía. Con dicho modelo es posible obtener el impacto general de un cambio en los precios relativos de la energía o del nivel de ingresos; de esta forma es posible simular, por ejemplo, la aplicación de un impuesto a la energía a través de la modificación de los precios relativos.

Asimismo, la construcción de modelos de demanda por sectores permite simular políticas específicas; por ejemplo, en el sector transporte una función de particular importancia es la demanda de gasolina, la cual es una demanda derivada de las necesidades de transporte de la población. Una posible especificación de la demanda de gasolinas (g_t) implica relacionarla con el nivel de ingreso del país, región o agente económico (y_t), los precios relativos de la gasolina (p_t) y con el conjunto de bienes y servicios sustitutos y otros factores adicionales (X_{it}), tales como la existencia de alternativas de transporte (Dahl, 2011; Sterner, 2007). De esta manera una posible especificación del consumo de gasolinas se resume en la ecuación siguiente:

$$g_t = \beta_0 + \beta_1 y_t + \beta_2 p_t + \sum_{i=3}^k \beta_i X_{it} + u_t$$

Las estimaciones pueden ser realizadas a partir de métodos econométricos tradicionales que consideran el orden de integración de las series (Patterson, 2000; Maddala y Kim, 1998) y las relaciones de cointegración (Johansen, 1988; Engle y Granger, 1987). Asimismo, dependiendo de la disponibilidad de los datos es posible construir estos modelos utilizando información de las encuestas de ingreso gasto de los agentes con la finalidad de conocer los impactos de las distintas estrategias por

quintil de ingreso (Koenker, 2005). A partir de las estimaciones es posible obtener inferencias sobre la sensibilidad de la demanda de gasolina u otro energético como la electricidad, diesel, gas natural, etc., al cambio en los precios relativos, el ingreso o a la aplicación de normas sobre eficiencia; además, es posible obtener simulaciones y pronósticos relativamente razonables.

En este contexto, resulta además importante construir escenarios sobre la evolución de la oferta energética. Ello implica identificar sus principales determinantes en términos de la disponibilidad de los tipos de energía, las tecnologías disponibles y los incentivos económicos. Un ejemplo de modelo de proyección energética es el modelo WEM (*World Energy Model*) de la Agencia internacional de Energía⁸ que incluye tres módulos: oferta de combustibles fósiles, para petróleo, gas y carbón respectivamente. La oferta de petróleo se estima a través de un enfoque parcial *bottom up*, utilizando la información histórica por país, los perfiles de producción y estimaciones de tasas de decrecimiento de los yacimientos. Asimismo, incorpora información sobre los nuevos yacimientos descubiertos y potenciales yacimientos existentes y la viabilidad económica de su explotación.

⁸ [https://www.iea.org/media/weowesite/energymdoel/WEM Methodology WEO2011.pdf](https://www.iea.org/media/weowesite/energymdoel/WEM%20Methodology%20WEO2011.pdf).

V. Conclusiones generales

El cambio climático impone retos al desarrollo de los países de América Latina. En este contexto, el análisis económico de los impactos y de las causas del cambio climático y de los efectos de las distintas políticas aplicadas ya sea de mitigación o adaptación, es una herramienta fundamental para la toma de decisiones.

Es importante reconocer la gran diversidad de enfoques y metodologías para la estimación y la evaluación tanto de los impactos del cambio climático como de las políticas públicas asociadas, y que estas no siempre llegan a la misma conclusión. Sin embargo, los análisis del cambio climático deben de considerar las características intrínsecas del cambio climático tales como que el cambio climático representa, desde una óptica económica, una externalidad negativa, que es un proceso de largo plazo y que contiene un alto nivel de incertidumbre. Ello tiene consecuencias sobre el tipo de análisis a realizar y puede ilustrarse a través de los análisis sectoriales en donde se observa la gran diversidad de técnicas y formas de abordar el tema. En este contexto, destaca la importancia que tiene la elaboración de líneas base que permite reconocer las pérdidas o ganancias por sector provenientes del cambio climático.

En todo caso es posible indicar que el análisis económico y social del cambio climático es un insumo fundamental para diseñar políticas públicas que permita transitar a los países de la región hacia un desarrollo sostenible.

Bibliografía

- Ackerman, F. y E. A. Stanton (2011), "Climate Economics: The State of the Art", *Stockholm Environment Institute (30 June 2011)*. Dr. Ackerman is director of the Climate Economics Group and Dr. Stanton is a senior economist at the Stockholm Environment Institute's US Center at Tufts University.
- Adams Jr., Richard H. (2004), "Economic Growth, Inequality and Poverty: Estimating the Growth Elasticity of Poverty", *World Development*, vol. 32, N°. 12, diciembre.
- Ahmed, Syud A, Noah S Diffenbaugh y Thomas W Hertel (2009), "Climate volatility deepens poverty vulnerability in developing countries", *Environmental Research Letters*, vol. 4, N°. 3, julio.
- Aldred, J. (2009), "Ethics and climate change cost-benefit analysis: Stern and after", *New Political Economy*, vol. 14, N°. 4.
- Angrist, Joshua D. y Jorn-Steffen Pischke (2008), *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*, Princeton University Press, diciembre.
- Arnell, N. W (2004), "Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios", *Global Environmental Change*, vol. 14, N°. 1.
- Boardman, Anthony y otros (2010), *Cost-Benefit Analysis (4th Edition)*, Prentice Hall, agosto.
- Bockstael, Nancy E. y Kenneth E. McConnell (2010), *Environmental and Resource Valuation with Revealed Preferences: A Theoretical Guide to Empirical Models*, Springer, diciembre.
- Bosello, Francesco, Carlo Carraro y Enrica De Cian (2009), "An Analysis of Adaptation as a Response to Climate Change", N°. 2009_26, Copenhagen Consensus Center.
- Brent, Robert J. (2008), *Applied Cost-Benefit Analysis, Second Edition*, Edward Elgar Publishing, marzo.
- Campbell, Harry F. y Richard P. C. Brown (2003), *Benefit-Cost Analysis: Financial and Economic Appraisal using Spreadsheets*, Cambridge University Press, junio.
- Carson, Richard T (2012), "Contingent Valuation: A Practical Alternative when Prices Aren't Available", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 26, N°. 4, noviembre.
- CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2010), *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Síntesis 2010*, Santiago, CEPAL.
- Cline, William R. (2007), *Global warming and agriculture: impact estimates by country*, Peterson Institute.
- Conrad, Jon M. (2010), *Resource Economics*, Cambridge University Press, junio.
- Costanza, R. y otros (1998), "The value of the world's ecosystem services and natural capital", *Ecological Economics*, vol. 25, N°. 1, abril.
- Daily, Gretchen C (ed.) (1997), *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*, Washington, DC, Island Press.
- Dawson, Brian y Matt Spannagle (2009), *The Complete Guide to Climate Change*, Routledge, enero.
- Deaton, Angus y John Muellbauer (1980), *Economics and Consumer Behavior*, Cambridge University Press, mayo.

- Ebi, Kristie L. (2008), "Adaptation costs for climate change-related cases of diarrhoeal disease, malnutrition, and malaria in 2030", *Globalization and health*, vol. 4, N° 9.
- Economics and Funding SIG (2007), "Valuing the Benefits of Biodiversity", England Biodiversity Strategy.
- Engle, R. F y C. W.J Granger (1987), "Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*.
- Fankhauser, Samuel (1995), *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*, Routledge, marzo.
- _____ (1994), "The social costs of greenhouse gas emissions: an expected value approach", *The Energy Journal*, vol. 15, N° 2.
- Feenstra, J. y otros (eds.) (1998), *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*, United Nations Environment Programme (UNEP), vrije Universiteit Amsterdam Institute for Environmental Studies, octubre.
- Fernandes, Erick C. M. y otros (2013), *Climate Change and Agriculture in Latin America, 2020-2050: Projected Impacts and Response to Adaptation Strategies*, World Bank Publications, febrero.
- Freeman III, Myrick, Joseph A. Herriges y Catherine L. Kling (2003), *The Measurements of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*, RFF Press, febrero.
- Galindo, Luis Miguel y Joseluis Samaniego (2010), "La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: algunos hechos estilizados", *Revista CEPAL*, N° 100 (LC/G.2442-P/E).
- _____ (2009), *La economía del cambio climático en México: Síntesis.*, México, Secretaría de Hacienda y Crédito Público; México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Garber, Alan M. y Charles E. Phelps (1997), "Economic foundations of cost-effectiveness analysis", *Journal of Health Economics*, vol. 16, N° 1, febrero.
- Hanley, Nick y Clive L. Spash (1995), *Cost-Benefit Analysis and the Environment*, Edward Elgar Publishing, abril.
- Hepburn, Cameron y Nicholas Stern (2008), "A new global deal on climate change", *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 24, N° 2, 1 de junio.
- Hertel, Thomas W. y Stephanie D. Rosch (2010), "Climate Change, Agriculture, and Poverty", *Applied Economic Perspectives and Policy*, septiembre.
- Holdridge, L. R. (1967), "Life zone ecology", N° (rev. ed.).
- Hope, Chris (2006), "The marginal impact of CO2 from PAGE2002: An integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern", *Integrated Assessment*, vol. 6, N° 1, 31 de enero.
- IADB, Inter-American Development Bank, Economic Commission for Latin America and the Caribbean ECLAC y World Wildlife Fund WWF (2012), "Low carbon climate resilience development in Latin America and the Caribbean" (Forthcoming).
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007a), *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, septiembre.
- _____ (2007b), *Climate Change 2007 - Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press.
- _____ (2002), *Climate change and biodiversity*, [Geneva, Switzerland?], Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Johansen, Søren (1988), "Statistical analysis of cointegration vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 12, N° 2-3, junio.
- Johansson, Per-Olov (1993), *Cost-Benefit Analysis of Environmental Change*, Cambridge University Press, agosto.
- Jones, Peter G. y Philip K. Thornton (2003), "The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055", *Global Environmental Change*, vol. 13, N° 1, abril.
- Kaya, Y (1990), "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios".
- Koenker, R. (2005), *Quantile regression*, Cambridge Univ Pr.
- Layard, Richard y Stephen Glaister (1994), *Cost-Benefit Analysis*, Cambridge University Press, julio.
- Leemans, Rik (1990), "Possible Changes in Natural Vegetation Patterns Due to a Global Warming", N° WP-90-08, Laxenburg, Austria, International Institute of Applied Systems Analysis, p. 22.
- MA, Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis.*, Washington, DC., World Resources Institute.
- Maddala, G. S. y In-Moo Kim (1998), *Unit Roots, Cointegration, and Structural Change*, Cambridge University Press.

- Magrin, G. y otros (2007), "Latin America.", *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. M.L. Parry y otros, Cambridge, UK., Cambridge University Press, págs. 581-615.
- Mendelsohn, Robert (2007), "Chapter 60 Past Climate Change Impacts on Agriculture", *Agricultural Development: Farmers, Farm Production and Farm Markets*, Elsevier, págs. 3009-3031.
- _____ (2009), *Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation and Distributional Effects*, Edward Elgar, octubre.
- _____ (1994), "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis", *The American Economic Review*, vol. 84, N° 4 (ArticleType: research-article / Full publication date: Sep., 1994 / Copyright © 1994 American Economic Association), 1 de septiembre. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: 84.
- Mishan, E. J. y Euston Quah (2007), *Cost Benefit Analysis*, Routledge, abril.
- Nas, Tevfik F. (1996), *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*, Sage Publications, Inc, febrero.
- Nelson, Gerald C y otros (2009), "Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation", N° 21, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Nordhaus, William D. (2008), *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*, Yale University Press, junio.
- _____ (2000), *Warming the World: Economic Models of Global Warming*, The MIT Press, agosto.
- Parry, M. L. y C. Rosenzweig (1993), "Food supply and risk of hunger", *The Lancet*, vol. 342, N° 8883, 27 de noviembre.
- Patterson, Kerry (2000), *An Introduction To Applied Econometrics*, Palgrave Macmillan, octubre.
- Pearson, Charles S. (2011), *Economics and the Challenge of Global Warming*, Cambridge University Press, septiembre.
- Ravallion, Martin y Shaohua Chen (2007), "China's (uneven) progress against poverty", *Journal of Development Economics*, vol. 82, N° 1, enero.
- _____ (2003), "Measuring pro-poor growth", *Economics Letters*, vol. 78, N° 1, enero.
- _____ (1997), "What Can New Survey Data Tell Us about Recent Changes in Distribution and Poverty?", *World Bank Economic Review*, vol. 11, N° 2.
- Ravallion, Martin y Gaurav Datt (1996), "How Important to India's Poor Is the Sectoral Composition of Economic Growth?", *World Bank Economic Review*, vol. 10, N° 1.
- Rosenzweig, C. y Martin L. Parry (1994), "Potential impact of climate change on world food supply", *Nature*, vol. 367, N° 6459, 13 de enero.
- Schlenker, Wolfram, W. Michael Hanemann y Anthony C. Fisher (2005), "Will U.S. Agriculture Really Benefit from Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach", *The American Economic Review*, vol. 95, N° 1 (ArticleType: research-article / Full publication date: Mar., 2005 / Copyright © 2005 American Economic Association), 1 de marzo. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: 95.
- Sen, Amartya (1997), *Choice, Welfare and Measurement*, Harvard University Press, septiembre.
- Seo, Niggol y Robert Mendelsohn (2008), "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on South American Farms", *Chilean journal of agricultural research*, vol. 68, N° 1, marzo.
- Stern, Nicholas (2008), "The Economics of Climate Change", *American Economic Review*, vol. 98, N° 2, mayo.
- _____ (2007), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, enero.
- Tans, Pieter y Ralph Keeling (2013), "Trends in Carbon Dioxide", [en línea] <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>> [fecha de consulta: 25 de enero de 2013].
- Tol, R. S. J. (2003), «Is the uncertainty about climate change too large for expected cost-benefit analysis?», *Climatic Change*, vol. 56, N° 3.
- _____ (2002), "Estimates of the Damage Costs of Climate Change. Part 1: Benchmark Estimates", *Environmental & Resource Economics*, Environmental & Resource Economics, vol. 21, N° 1.
- Tubiello, F. N. y C. Rosenzweig (2008), "Developing climate change impact metrics for agriculture", *Integrated Assessment*, vol. 8, N° 1.
- UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change (2007), *Investment and financial flows to address climate change*, United Nations.
- Varian, Hal R. (1992), *Microeconomic Analysis, Third Edition*, W. W. Norton & Company, marzo.

- Weitzman, Martin L (2009), "On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change", *The Review of Economics and Statistics*, The Review of Economics and Statistics, vol. 91, N° 1.
- WHO y UNICEF (2012), *Progress on sanitation and drinking-water 2012 update*, Geneva; New York, World Health Organization~ ; UNICEF.
- World Bank (2010), "The Cost to Developing Countries of Adapting to Climate Change. New Methods and Estimates", Washington, DC, The World Bank Group, junio.



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)
www.cepal.org