

Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina*

Climate Change and Agriculture: A Review of the Literature
with Emphasis on Latin America

*Alejandro J. López Feldman
y Danae Hernández Cortés***

ABSTRACT

The increment in greenhouse gas emissions and its effect on climate is such that the need for the agricultural sector to adapt seems inevitable. However, given that adaptive measures are limited, it is possible that climate change will affect food availability and increase price volatility. This essay presents a synthesis of the evidence of the effects that climate change has on the agricultural sector, with a special emphasis on Latin America. This revision makes it clear that the effects are going to be heterogeneous and that they could very well be costly. Therefore, public policies aimed at reducing greenhouse gas emissions while at the same time promoting adaptive measures to climate change, are essential. The essay concludes with some considerations on future research topics that could contribute to the design of said public policies.

Key words: agriculture, adaptation, climate change. *JEL Classification:* Q12, Q18, Q54.

* Artículo recibido el 11 de noviembre de 2015. Una versión preliminar de este documento se realizó para la CEPAL en el marco del programa EUROCLIMA, con financiamiento de la Unión Europea.

** Alejandro J. López Feldman, División de Economía, Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE) (correo electrónico: alejandro.lopez@cide.edu). Danae Hernández Cortés, Departamento de Economía, Universidad de California, Santa Barbara (correo electrónico: hernandezcortes@umail.vcsb.edu). Los errores remanentes son responsabilidad de los autores.

RESUMEN

El incremento en la concentración de gases de efecto invernadero es tal que parece inevitable que se presenten cambios en el clima, los cuales forzarán al sector agrícola a tomar medidas de adaptación. Sin embargo, las capacidades de adaptación son limitadas y por lo tanto es muy probable que el cambio climático afecte la disponibilidad y acceso a alimentos e incremente la volatilidad de los precios. En este artículo se presenta una síntesis de la evidencia de los efectos del cambio climático sobre el sector, con énfasis en América Latina. La revisión deja en claro que los efectos serán heterogéneos y que además pueden ser sumamente cuantiosos. Resulta entonces necesario contar con políticas públicas enfocadas en la mitigación de los gases de efecto invernadero, promoviendo al mismo tiempo la adaptación ante el cambio climático. El artículo concluye con algunas consideraciones sobre temas para investigación futura que puedan contribuir al diseño de dichas políticas públicas.

Palabras clave: agricultura, adaptación, cambio climático. *Clasificación JEL:* Q12, Q18, Q54.

INTRODUCCIÓN

Las concentraciones de gases de efecto invernadero han alcanzado niveles que no se habían presentado en la tierra en por lo menos 800 000 años; la evidencia apunta a que las tasas aceleradas a las que dichos gases han crecido desde 1750 se debe principalmente a la actividad humana (Stocker *et al.*, 2013). Esto ha derivado en un aumento de la temperatura promedio de la tierra de 0.85°C en el periodo 1880-2012; en el Hemisferio Norte el periodo 1983-2012 fue probablemente el periodo más caluroso de los últimos 1400 años (Stocker *et al.*, 2013).

A lo largo del siglo XXI, los efectos del cambio climático reducirán el crecimiento económico, complicarán los esfuerzos por reducir la pobreza y afectarán la seguridad alimentaria (Field *et al.*, 2014). Los efectos no serán uniformes entre países ni al interior de los mismos; dependerán en gran medida de las condiciones locales, tanto climáticas como de otro tipo, y de cómo dichas condiciones se modifiquen con el tiempo en respuesta al cambio climático y a otros fenómenos como el crecimiento económico (Mendelsohn y Dinar, 1999). En términos económicos es muy probable que el sector agrícola sea el más afectado por los efectos negativos del cambio

climático (Fischer *et al.*, 2005; Mendelsohn, 2009). La región de América Latina que podría resultar más perjudicada es Centroamérica, sobre todo en lo concerniente a seguridad alimentaria (Magrin *et al.*, 2014).

En este artículo se presenta una síntesis de la evidencia de los efectos del cambio climático sobre el sector agrícola, con énfasis en América Latina. La sección I presenta evidencia sobre la importancia que la agricultura tiene tanto para el crecimiento económico en general como para la reducción de la pobreza. En la sección II se hace una revisión de las principales metodologías utilizadas para estimar los efectos del cambio climático en el sector agrícola y se presentan los principales resultados que se han encontrado tanto para América Latina como para otras regiones. La adaptación de la agricultura al cambio climático se aborda en la sección III. En la última sección se presenta una discusión y se mencionan algunos temas para investigación futura.

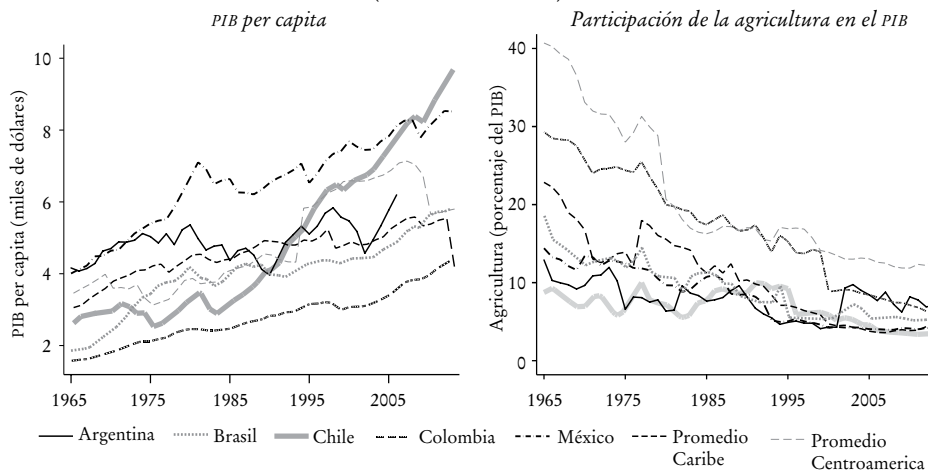
I. AGRICULTURA, CRECIMIENTO Y POBREZA

El sector agrícola es diverso y está lleno de contrastes; representa una pequeña proporción de la economía mundial pero sigue siendo central para la vida de millones de personas. En 2010, aproximadamente 2 600 millones de personas en el mundo dependían económicamente de este sector (Alston y Pardey, 2014). Alrededor de 40% de la superficie terrestre del planeta está ocupada por la agricultura y la ganadería; aproximadamente 1 500 millones de hectáreas de tierra son utilizadas para plantar cultivos mientras que 3 500 millones se utilizan para pastoreo (Howden, *et al.*, 2007; Alston y Pardey, 2014).

Existe una regularidad empírica muy bien documentada: conforme la economía de un país crece, la importancia relativa del sector agrícola disminuye (Johnston y Mellor, 1961; Anríquez y Stamoulis, 2007; Timmer, 2002). Por ejemplo, en 2010 la agricultura representaba, en promedio, 29% del PIB total en países con ingresos bajos (países con ingresos per cápita por debajo de 1 005 dólares); mientras que para los países de ingresos medios y altos representaba 10.5 y 1.5% (Alston y Pardey, 2014). La gráfica 1 muestra, para un conjunto de países Latinoamericanos, que conforme el PIB per cápita aumenta, la importancia relativa del sector agrícola disminuye. Aunque la relación causal entre PIB y desarrollo agrícola es sumamente difícil de identificar, la correlación entre ambas es muy clara: una regresión de míni-

GRÁFICA 1. PIB per cápita y agricultura^a

(Período: 1965-2013)



FUENTE: elaboración propia con datos del Banco Mundial: World Development Indicators (en línea).

mos cuadrados ordinarios para el periodo de 1965 al 2013 para la región de América Latina y el Caribe muestra que un aumento de mil dólares de PIB per cápita se asocia con una caída de 0.11 puntos porcentuales en la importancia de la agricultura en el PIB.¹

1. El sector agrícola y el crecimiento económico

La regularidad empírica antes citada dio lugar a una visión de la agricultura, fundamentada principalmente en el modelo propuesto por Lewis (1954), como un sector que declina de manera natural y cuyo papel principal es contribuir con trabajo, alimentos y quizá capital para la modernización de la industria. Siguiendo esta interpretación, el sector agrícola responde muy poco a los incentivos y tiene pocas ligas significativas con otros sectores (Valdés y Foster, 2010). Bajo esta visión resulta poco necesario dedicarle políticas públicas que busquen promover su modernización, de hecho, la implicación es todo lo contrario: la mejor estrategia para lograr la industrialización, y por ende el crecimiento económico, es drenar de recursos a la agricultura implementando políticas públicas sesgadas en

¹ Se utilizaron datos del Banco Mundial (World Development Indicators, en línea) para correr una regresión de la importancia de la agricultura como porcentaje del PIB y el PIB per cápita en dólares, el coeficiente es estadísticamente significativo a 1%, la R^2 asociada a la regresión es 0.396.

su contra y a favor de otros sectores (Timmer, 2002). Desde 1950 hasta por lo menos la década de 1980, ésa fue la estrategia que prevaleció alrededor del mundo, particularmente en África y Latinoamérica (Anríquez y Stamoulis, 2007).

Sin embargo, en las últimas décadas la teoría de Lewis, sobre todo atendiendo a sus implicaciones en materia de políticas públicas, ha sido desacreditada por trabajos más recientes que sugieren que: *i)* la agricultura reacciona ante cambios tecnológicos, *ii)* está ligada de manera directa con otros sectores y *iii)* en países en desarrollo este sector puede responder a los incentivos de la misma forma que lo hace en los países desarrollados (Cervantes-Godoy y Dewbre, 2010). Estos argumentos condujeron a una interpretación alternativa de la regularidad empírica: en lugar de dejar de lado el sector agrícola, lo que se debe hacer es promover su crecimiento para así facilitar la transformación estructural.

El sector agrícola también es un determinante importante de la seguridad alimentaria. Ningún país ha logrado sostener un proceso de crecimiento económico rápido sin antes resolver el problema de seguridad alimentaria. Ésta es necesaria para el crecimiento puesto que el acceso inadecuado e irregular a alimentos limita la productividad y reduce la inversión en capital humano (Bliss y Stern, 1978; Strauss, 1986). A nivel macroeconómico, las crisis alimentarias recurrentes afectan la estabilidad política y económica, lo que a su vez reduce la eficiencia de la inversión (Alesina y Perotti, 1996).

Más allá de consideraciones teóricas, los estudios econométricos sobre el papel que desempeña el sector agrícola en el crecimiento económico pueden, en principio, captar las externalidades que el sector agrícola tiene en otros sectores (Valdés y Foster, 2010). Estos estudios también pueden dar información sobre los determinantes de la productividad agrícola, lo cual ayuda a entender los caminos que podrían seguirse para fomentar el crecimiento económico (Gollin, Parente y Rogerson, 2002). Sin embargo, es importante recalcar que este tipo de estudios deben hacer frente a un problema intrínseco vinculado con determinar una relación de causalidad. Los problemas de identificación son tan fuertes que autores como Tsakok y Gardner (2007) opinan que los análisis econométricos nunca podrán encontrar la causalidad entre el sector agrícola y el crecimiento. Con esto en mente, veamos algunos resultados de estudios empíricos que se enfocan en la productividad agrícola y sus externalidades en otros sectores.

Anríquez y Stamoulis (2007) utilizan datos para una serie de países alrededor del mundo para mostrar que una expansión agrícola basada en aumentos en productividad puede constituirse en un factor que jale a otros sectores y, por lo tanto, incremente la actividad económica y el empleo. De igual forma, Timmer (2002) presenta una serie de resultados econométricos que buscan dar evidencia del impacto positivo que la agricultura tiene en el crecimiento económico. Utilizando una muestra de 65 países en desarrollo, para el periodo 1960-1985, comprueba que existe una correlación positiva, y altamente significativa, entre crecimiento en el sector agrícola y crecimiento en el sector no-agrícola; por ejemplo, un aumento de 1% en el sector agrícola implica un aumento de 0.2% en el no agrícola. Por su parte, Bravo-Ortega y Lederman (2005) explican que en los países en desarrollo un aumento de 1% en el crecimiento agrícola implica un aumento de entre 0.12 y 0.15% en el crecimiento del sector no agrícola. Este resultado tiene una implicación clara para la política pública: invertir en el sector agrícola puede tener efectos positivos en otros sectores.

2. El sector agrícola y la pobreza

Bajo ciertas condiciones los aumentos en producción y productividad agrícola se pueden ver reflejados en reducciones de la pobreza. Estos efectos positivos van más allá de los dueños de la tierra y no necesariamente se circunscriben a las zonas rurales. Esto se debe a que aun cuando los individuos más pobres en las zonas rurales por lo general tienen muy poca o nada de tierra; una parte importante de su ingreso proviene de trabajar como empleados agrícolas. Además, al igual que lo hacen los pobres de las zonas urbanas, utilizan una parte importante de su ingreso para comprar alimentos (Thirtle, Lin y Piesse, 2003). De manera más específica, los canales mediante los cuales el crecimiento agrícola puede contribuir a aliviar la pobreza son cuatro: *i*) incrementar de manera directa el ingreso y consumo de los pequeños agricultores, *ii*) reducir el precio de los alimentos, *iii*) aumentar el ingreso generado por la economía rural no agrícola, y *iv*) aumentar el empleo y salario de los trabajadores no calificados (Anríquez y Stamoulis, 2007).

Gallup, Radelet y Warner (1998) utilizan una muestra de 69 países para encontrar que un aumento de 1% en el crecimiento del PIB agrícola per cápita se refleja en un aumento de 1.61% en el ingreso per cápita del quintil más pobre de la población. Por otro lado, aumentos similares en el PIB

industrial y en el PIB del sector servicios implican aumentos de 1.16 y 0.79% en el ingreso de ese mismo grupo de la población. Más allá de dichas estimaciones, la realidad es que la relación entre crecimiento en el sector agrícola y disminución en la pobreza varía mucho dependiendo de los contextos regionales y de las condiciones de cada país, en particular del ambiente macroeconómico bajo el cual opera el sector (Cervantes-Godoy y Dewbre, 2010). En ese sentido, De Janvry y Sadoulet (2009) reportan que en Asia del Este un aumento de 10% en la producción de cereales se ve acompañada de una disminución de más de 50% en la pobreza rural. Por otro lado, aun cuando en Latinoamérica y el Caribe se dieron aumentos importantes en la producción de cereales (el promedio de crecimiento entre 1993 y 2002 fue de 2.5% anual) la pobreza rural apenas se redujo. Los contrastes se presentan también a nivel país; un aumento de 1% en la producción de cereal en China implica una reducción de la pobreza de 5.1%, mientras que en Brasil la reducción de la pobreza ante el mismo aumento en la producción es de únicamente 0.6% (De Janvry y Sadoulet, 2009).

Específicamente para América Latina, Galindo *et al.* (2014b) encuentran que la magnitud del efecto que una caída del producto agrícola tiene en la pobreza es mayor que la magnitud del efecto de una fase de crecimiento. Es decir, las pérdidas en la producción pueden aumentar la pobreza más de lo que aumentos similares en producción la reducirían. Además, existe un proceso de retroalimentación entre el sector agrícola y el resto de la economía por lo que una caída en la producción agrícola se vería acompañada por un efecto adicional con sus consecuentes efectos negativos en la pobreza.

Una de las principales razones por las cuales el efecto del crecimiento agrícola en la disminución de la pobreza varía entre países y regiones es la desigualdad en la distribución de la tierra; a mayor desigualdad menor efecto en la pobreza (Thirtle, Lin y Piesse, 2003). En Latinoamérica, la desigualdad en términos de la cantidad de tierra que poseen los agricultores va acompañada de una desigualdad en la calidad de la misma. Esto se debe a que, por lo común, el mercado de tierra está segmentado en dos: los hogares más ricos tienen acceso al mercado de las tierras más productivas mientras que los hogares más pobres tienen que adquirir tierra de menor calidad o migran a tierras marginales (Barbier, 2004).

La magnitud del efecto que un cambio en la productividad del trabajo agrícola tiene en la pobreza también es heterogénea y depende en bue-

na medida de la estructura productiva prevaleciente en cada país o región: el efecto es mayor y más fuerte cuando se tienen pequeños productores y cuando la agricultura es intensiva en trabajo (De Janvry y Sadoulet, 2009). Asia del Este y Latinoamérica y el Caribe ejemplifican claramente esta dicotomía; en ambas regiones se tuvieron aumentos importantes en la productividad laboral agrícola, pero sólo el primer caso se vio acompañado de caídas importantes en la pobreza.

Otro hecho estudiado en la literatura empírica es la relación entre mejoras tecnológicas en la agricultura y disminución de la pobreza. Ejemplo de ello es el estudio de Thirtle *et al.* (2003) que analiza, utilizando un modelo econométrico con un sistema de cuatro ecuaciones, información sobre 59 países para estimar el efecto que la inversión en investigación y desarrollo en el sector agrícola tiene en la pobreza. En términos generales, encuentran que el crecimiento en la productividad agrícola tiene un efecto sustancial en la reducción de la pobreza, situación que no sucede con los aumentos en productividad en los sectores industrial y de servicios. Cuando vemos los resultados a nivel regional, la situación en Latinoamérica es muy distinta a la de otras regiones. Para estimar el rendimiento que tiene la inversión en investigación y desarrollo, Thirtle *et al.* (2003) estiman cuánto cuesta sacar a una persona de la pobreza (medida de acuerdo al indicador de un dólar por día); en África el costo es de 144 dólares, en Asia 180 dólares mientras que en Latinoamérica es de 11 000 dólares. El fuerte contraste entre Latinoamérica y Asia del Este llama especialmente la atención dado que el porcentaje de población por debajo de la línea de pobreza de ambas regiones es muy similar (15.57 y 15.32%, respectivamente).

Por último, es importante resaltar que aunque una estrategia exitosa de reducción de la pobreza implica diseñar políticas que tomen en cuenta a los agricultores más pobres, eso no quiere decir que lo que se deba hacer sea promover la permanencia de los pequeños agricultores, para siempre y en todos los lugares. Es decir, el objetivo no debe ser garantizar la permanencia de millones de pequeños agricultores, sino reducir o eliminar la pobreza. Valdés y Foster (2010) plantean que se debe abandonar la idea romántica que supone que podemos eliminar o reducir la pobreza y al mismo tiempo mantener el número de pequeños agricultores constante. Es necesario aumentar el crecimiento agrícola para fomentar el crecimiento económico y mejorar las oportunidades de que todas las familias rurales obtengan ingresos no agrícolas (Valdés y Foster, 2010).

II. LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

El clima es uno de los principales determinantes de la productividad agrícola (Adams, *et al.*, 1998); debido al incremento en la concentración de gases de efecto invernadero es prácticamente inevitable que se presenten cambios en el clima a los cuales la agricultura tendrá que adaptarse. Esto requerirá no sólo de cambios en el tipo y combinación o mezcla de cultivos que se producen, sino también un aumento en la inversión (McCarl, 2010). Más allá de las posibilidades de adaptación, se espera que la agricultura sea el sector que sufra los mayores efectos económicos ante el cambio climático (Fischer *et al.*, 2005; Mendelsohn, 2009). De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), el sector rural se verá fuertemente afectado, entre otros motivos, debido a las caídas en el ingreso agrícola. Se espera que los impactos afecten de manera desproporcionada el bienestar de los pobres en zonas rurales haciendo más difícil el combate a la pobreza (Field *et al.*, 2014). Además, el cambio climático afectará la seguridad alimentaria al impactar la disponibilidad y acceso a alimentos así como la estabilidad de las reservas de alimentos y la volatilidad de los precios.

Es posible que en un inicio el calentamiento moderado del planeta beneficie a la producción de cultivos en las regiones templadas y perjudique a las regiones semiáridas y tropicales. Sin embargo, si el calentamiento continúa más allá de la mitad del siglo, la producción en todas las regiones del planeta se verá afectada de manera negativa (Tubiello y Rosenzweig, 2008); la vulnerabilidad de los países dependerá, entre otras cosas, de sus condiciones geográficas y del tipo de cultivos que produzcan o puedan producir. De acuerdo con Lobell *et al.*, (2008), los cultivos más propensos a cambios son algunas variedades de maíz, trigo y arroz en las regiones del sur de Asia y África. En el caso de América Latina, la diversidad en términos agroecológicos y demográficos hace que las expectativas para las distintas regiones sean muy variadas entre sí; se espera que en el sureste de América del Sur la productividad se mantenga o incluso se incremente ligeramente para mediados de siglo, mientras que en Centroamérica la productividad podría reducirse en los próximos 15 años poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de las poblaciones más pobres (Field *et al.*, 2014).

Los países en desarrollo son más vulnerables a los efectos del cambio climático que los países desarrollados. Esto se debe, entre otras cosas, a que estos países dependen más de la agricultura, poseen menos capital para

tomar medidas de adaptación, y en muchos casos están más expuestos a la ocurrencia de eventos climáticos extremos y a niveles de calor que actualmente son demasiado elevados (Fischer, *et al.*, 2005; Mendelsohn, 2009). Al interior de los países en desarrollo, los pequeños agricultores serán los más afectados dado su bajo acceso a tecnologías, insumos, información y recursos monetarios para tomar medidas de adaptación (Birthal *et al.*, 2014).

Latinoamérica no es una excepción a lo anterior y, a pesar de que se han dado mejoras, los niveles de pobreza en muchos países de esta región son tales que se tiene una alta vulnerabilidad ante los cambios climáticos (Magrin *et al.*, 2014). Entre 2000 y 2013 los eventos climáticos extremos en el continente trajeron como resultado 13 883 muertes y 53.8 millones de personas afectadas; las pérdidas económicas estimadas ascendieron a 52 mil millones de dólares (Magrin *et al.*, 2014). La agricultura en gran parte de la región es vulnerable al cambio climático e incluso un calentamiento moderado causaría daños a los cultivos en muchos de los países que la integran (Mendelsohn, 2009; Seo y Mendelsohn, 2008a).

Entender los efectos económicos del cambio climático ayuda a conocer el tamaño potencial de los daños y, por lo tanto, a decidir qué tanto debería invertirse en mitigación. Por otro lado, también podría ayudar a diseñar estrategias de adaptación al proveer información de cómo, cuándo y dónde debería darse dicha adaptación (Mendelsohn, 2009). A la fecha existe una vasta literatura que aborda el tema de los efectos potenciales del cambio climático en la agricultura (Hertel y Rosch, 2010). El conocimiento científico existente es relativamente robusto en su capacidad de inferir los efectos que cambios en temperatura y precipitación tendrán en el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, es menos capaz de proveer información sobre las consecuencias del cambio climático en las enfermedades y pestes que afectan a la agricultura, así como sobre el potencial efecto de fertilización del dióxido de carbono en los cultivos (McCarl, 2010). Tampoco se sabe lo suficiente sobre las formas en las que las distintas poblaciones humanas responderán a tales efectos (Adams *et al.*, 1998).

1. *Evolución y principales resultados de los modelos económicos*

El consenso de la mayor parte de las investigaciones existentes hasta fines de la década de 1980 era que la producción agropecuaria, tanto en los Estados Unidos como a nivel mundial, no se vería seriamente afectada por el

cambio climático (Adams, 1989). Sin embargo, en la década de 1990 aumentó la cantidad de estudios, la calidad de las proyecciones climáticas y los estudios con análisis económicos. En su síntesis de los principales estudios existentes hasta ese momento, Adams *et al.* (1998) muestran que el consenso de la década de 1980 fue reemplazado por una visión que ahora incluía la posibilidad de fuertes efectos negativos tanto para Norteamérica como para Latinoamérica.

El número de trabajos enfocados a analizar los efectos económicos del cambio climático en la agricultura continuó su crecimiento y a la fecha se cuenta con una muy amplia literatura en el tema.² La mayor parte de esa literatura aborda el tema desde una perspectiva predominantemente empírica; incluso los trabajos teóricos que existen en el área enfatizan la importancia de abordar el tema desde dicha perspectiva. A continuación se presentan los resultados principales de algunos de los trabajos más relevantes sobre la relación entre cambio climático y agricultura. Asimismo, se describe la evolución metodológica que ha tenido el análisis de los efectos del cambio climático en la agricultura.

Adams *et al.* (1988 y 1990) realizaron uno de los primeros esfuerzos por analizar desde el punto de vista económico los efectos potenciales del cambio climático en la agricultura de los Estados Unidos. Adams *et al.* (1988) utilizan estimaciones de modelos experimentales de cultivos, junto con modelos de programación matemática para analizar las posibles implicaciones económicas del cambio climático en la agricultura bajo irrigación en el oeste de los Estados Unidos. Los autores encuentran efectos económicos moderados pero que podrían cambiar la estructura de la agricultura en esa región. Adams *et al.* (1990) realizan un estudio similar pero para todo Estados Unidos. Al ser uno de los primeros estudios de este tipo a escala nacional, los autores hacen mucho énfasis en el hecho de que los efectos dependen fuertemente del modelo climático utilizado y de los supuestos respecto al efecto fertilización del CO₂. Los efectos que encuentran van desde una pérdida de 10 000 millones de dólares anuales hasta ganancias superiores a 10 000 millones de dólares. Concluyen que la cantidad de tierra bajo irrigación se expandirá y que los patrones regionales de la agricultura se verán modificados.

Uno de los primeros análisis de los efectos del cambio climático en la

² En el cuadro A1 del apéndice se presenta una breve descripción de los principales trabajos a los que se hace referencia en este documento.

agricultura a nivel mundial fue realizado por Kane, Reilly y Tobey (1992). Ellos argumentan que en una economía abierta no se puede considerar el efecto del cambio climático en un país en particular sin tomar en cuenta lo que sucede en el resto del mundo. Esto se debe a que los cambios del clima son un fenómeno global que afecta los precios agrícolas mundiales a través de los mercados internacionales. Por lo tanto, no se pueden utilizar únicamente estimaciones de cambios a nivel país para inferir los efectos económicos del cambio climático en los productores y consumidores agrícolas. El modelo que utilizan se conoce como Swopsim (Static World Policy Simulation). Este modelo desagrega al mundo en 13 regiones/países y 20 bienes agropecuarios. Es un modelo estático y de equilibrio parcial, por lo que no incorpora los efectos en otros sectores ni permite cambios en la tecnología, la población u otras variables. Los resultados son una fotografía de lo que sucedería con la agricultura a nivel mundial dadas la tecnología, la estructura de producción y las condiciones de demanda. Los cambios climáticos se introducen como aumentos/disminuciones exógenos en la producción de países o regiones específicas. Entre sus resultados destaca el hecho de que incluso en el escenario más pesimista el efecto neto en bienestar a nivel mundial, aunque negativo, es muy pequeño; 0.47% del PIB. Más allá de China ningún país/región sufre pérdidas de bienestar por arriba de 1% del PIB.

Por su parte, Rosenzweig y Parry (1994) utilizan un modelo de equilibrio general conocido como sistema básico conectado (BLS, por sus siglas en inglés) para analizar los efectos del cambio climático en la oferta de alimentos a nivel mundial. Sus resultados muestran caídas de 1 a 8% en la producción mundial de cereales y aumentos en los precios de 24 a 145%. Otro análisis a nivel mundial es el de Darwin *et al.* (1995). Ellos utilizan un modelo de equilibrio general computable, Computable General Equilibrium (CGE) y encuentran que los efectos en la producción mundial de alimentos serán aún menores de lo que otros estudios globales habían descubierto. Incluso hallan aumentos moderados en la producción mundial para el caso específico de los cereales. Sin embargo, reconocen que los beneficios y los costos del cambio climático no se distribuirán de manera homogénea a lo largo del planeta.

En 1994 se publicó un artículo de Mendelsohn, Nordhaus y Shaw que ha tenido un enorme impacto en la medición de los efectos económicos del cambio climático en la agricultura. Esto se debe tanto a la metodología que propusieron (el método ricardiano), y la crítica que suscitó, como al hecho de que enfatizaron los efectos a nivel nacional o subnacional en lugar de

a nivel regional o global. Estos autores propusieron el método ricardiano como alternativa al método de funciones de producción que hasta ese momento era el enfoque más utilizado. Los modelos de función producción se basan en métodos estadísticos que estiman la relación entre producción y variables climáticas o en métodos experimentales calibrados con los resultados de cultivos que crecen en laboratorios bajo condiciones controladas. Esta información se utiliza en un modelo económico de simulación para predecir, entre otras cosas, el rendimiento neto de los cultivos ante variaciones climáticas. El argumento central de Mendelsohn *et al.* (1994) es que el método de función producción tiende a sobreestimar los efectos del cambio climático, pues no incorpora de manera adecuada la adaptación por parte de los agricultores; sus resultados para los Estados Unidos mostraron efectos considerablemente menores (incluso positivos en algunos escenarios) que los obtenidos con el método de funciones de producción.

La capacidad del método ricardiano de tomar en cuenta las posibilidades de adaptación lo ha convertido en el método más utilizado desde entonces para realizar análisis económicos sobre los efectos del cambio climático en la agricultura. Dicho método es visto por muchos autores como un punto intermedio entre los modelos que usan funciones de producción agronómicas que no captan del todo las posibilidades de adaptación y los modelos de equilibrio general computable que son apropiados únicamente para análisis muy agregados del sector agrícola (Schlenker, Hanemann y Fisher, 2006).

Para respaldar el argumento de que los análisis basados en métodos experimentales tienden a sobreestimar los efectos del cambio climático, Mendelsohn y Schlesinger (1999) comparan, para una serie de sectores (agrícola, pesquero, energético y agua), los resultados de funciones de respuesta climática estimados por medio de métodos experimentales con los resultados que se obtienen al utilizar estimaciones econométricas de sección cruzada. Encuentran que los efectos son mayores cuando se utiliza el método experimental, argumentando que esto se debe a que dicho método no permite la adaptación de los agricultores ante el cambio climático. Sin embargo, reconocen que el método experimental tiene una gran ventaja sobre los análisis econométricos de sección cruzada: la posibilidad de evitar que se tenga variación no controlada (por ejemplo, por calidad de la tierra o de los insumos o por habilidad del agricultor).

Una crítica de Reilly (1999) al enfoque ricardiano es que éste representa, en el mejor de los casos, un equilibrio de largo plazo y no proporciona

mucha información de cómo se llega a él. Dada la enorme variabilidad que puede tener el clima de un año a otro, una pregunta crucial que para Reilly (1999) el enfoque ricardiano no logra responder es: ¿qué tan hábiles son los agentes para detectar y adaptarse de manera exitosa al cambio climático? De manera similar, Adams *et al.* (1998) critican el método ricardiano por asumir que los agricultores saben automáticamente cómo y cuándo responder a los cambios climáticos. Mendelsohn (2009) reconoce que el método ricardiano no es un análisis dinámico sino de estática comparativa que asume que los agricultores ajustan sus insumos y prácticas agrícolas para tomar ventaja de las condiciones, incluyendo el clima, que rodean a la granja.

Considerando la heterogeneidad de las regiones de todo el mundo, es poco factible creer que la disponibilidad de insumos y posibles medidas de adaptación serán iguales en todos los casos estudiados. En este contexto, (Schlenker, Hanemann y Fisher (2005) explican que el método ricardiano tiene una fuerte debilidad en lo que a la modelación de la irrigación se refiere. Para estos autores, los efectos del cambio climático en tierras irrigadas deben ser modelados de manera independiente de los efectos en tierras no irrigadas. Esto puede extenderse a la implementación de otras medidas de adaptación al cambio climático. Las condiciones iniciales de los países son bastante diferentes, y un estudio adecuado del efecto del cambio climático en la agricultura debe considerar estas diferencias para brindar información más precisa de posibles consecuencias del cambio climático en la agricultura y qué se puede hacer al respecto.

Schlenker, Hanemann y Fisher (2006) proponen una serie de modificaciones al método ricardiano entre las que destacan el uso de días-grado (*degree-days*) así como la posibilidad de correlación espacial de los errores.³ Además, restringen su análisis a una muestra de condados de los Estados Unidos donde es posible practicar la agricultura sin necesidad de irrigación. Sus resultados muestran que el efecto del cambio climático podría implicar una pérdida de entre 10 y 25% del valor de la tierra. Posteriormente, Schlenker y Roberts (2009) desagregan los datos de temperatura más detalladamente y encuentran efectos negativos en la producción de algodón, maíz y soya, que fluctúan entre 30 y 82%, dependiendo del escenario.

³ El concepto de días-grado se basa en la literatura agronómica que dice que lo importante para explicar el crecimiento de los cultivos no es la temperatura promedio en un mes sino el número de días que la temperatura se encuentra en un rango adecuado. En su análisis, un día-grado es un día en el cual la temperatura se encontró dentro del rango de 8 y 32°C.

Una de las críticas más fuertes al método ricardiano es la de Deschenes y Greenstone (2007), quienes argumentan que el método es demasiado sensible a pequeños cambios de especificación. De acuerdo con ellos, el modelo sufre de un problema de variables omitidas y el sesgo que eso genera explica, en gran medida, el efecto negativo del clima en la agricultura. Para mostrar su punto, replican el análisis de Schlenker, Hanemann y Fisher (2005) y estiman de nuevo los efectos modificando algunos de los supuestos de la regresión; concluyen que el método ricardiano no produce resultados robustos. Como solución a este problema, proponen un método alternativo basado en un análisis de efectos fijos, en lugar del análisis de sección cruzada característico del método ricardiano, donde en lugar de usar valor de la tierra se emplea la rentabilidad agrícola. Sus resultados indican que el cambio climático producirá, en los Estados Unidos, un aumento (no estadísticamente significativo) en la rentabilidad agrícola de 1 300 millones de dólares al año.

La diferencia tan marcada entre los resultados reportados por Schlenker, Hanemann y Fisher (2005) y los de Deschenes y Greenstone (2007) provocó un amplio debate en la literatura, principalmente debido a las implicaciones de política pública que tiene un resultado de efecto negativo contra el de uno positivo. Gran parte del debate se resolvió cuando Fisher *et al.* (2012) reportaron que el efecto positivo que Deschenes y Greenstone (2007) encontraron se debió en gran medida a un error en el manejo de los datos. Deschenes y Greenstone (2012) reconocen la existencia de esos errores y reportan que, cuando los corrigen, sus resultados pasan de un incremento estadísticamente no significativo de 1 300 millones de dólares en los ingresos netos anuales del sector agrícola, a una disminución estadísticamente significativa de 4 500 millones de dólares anuales; cuando utilizan un modelo climático más reciente, las pérdidas estimadas son de 9 900 millones de dólares. De este modo, aunque persisten las dudas sobre la validez de las diferentes estrategias de estimación, sobre todo en lo que se refiere a la capacidad de los distintos modelos para controlar por heterogeneidad no observada, la evidencia empírica apunta a que los efectos del cambio climático en la agricultura de los Estados Unidos no sólo serán negativos sino que podrían ser considerables.

Otra crítica al método ricardiano tiene que ver con el uso de variables demasiado agregadas. Hanemann y Dale (2006) utilizan un análisis para California para concluir que cuando las variables climáticas se promedian de manera excesiva, ya sea a nivel temporal, espacial o sectorial, los daños del cambio climático se tienden a subestimar. Tomando como ejemplo el caso

de la temperatura, argumentan que la mayor parte de los estudios se centra en cambios en la temperatura promedio, sin embargo, la temperatura varía de manera espacial y un cambio en la temperatura en un tiempo determinado, en un escenario dado, en un lugar específico, puede ser muy distinto del cambio en otro lugar. Si los efectos del cambio climático fueran lineales en el grado de calentamiento, entonces la variación temporal y espacial sería menos importante. Con todo, muchos de los efectos son no lineales y son una función convexa del nivel de calentamiento: existen umbrales y los daños aumentan de manera desproporcionada conforme el umbral se traspasa. Por lo tanto, es muy probable que los daños se subestimen cuando se ignora la variación temporal y espacial y se usa, por ejemplo, la temperatura promedio. Otra práctica importante que se debería evitar es la de tratar a unidades económicas como si fueran homogéneas y caracterizaran a un “agente representativo”. Esto también puede llevar a subestimaciones debido a la no linealidad de la función de daños.

Como se mencionó antes, uno de los problemas con el método ricardiano es que no considera de manera adecuada la irrigación. Una solución que varios autores han utilizado (e. g., Schlenker, Hanemann y Fisher, 2005) es estimar una ecuación para tierra irrigada y otra para tierra no irrigada. El problema de esta solución es que supone que la irrigación es un factor exógeno. Para resolverlo, Kurukulasuriya, Kala y Mendelsohn (2011) realizaron la primera estimación en la que la endogeneidad de la irrigación es modelada de manera explícita. Sus resultados, para 11 países en África, muestran que la irrigación es efectivamente una decisión que se ve afectada por variables climáticas por lo que los modelos que no se corrigen por la endogeneidad de la irrigación están sesgados.

En lo que al desempeño de distintos enfoques econométricos se refiere, Lobell y Burke (2010) analizan los tres métodos econométricos que más comúnmente se utilizan para estimar la relación entre variables climáticas y producción agrícola: series de tiempo, datos panel y sección cruzada. Utilizan un modelo calibrado con el método experimental para simular series de producción de maíz en casi 200 sitios en el África subsahariana, después estiman los tres modelos econométricos y comparan su comportamiento. Entre las conclusiones que encuentran, destaca que los modelos econométricos son una herramienta valiosa que efectivamente logra captar aspectos importantes de la relación entre temperatura, precipitación y producción. Los métodos de series de tiempo parecen mejores para estimar la respuesta

a la precipitación, mientras que los de datos panel y sección cruzada son mejores estimando el efecto de la temperatura. Por su parte, Seo (2008) utiliza datos de América del Sur (Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, Chile, Uruguay y Venezuela) para estimar dos modelos con estructura espacial (rezagos espaciales y errores espaciales) y dos sin estructura espacial (mínimos cuadrados ordinarios y datos panel). Sus resultados muestran que existe una fuerte correlación espacial en los valores de la tierra, por lo tanto, los modelos espaciales llevan a la estimación de efectos sustancialmente distintos (menores) que los modelos que no incluyen consideraciones espaciales.

Por último, es importante mencionar que hasta el momento existen muy pocos estudios que incorporen en sus análisis explícitamente el efecto de fertilización de CO₂. La hipótesis es que una atmósfera enriquecida con carbono promoverá el crecimiento de las plantas; la realidad es que aún existe mucha incertidumbre sobre qué tanto se pueden beneficiar los cultivos de dicho efecto (Wang, Huang y Jun, 2014). Esto se debe en gran parte a que no es fácil alterar de manera experimental los niveles de CO₂ a los que está expuesto un cultivo en el campo. Evidencia reciente muestra que las estimaciones con las que se contaba hasta hace unos años pueden haber sobreestimado fuertemente el efecto fertilización, incluso es posible que para cultivos como la caña de azúcar, el maíz y el sorgo el efecto sea insignificante (Long *et al.*, 2006).

2. Resultados para Latinoamérica y el Caribe⁴

En uno de los primeros estudios para América Latina, Jones y Thornton (2003) analizan los efectos que el cambio climático podría tener en la producción de maíz en el año 2055. Sus resultados, basados en un modelo de simulación en el que las predicciones de lluvia se obtienen de un modelo de Markov, muestran una reducción agregada de 10% en la producción. Esta pérdida no es demasiado significativa si se considera que en el modelo no se incorpora la posibilidad de innovación tecnológica, ni ningún otro tipo de adaptación. Sin embargo, los autores advierten que el efecto agregado oculta una gran variación entre regiones: en algunas zonas la reducción puede incluso superar una tonelada por hectárea lo cual sin duda tendría repercusiones importantes. Los autores resaltan el hecho de que el maíz es un cultivo muy

⁴ En el cuadro A2 del apéndice se presenta un resumen de los principales efectos encontrados en los artículos mencionados en esta sección.

tolerante a las temperaturas elevadas, así es que es posible que los efectos para otros cultivos menos tolerantes sean mucho mayores.

Entre el 2003 y el 2004 un proyecto del Banco Mundial recolectó datos de una muestra de más de 2 200 granjas en siete países latinoamericanos (Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Uruguay y Venezuela). A continuación se describen una serie de artículos que han utilizado dichos datos para analizar, por medio de distintas variantes del método ricardiano, los efectos del cambio climático en el sector agrícola. El primero de ellos es el de Seo y Mendelsohn (2008a) quienes encuentran que tanto el valor de la tierra como los ingresos netos reaccionan de manera negativa ante distintos escenarios de cambio climático. Es importante mencionar que en las estimaciones se toman en cuenta no sólo cultivos sino también ganado. Por su parte, Seo y Mendelsohn (2008b) analizan el efecto que el clima tiene en la decisión de la elección que los agricultores hacen sobre el cultivo principal que sembrarán. Sus resultados muestran que aumentos en el clima hacen que los agricultores se muevan del maíz, trigo y papa a calabaza, frutas y vegetales. Seo (2010) estima un modelo microeconómico en dos etapas para entender el efecto que el cambio climático tiene tanto en la decisión del tipo de sistema que empleará el agricultor como en el valor de la tierra. En una primera etapa se modela la decisión del agricultor respecto al tipo de sistema que manejará: exclusivamente cultivos, exclusivamente ganado o un sistema mixto. Una vez que se corrige por este sesgo de selección, se estiman los valores de la tierra. Utilizando distintos escenarios climáticos, el autor encuentra que los efectos negativos en el valor de la tierra van de 4 a 8%, sin embargo, si los agricultores no se adaptaran, es decir, si no tuvieran la opción de cambiar su sistema de producción, los efectos negativos oscilarían entre 11 y 18%. En ese mismo trabajo, se hace una comparación entre las estimaciones realizadas mediante tres especificaciones: modelo en dos etapas que permite adaptación, un modelo ricardiano simple y un modelo ricardiano espacial. Los resultados del modelo en dos etapas son muy similares a los del modelo espacial; ambos arrojan efectos negativos considerablemente menores que el enfoque ricardiano simple.

Más allá de los estudios que analizan los datos obtenidos por el Banco Mundial, existe otra serie de estudios que analizan distintas bases de datos para países de América Latina. Entre ellos está el de Timmins (2006) para Brasil, en el que se utiliza un modelo estructural de uso endógeno del suelo que permite predecir los efectos del cambio climático tanto en un escenario

de cero costos de ajuste como en uno en donde los costos de ajuste son tan altos que los individuos no cambian su comportamiento en respuesta al cambio climático. El autor propone resolver el problema de endogeneidad mediante el uso de variables instrumentales, específicamente mediante el uso de variables que afectan el valor de la tierra en usos alternativos al estudiado. Sus resultados muestran que los efectos del cambio climático son menos negativos de lo que el método ricardiano tradicional predice. Otro estudio para Brasil es el de Da Cunha *et al.* (2015), quienes realizaron una de las pocas estimaciones econométricas en las que explícitamente se modela la decisión de adopción de irrigación para un país latinoamericano. Estos autores encuentran que ante variaciones climáticas el valor de la tierra irrigada es más estable que el de la no irrigada. Por su parte, Galindo *et al.* (2015a) estiman un modelo ricardiano estructural en el que la elección de cultivos es endógena. De acuerdo con sus estimaciones, basadas en una muestra de más 100 000 productores en Perú, la elección de cultivos podría alterarse de manera importante en respuesta al cambio climático (*e. g.*, menos siembra de papa y más siembra de maíz y plátano). El efecto estimado en el ingreso de los productores, una vez que se toma en cuenta el cambio en la mezcla de cultivos, es de entre -8 y -13% .

Otros estudios que emplean el enfoque ricardiano han encontrado que las pérdidas al valor de la tierra pueden ser considerables, especialmente para el caso de los pequeños agricultores. Mendelsohn, Arellano-Gonzalez y Christensen (2010) encuentran que México enfrentaría cuantiosas pérdidas que pueden rebasar incluso 50% del valor de la tierra. Galindo, Alatorre y Reyes (2015b) hallan efectos negativos cuya magnitud es comparable a lo encontrado por Mendelsohn, Arellano-Gonzalez y Christensen (2010). Sin embargo, su análisis, basado en un panel de datos para 2 431 municipios de México en el periodo 2003–2009, incluye la presencia de eventos climáticos extremos, además de distinguir entre tierras irrigadas, de temporal y mixtas. Al hacer esto, los autores muestran que los efectos son heterogéneos; las tierras irrigadas son más vulnerables a los aumentos en temperatura mientras que las de temporal lo son a disminuciones en precipitación y a la presencia de eventos extremos.

En el 2010 y 2013 la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) publicó una serie de documentos sobre los efectos del cambio climático en países de Centroamérica y el Caribe.⁵ En estos estudios se uti-

⁵ En el apéndice se presentan más detalles sobre cada uno de estos documentos.

lizan funciones producción y también se realizan estimaciones de modelos ricardianos. Las estimaciones sobre los efectos del cambio climático en la agricultura de los países de Centroamérica muestran efectos negativos en la mayoría de los escenarios y horizontes temporales. Los resultados de las simulaciones indican que Belice podría ser el país más afectado de la región. Es importante mencionar que estos estudios destacan otro hecho relevante para el estudio del impacto del cambio climático en la agricultura: no todos los cultivos demuestran la misma sensibilidad ante choques climáticos. Así que, además de las capacidades adaptativas e institucionales de cada región, es importante considerar las condiciones iniciales y la especialización de cada país.

Por su parte, Ponce *et al.* (2014) analizan los efectos del cambio climático en el sector agrícola chileno, utilizando un modelo matemático de programación conocido como Programación Matemática Positiva (Howitt, 1995) el cual hace uso de simulaciones de Monte Carlo para tomar en cuenta la incertidumbre. Sus resultados muestran que los productores de frutas serán afectados mucho más que los productores de granos.

Tal y como se mencionó antes, el cambio climático, por su efecto en la agricultura, puede complicar los esfuerzos por reducir la pobreza e incluso puede agravarla. Galindo *et al.* (2014b) encuentran que de acuerdo con sus estimaciones en América Latina hasta 3.8 millones de personas podrían permanecer en condiciones de pobreza a consecuencia del cambio climático. López-Feldman (2013), por su parte, analiza la relación entre cambio climático y pobreza en los hogares rurales de México. De acuerdo con sus resultados, los efectos del cambio climático en la agricultura podrían llevar, dependiendo del escenario climático que se utilice, a aproximadamente 240 000 hogares por debajo de la línea de pobreza, agravando además las condiciones de muchos hogares que ya son pobres. Estos efectos son heterogéneos, siendo la región Sur-Sureste de México la que podría verse más afectada. Finalmente, Skoufias y Vinha (2013) investigan cuál es el efecto de los choques climáticos en el bienestar de las familias rurales y estiman que los hogares no pueden protegerse completamente ante cambios en patrones de temperatura. Además, los efectos reales en el consumo y producción dependen del momento en el que se tiene el choque en temperatura: esto es, cambios de temperatura en algunas temporadas y regiones afectan más al bienestar rural que otros.

Los estudios que acabamos de describir enfatizan dos aspectos relacio-

nados con el cambio climático y sus efectos en el desarrollo y la pobreza. En primer lugar, el cambio climático tenderá a afectar negativamente a las comunidades rurales, que en general tienen mayores índices de pobreza y desigualdad, dada la importancia del sector agrícola como fuente de ingreso y consumo. En segundo lugar, existe una gran heterogeneidad en los efectos del cambio climático; es decir, algunas regiones y hogares serán más propensos a experimentar los estragos del cambio climático que otros. En específico, el cambio climático acentuará cambios en la producción dependiendo de la temporada en la que ocurra algún evento extremo y de las condiciones de las regiones. Por lo tanto, algunas regiones se verán más afectadas que otras y dentro de las mismas regiones, los hogares más pobres también son los más vulnerables al cambio climático. Dado lo anterior, es importante que los hogares tengan la posibilidad de implementar medidas de adaptación al cambio climático para así disminuir su vulnerabilidad ante eventos extremos.

III. ADAPTACIÓN DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS AL CAMBIO CLIMÁTICO

La adaptación al cambio climático se puede definir como el rango de acciones que se toman en respuesta a cambios en las condiciones climáticas locales o regionales (Smit *et al.*, 2000). La adaptación no es algo nuevo, a lo largo de la historia los humanos han adaptado sus prácticas agrícolas para responder a condiciones económicas, sociales y ambientales cambiantes (Kurukulasuriya y Rosenthal, 2013). La diferencia principal es que ahora las condiciones climáticas están cambiando a una velocidad relativamente elevada y, por lo tanto, no queda claro qué tan rápido se podrán adaptar los agricultores a dichos cambios (Jones, Hole y Zavaka, 2012).

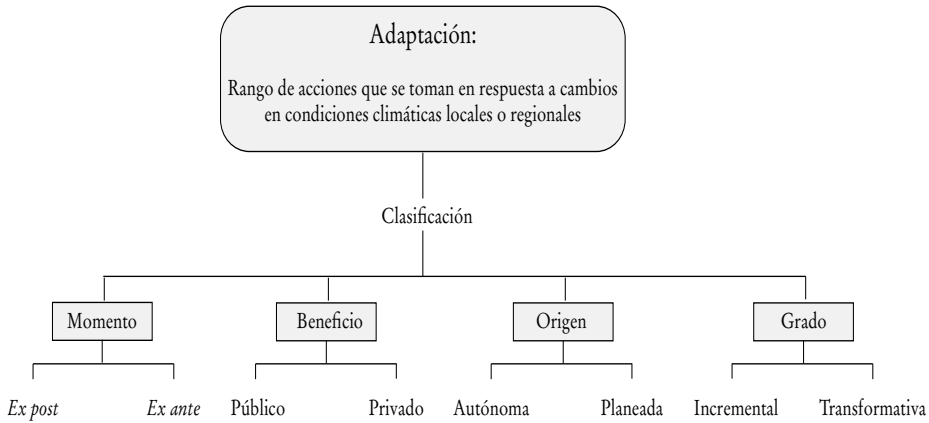
En varias partes del mundo los agricultores han comenzado a implementar algunas medidas de adaptación de bajo costo (*e.g.*, modificar las fechas de inicio de siembra o cambiar a otra variedad o tipo de cultivo). Sin embargo, es muy probable que esas medidas sean efectivas únicamente ante aumentos bajos de temperatura (Asafu-Adjaye, 2014). Se cree que esas adaptaciones voluntarias no serán suficientes para hacer frente al cambio climático y, por lo tanto, será necesaria la aplicación de medidas de adaptación planeada que incluyan componentes locales, regionales, nacionales e incluso internacionales (Howden *et al.*, 2007). Las medidas que pueden tener los mayores efectos (*e.g.*, la expansión de la irrigación o el desarrollo

de nuevas variedades de cultivos) implican, por lo general, costos elevados (Lobell *et al.*, 2008). Las medidas de adaptación más efectivas requerirán de un esfuerzo interdisciplinario en el que participen, entre otros, agrónomos, economistas, ingenieros, geógrafos, ecólogos, especialistas en desarrollo y climatólogos (McCarl, 2010).

Existen distintas formas de clasificar las medidas de adaptación al cambio climático (véase el diagrama 1). Cuando las medidas son reactivas se habla de medidas *ex post*, mientras que aquellas que se anticipan a los eventos se conocen como *ex ante*. Las medidas de adaptación pueden tener beneficios únicamente para el individuo que toma la decisión (medidas privadas) o pueden tener beneficios para un conjunto de individuos o agentes más allá del tomador de decisiones (medidas públicas). Dependiendo de su origen, la adaptación puede clasificarse también como autónoma o planeada. La adaptación autónoma se refiere a acciones tomadas voluntariamente por parte de los individuos o agentes, como las organizaciones de agricultores. Por su parte, la adaptación planeada se refiere a acciones o políticas implementadas por alguna organización, gubernamental o no, con el fin de complementar, fomentar o facilitar las respuestas de los agentes ante el cambio climático (Tubiello y Rosenzweig, 2008). Si se toma en cuenta el grado o la profundidad de las medidas, la adaptación se puede clasificar como incremental o transformativa. La primera se refiere a acciones de adaptación en las que el objetivo es mantener la esencia e integridad de un sistema o proceso (Park *et al.*, 2012). La adaptación transformativa se refiere a aquella que cambia las características fundamentales de un sistema en respuesta al clima y sus efectos (Kates *et al.*, 2012).

Dentro de este abanico de categorías, recientemente ha sido sugerida una gran cantidad de medidas de adaptación para el sector agrícola, las cuales van desde modificar los periodos de siembra y cosecha, hasta la construcción de grandes obras de infraestructura, pasando por la migración y la implementación de nuevas prácticas de producción.⁶ A pesar de que hasta el momento se tiene poca evidencia empírica respecto al éxito y efectividad de las distintas medidas de adaptación planeada, existen varias estrategias que se consideran recomendables. Entre ellas se encuentran las siguientes: aumentar el nivel de conocimiento que los agricultores tienen sobre el cambio climático; mejorar los niveles de educación y las habilidades de las

⁶ Kurukulasuriya y Rosenthal (2013) presentan una matriz detallada con opciones para la adaptación en el sector agrícola.

DIAGRAMA 1. *La adaptación y sus clasificaciones*

FUENTE: elaboración propia.

poblaciones rurales; crear e introducir variedades resistentes a la temperatura; promover la irrigación;⁷ generar sistemas de alerta temprana sobre la temporalidad y severidad de las lluvias; fortalecer los sistemas formales e informales de intercambio de semillas; mejorar la infraestructura física; resolver los problemas de falta de acceso al crédito y de falta de seguros agrícolas (Asafu-Adjaye, 2014; Di Falco *et al.*, 2012; Kabubo-Mariara y Karanja, 2007).

Las medidas antes mencionadas pueden considerarse como medidas de adaptación tradicionales. Recientemente se ha empezado a promover una nueva categoría de prácticas de adaptación basadas en ecosistemas (conocidas como EbA, por Environmental based Adaptation) entre las que se encuentran el establecimiento de áreas protegidas y los sistemas de pagos por servicios ambientales (Magrin *et al.*, 2014). La idea básica es que se pueden promover o mejorar las capacidades que los ecosistemas tienen de aislar a las comunidades humanas de los efectos adversos del cambio climático por medio de la provisión de servicios ambientales (un ejemplo típico

⁷ En lo que a la irrigación se refiere, es importante no perder de vista que uno de los efectos esperados del cambio climático es la modificación de los patrones de precipitación. En ese sentido, es importante que antes de promover grandes proyectos de desarrollo de infraestructura de irrigación en una región en específico se tengan en cuenta las proyecciones sobre disponibilidad de agua. Por otro lado, es posible que los proyectos que involucran tecnologías más eficientes de irrigación en lugar de derivar en ahorros en el uso de agua terminen provocando un efecto rebote con un consecuente aumento en el uso de agua (Ward y Pulido-Velázquez, 2008).

es la protección ante tormentas y huracanes que los manglares proveen a las poblaciones locales). Las medidas EbA pueden complementar o incluso sustituir a las medidas. Una ventaja adicional de las medidas EbA es que pueden proveer una serie de co-beneficios (*e.g.*, preservación de la biodiversidad) que difícilmente se obtienen con otro tipo de medidas (Jones, Hole y Zavaka, 2012).

1. *Políticas públicas y adaptación al cambio climático*

La implementación de medidas de adaptación enfrenta una cantidad formidable de barreras ambientales, económicas, de información, sociales, y de comportamiento (Howden *et al.*, 2007). El diseño de políticas de adaptación eficientes requiere entender cuál es el papel que distintas estrategias de adaptación pueden jugar, cuáles pueden ser las más exitosas, y qué condiciones favorecen u obstaculizan la adaptación. Dar respuestas precisas a estas preguntas continúa siendo un área abierta de investigación (Howden *et al.*, 2007).

Uno de los temas que sigue pendiente atañe a la identificación y medición de los costos de adaptación. Ésta es una tarea complicada, pues en muchos casos no se cuenta con una línea base, e incluir consideraciones sobre la incertidumbre resulta problemático. A pesar de esto hay evidencia de que los costos de adaptación se encuentran por debajo de los efectos esperados del cambio climático. Para el caso específico de Latinoamérica, las estimaciones sobre los costos de adaptación apuntan a que éstos están por debajo del 0.5% del PIB de la región (Galindo *et al.*, 2014a). Sin embargo, es importante destacar que el monto de los recursos necesarios es superior a lo que la región dispone actualmente para ese fin (Vergara *et al.*, 2014).

Para poder diseñar políticas públicas adecuadas es necesario entender los determinantes de las decisiones autónomas de adaptación, así como los factores que determinan que una política de adaptación planeada sea exitosa. Como lo menciona la OECD (2012), es importante reconocer que detrás de la decisión de adecuar o no una medida de adaptación están tanto los estímulos internos que enfrenta el agricultor (*e.g.*, el riesgo de perder su ingreso y sus percepciones ambientales) como los estímulos externos que afectan al sistema agrícola en general (*e.g.*, la política macroeconómica y los arreglos institucionales). Entender el papel que los factores sociales y culturales juegan en términos de facilitar o inhibir la adopción de medidas de adaptación es fundamental. Existe una serie de factores (sociales, culturales,

tecnológicos) interrelacionados que afectan de manera simultánea tanto a la percepción que los individuos u hogares tienen del riesgo climático como a su capacidad de adaptación. Estos factores pueden variar entre regiones lo que hará que individuos con características similares reaccionen de manera distinta a una misma política.

Entender el proceso de adaptación es aún más complejo en el caso de los pequeños agricultores y los agricultores de subsistencia en países en desarrollo. En muchos casos existen barreras a la adopción, como mercados financieros incompletos, falta de asistencia técnica y restricciones en la disponibilidad de insumos complementarios como la irrigación o los fertilizantes (Adams *et al.*, 1998; Asafu-Adjaye, 2014). En el caso específico de la adopción de nuevas tecnologías, entre las posibles barreras se encuentran los costos asociados a la adaptación y también el acceso a la información y la capacidad de procesar esa información (Asafu-Adjaye, 2014). Otras barreras a la adopción de medidas de adaptación son la falta de programas de extensión así como el limitado acceso a crédito (Di Falco, Veronisi y Yesuf, 2012).

Adicionalmente, es importante reconocer, como lo ha mostrado la economía del comportamiento, que en muchas ocasiones los individuos toman decisiones que parecen no seguir un comportamiento racional (OECD, 2012). Es por esto que la OCDE recomienda que, en el diseño de políticas para promover la adaptación autónoma, se considere la posibilidad de hacer uso de herramientas de la economía del comportamiento como “el pequeño empujón” (nudge),⁸ así como la formación de redes y el aprovechamiento de las normas sociales para promover la acción colectiva (OECD, 2012).

El cambio climático implica un reto muy importante para los países en desarrollo que aún tienen pendiente, entre otras cosas, la reducción de la pobreza en la que vive una parte importante de su población. Por lo tanto, a pesar de que se necesita más investigación a nivel microeconómico para entender los determinantes de la adaptación (Di Falco, Veronesi y Yesuf, 2011), es claro que las intervenciones tendientes a promover y facilitar la adaptación al cambio climático no deben de estar desligadas de otras intervenciones que buscan promover el desarrollo rural, la disminución de la pobreza y el manejo de los recursos naturales (Howden *et al.*, 2007; Di

⁸ De acuerdo con Thaler y Sunstein (2008: p. 6), se entiende por nudge cualquier aspecto relacionado con la toma de decisiones de los individuos y que puede afectar su comportamiento en una forma predecible sin recurrir a ningún tipo de obligación o prohibición, ni tampoco a un cambio significativo en los incentivos económicos que los individuos enfrentan.

Falco *et al.*, 2012). Es decir, la adaptación al cambio climático no debe verse como un tema aislado sino como parte de una estrategia de desarrollo que sea, por así decirlo, resiliente al clima (OECD, 2014).

Lograr lo anterior requiere, entre otras cosas, una coordinación entre las distintas dependencias y niveles del gobierno. Sin embargo, no existe una receta infalible para lograr una buena coordinación entre dependencias. Si bien es posible que esto suceda cuando la responsabilidad de coordinar las políticas climáticas, y sus implicaciones en la economía y en general en el bienestar de la población, recae en un ministerio central (*e. g.*, el Ministerio de Finanzas o de Hacienda) con fuerza suficiente como para lograr la cooperación de otros ministerios (OECD, 2012), también es posible que la coordinación sea mejor cuando la responsabilidad está en un ministerio especializado (*e. g.*, el Ministerio de Medio Ambiente). Al contar con un ministerio especializado existe un mayor conocimiento de los requerimientos técnicos y se disminuye el riesgo de que el tema se vuelva de segundo orden, como puede suceder si la responsabilidad recae en el Ministerio de Finanzas o de Hacienda (Mullan *et al.*, 2013). Lo que es indudable es que contar con un presupuesto adecuado para el diseño, implementación y evaluación de las políticas de adaptación es un prerrequisito indispensable para el buen funcionamiento de cualquier política de adaptación.

El desarrollo de estrategias y planes de adaptación es muy reciente, por lo que la implementación de políticas de adaptación está, en el mejor de los casos, en su etapa inicial y aún es muy pronto para evaluar las pocas medidas existentes (Mullan *et al.*, 2013; OECD, 2014). Mullan *et al.* (2013) hacen un análisis sobre algunos de los retos que los países integrantes de la OCDE enfrentan para diseñar e implementar políticas de adaptación de manera exitosa. Entre ellos destacan la falta de información, problemas para asegurar el financiamiento de las medidas de adaptación y el diseño de mecanismos para medir y evaluar si las estrategias implementadas efectivamente logran reducir la vulnerabilidad al cambio climático.

Conforme las políticas de adaptación se vayan implementando será necesario realizar ejercicios de evaluación y monitoreo de su desempeño. Esto es importante tanto por consideraciones de transparencia y rendición de cuentas como para obtener información que permita mejorar las políticas y programas de adaptación (Mullan *et al.*, 2013). El reto no es sencillo debido a la incertidumbre, no-linealidad y horizonte temporal del cambio climático. El último punto es especialmente problemático pues en muchos casos

los efectos de las medidas de adaptación sólo serán aparentes después de un largo plazo (20-50 años), cuando los efectos del cambio climático sean experimentados y la eficiencia de la adaptación pueda ser medida (Dinshaw *et al.*, 2014). Tubiello y Rosenzweig (2008) proponen una serie de indicadores generales que pueden verse como un punto de partida para construir indicadores específicos que permitan evaluar las implicaciones de distintas políticas climáticas en un contexto determinado. Algunas medidas específicas basadas en ese marco general son rendimiento de cultivos y su variabilidad, indicadores de estrés hídrico, valor de la tierra, índices de nutrición y número de gente en riesgo de hambre. Dichas métricas pueden utilizarse como punto de partida para definir umbrales de vulnerabilidad más allá de los cuales la habilidad de un sistema para soportar cambios climáticos se ve seriamente disminuida.

En todo caso, no existe un método único para la evaluación de las políticas de adaptación y será necesario combinar métodos cuantitativos con métodos cualitativos (Dinshaw *et al.*, 2014). Una opción puede ser realizar evaluaciones de aquellos proyectos de adaptación que resulten innovadores. Sin embargo, un sistema efectivo de monitoreo y evaluación deberá ser capaz de evaluar el panorama completo así que la evaluación de proyectos específicos debe complementarse con evaluaciones de carácter más general sin importar que se refieran a escalas y periodos temporales distintos (OECD, 2014).

De acuerdo con Fernandes *et al.* (2012), en América Latina las medidas de adaptación como el uso de irrigación y el uso de variedades mejoradas tienen el potencial de reducir significativamente los efectos negativos del cambio climático en el sector agrícola. Con todo, también mencionan que pueden pasar varias décadas antes de que los efectos benéficos de dichas adaptaciones se cristalicen. A pesar de que en este momento no se cuenta con la información suficiente como para elaborar una lista exhaustiva de las posibles medidas de adaptación para América Latina, es un hecho que existe una amplia cartera de medidas que están siendo probadas (Vergara *et al.*, 2014). Los países de América Latina han dedicado esfuerzos a desarrollar políticas públicas para promover la adaptación al cambio climático; ejemplo de ello son los diversos planes nacionales de acciones climáticas los cuales contienen una serie de mecanismos destinados a la mitigación o adaptación al cambio climático. Ahora bien, es necesario que las buenas intenciones se vean acompañadas de voluntad política y de presupuestos acordes al ta-

maño de los retos; algo que lamentablemente no sucede con frecuencia en América Latina.

CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un recuento de la importancia que el sector agrícola tiene para el crecimiento económico y del potencial que tiene para contribuir a la reducción de la pobreza. La evidencia empírica muestra que en Latinoamérica dicho potencial no ha sido plenamente aprovechado. Más allá de esto, queda claro que el sector juega un papel importante tanto para la población rural como para la población urbana. Es por esto que, dado que el clima es uno de los principales determinantes de la productividad agrícola, el cambio climático representa una amenaza para la región.

La revisión de la literatura sobre los efectos del cambio climático deja en claro que los efectos serán heterogéneos (tanto entre países como al interior de los mismos) y que además pueden ser sumamente cuantiosos. Es por esto que es necesario contar con políticas públicas que busquen la mitigación de los gases de efecto invernadero a la vez que promuevan la adaptación ante el cambio climático. La literatura que analiza los determinantes de la adaptación al nivel de los hogares o los agricultores es aún muy limitada; esto es cierto no sólo para Latinoamérica sino en todo el mundo. Esta carencia debe ser subsanada pues limita el diseño de políticas públicas eficaces que puedan coadyuvar a que los individuos tomen medidas eficaces de adaptación ante el cambio climático. Es necesario contar con más estudios empíricos sustentados en datos longitudinales a nivel hogar, agricultor o granja.

A nivel mundial la implementación de políticas públicas para promover la adaptación es aún incipiente y, por lo tanto, no existen análisis sobre qué políticas funcionan mejor y bajo qué condiciones; no se pueden identificar las mejores prácticas o dar recomendaciones específicas sobre qué medidas tomar en un contexto específico. En todo caso, dado que los factores económicos, sociales, culturales, ambientales e institucionales afectan tanto la percepción que los individuos tienen sobre los riesgos climáticos como el conjunto de alternativas a las que tienen acceso, es poco probable que se puedan encontrar recomendaciones genéricas que sean válidas en todos los contextos y para todos los países. Adicionalmente, los gobiernos tendrán el reto de lograr comunicar a la población cuáles son las dimensiones reales de los riesgos que enfrentan y cómo éstos pueden variar dependiendo de

las condiciones locales. Dada la incertidumbre y limitantes que rodean a la ciencia del cambio climático, éste no es un reto menor. Sin embargo, es fundamental que la población cuente con información suficiente y adecuada para poder tomar las decisiones de prevención y adaptación que más le convengan.

Es recomendable que los gobiernos de los países latinoamericanos promuevan la investigación científica que trate de entender la forma en la que los agricultores perciben los riesgos climáticos, las limitantes que pueden enfrentar al momento de tomar decisiones de adaptación y la forma en que los contextos locales afectan tanto a la percepción del riesgo como a las acciones de adaptación. Si la investigación en torno a la adaptación es aún incipiente, la que se enfoca en la percepción de riesgos climáticos lo es aún más. En todo caso, la información que se obtenga de este tipo de investigación debería ser utilizada por los gobiernos de la región para diseñar políticas de adaptación que resulten relevantes localmente. Es recomendable que al diseñar dichas políticas además de considerar opciones tradicionales, incluidos instrumentos económicos como los subsidios e impuestos, se consideren alternativas de adaptación más recientes como las prácticas de adaptación basadas en ecosistemas e incluso opciones novedosas que hagan uso de propuestas basadas en la economía del comportamiento (*e. g.*, el *nudge*). Esta es otra área de investigación que permanece prácticamente sin ser explorada.

Dada la incertidumbre tanto en términos de la magnitud de los efectos del cambio climático como del momento en el que estos se presentarán, es muy importante que las políticas sean flexibles y que puedan ser modificadas. En este sentido, es fundamental que al diseñar las políticas se diseñe también una estrategia de monitoreo y evaluación de las mismas para que los gobiernos tengan información confiable y oportuna que les permita saber si la política está cumpliendo sus objetivos o si debe ser modificada. No está de más enfatizar que diseñar políticas de adaptación y mecanismos de monitoreo y evaluación sin acompañarlos de un presupuesto adecuado termina siendo un ejercicio fútil.

Por último, se debe tomar en cuenta que aunque los modelos predican que los efectos más graves del cambio climático se empezarán a sentir dentro de varias décadas es importante que la adaptación se promueva desde ahora para evitar que la población esté expuesta a alteraciones repentinas en las condiciones climáticas.

APÉNDICE

CUADRO A1. *Publicaciones por metodología y región*

<i>Autores</i>	<i>Metodología</i>	<i>Paí /región</i>
Adams <i>et al.</i> (1990)	Función de producción, modelo de simulación (método experimental)	Estados Unidos
Da Cunha, Coelho y Féres (2014)	Modelo de ecuaciones simultáneas con <i>switching</i> endógeno	Brasil
Darwin, Tsigas, Lewandrowski y Raneses (1995)	Modelo de equilibrio general computable	Varios países
Deschenes y Greenstone (2007)	Efectos fijos	Estados Unidos
Di Falco, Veronesi y Yesuf (2011)	Modelo de ecuaciones simultáneas	Etiopía
Di Falco, Yesuf, Kohlin y Ringler (2012)	Modelo ricardiano (pseudo efectos fijos y variables instrumentales).	Etiopía
Fischer, Shah, Tubiello y Velhuizen (2005)	Modelo FAO/IIASA de zonas agroecológicas junto con un modelo IIASA de sistema de alimentación global	Global
Fisher, Hanemann, Roberts y Schlenker (2012)	Efectos fijos (Réplica a DG, 2007)	Estados Unidos
Galindo, Alatorre y Reyes (2015b)	Modelo ricardiano estructural	Perú
Galindo, Reyes, Alatorre (2015)	Modelo ricardiano con datos panel	Mexico
Jones y Thornton (2003)	Modelo de simulación (modelo de Markov)	América Latina y África
Kane, Reilly y Tobey (1992)	Modelo de simulación de política estática mundial (Swopsim)	Global
Mendelsohn, Arellano-González y Christensen (2009)	Modelo ricardiano	México
Mendelsohn, Nodhaus y Shaw (1994)	Modelo ricardiano	Estados Unidos
Ponce, Blanco y Giupponi (2014)	Modelo de oferta agrícola	Chile
Rosenzweig y Parry (1994)	Modelo de equilibrio general	Mundial
Schlenker y Roberts (2009)	Método generalizado de momentos	Estados Unidos
Schlenker, Hanemann y Fisher (2005)	Regresión hedónica del valor de las tierras de cultivo	Estados Unidos
Schlenker, Hanemann y Fisher (2006)	Regresión hedónica del valor de las tierras de cultivo	Estados Unidos
Seo (2008)	Mínimos cuadrados ordinarios, datos en panel y dos modelos espaciales	Sudamérica
Seo (2010)	Logit mixto. Regresiones de valor de tierra	Latinoamérica
Seo y Mendelsohn (2008a)	Modelo ricardiano	Latinoamérica
Seo y Mendelsohn (2008b)	Logit multinomial	Sudamérica
Seo, McCarl y Mendelsohn (2010)	Logit multinomial	Sudamérica
Timmins (2006)	Modelo ricardiano controlando por endogeneidad	Brasil

CUADRO A2. *Estudios sobre el impacto del cambio climático en la agricultura de América Latina*

<i>Autor</i>	<i>País</i>	<i>Resultados principales</i>
Galindo <i>et al.</i> (2015)	Perú	Pérdidas entre 8 y 13% de los ingresos
López Feldman (2013)	México	Aproximadamente 240 000 hogares adicionales por debajo de la línea de pobreza
Mendelsohn, Arellano-González, Christensen (2009)	México	Pérdidas entre -42 y -54% del valor de tierra
Mora, Ramírez, Ordaz, Acosta y Serna (2010)*	Guatemala	La renta de la tierra por hectárea disminuye en 5.8 dólares (5% de la renta promedio)
Mora, Ramírez, Ordaz, Acosta y Serna (2010)*	Panamá	El valor de venta de la finca o parcela disminuye en 7.15 dólares (24% del valor promedio de venta de la finca)
Ordaz, Ramírez, Mora, Acosta y Serna (2010)*	Costa Rica	El ingreso por alquiler de la propiedad disminuye cerca de dos dólares
Ordaz, Ramírez, Mora, Acosta y Serna (2010)*	El Salvador	El ingreso por alquiler de la propiedad disminuye en 46 centavos de dólar (2% de la ganancia mensual por alquiler de propiedad)
Ordaz, Ramírez, Mora, Acosta y Serna (2010)*	Honduras	Disminución de las ganancias agrícolas mensuales promedio de 1.7 dólares (1% del ingreso promedio, pero 23% de hogares con menos ingresos)
Ponce, Blanco y Giupponi (2013)	Chile	Variación de 7.4 a 40% en pérdidas de rendimientos dependiendo de la región y cultivo
Ordaz, Mora, Acosta, Serna y Ramírez (2010)*	Nicaragua	El valor contingente de la renta de la tierra disminuye en 2.20 dólares (5% del valor contingente de la renta de tierra)
Ramírez, Ordaz, Mora, Acosta y Serna (2013)*	Belice	Para 2010, existirían pérdidas acumuladas de 35% del PIB de 2007
Seo (2008)	Sudamérica	Pérdida de entre 8 y 20% del valor de la tierra
Seo (2010)	Sudamérica	Pérdida de entre 2 y 8% de valor de tierra
Seo y Mendelsohn (2008a)	Sudamérica	Pérdida de 14% de ingreso para 2020, 20% para 2060 y 53% para 2100
Seo y Mendelsohn (2008b)	Sudamérica	Se elegirían calabaza, frutas y vegetales más frecuentemente. Se elegirían maíz, papas, leguminosas y trigo menos frecuentemente
Skoufias y Vinha (2013)	México	Los choques de temperatura afectan el ingreso de las familias dependiendo la temporalidad del choque
Timmins (2006)	Brasil	Pérdidas de entre 12 y 17% del valor total de tierra

* Documento de la CEPAL al que se hace referencia en la nota al pie de página 477.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, R. M. (1989), "Global Climate Change and Agriculture: an Economic Perspective", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 71, núm. 5, pp. 1272-1279.
- , B. H. Hurd, S. Lenhart y N. Leary (1998), "Effects of Global Climate Change on Agriculture: An Interpretative Review", *Climate Research*, vol. 11, núm. 1, pp. 19-30.
- , B. A. McCarl, D. J. Dudek y J. D. Glycer (1988), "Implications of Global Climate Change for Western Agriculture", *Western Journal of Agricultural Economics*, vol. 13, núm. 2, pp. 348-356.
- , C. Rosenzweig, R. M. Peart, J. T. Ritchie, B. A. McCarl, J. D. Glycer y L. H. Allen, (1990), "Global Climate Change and US Agriculture", *Nature*, vol. 345, núm. 17, pp. 219-224.
- Alesina, A., y R. Perotti (1996), "Income Distribution, Political Instability, and Investment", *European Economic Review*, vol. 40, núm. 6, pp. 1203-1228.
- Alston, J. M., y P. G. Pardey (2014), "Agriculture in the Global Economy", *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 28, núm. 1, pp. 121-146.
- Anríquez, G., y K. Stamoulis (2007), "Rural Development and Poverty Reduction: is Agriculture Still the Key", *Electronic Journal of Agricultural and Development Economics*, vol. 4, núm. 1, pp. 5-46.
- Asafu-Adjaye, J. (2014), "The Economic Impacts of Climate Change on Agriculture in Africa", *Journal of African Economies*, vol. 23, supl. 2, pp. ii17-ii49.
- Banco Mundial, *Agriculture, value added (% of GDP)*, disponible en <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators>
- , *GDP per capita (constant 2005 US\$)*, disponible en <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators>
- Barbier, E. B. (2004), "Agricultural Expansion, Resource Booms and Growth in Latin America: Implications for Long-run Economic Development", *World Development*, vol. 32, núm. 1, pp. 137-157.
- Birthal, P. S., M. T. Khan, D. S. Negi y S. Agarwal (2014), "Impact of Climate Change on Yields of Major Food Crops in India: Implications for Food Security", *Agricultural Economics Research Review*, vol. 27, núm. 2, pp. 145-155.
- Bliss, C., y N. Stern (1978), "Productivity, Wages and Nutrition: Part I: The Theory", *Journal of Development Economics*, vol. 5, núm. 4, pp. 331-362.
- Bravo-Ortega, C., y D. Lederman (2005), "Agriculture and National Welfare around the World: Causality and International Heterogeneity since 1960", documento de trabajo de investigación política del Banco Mundial núm. 3499, Banco Mundial, Washington D. C.
- Cervantes-Godoy, D., y J. Dewbre (2010), "Economic Importance of Agriculture for Poverty Reduction", documento de trabajo de comida, agricultura y pescadería de la OCDE núm. 23, OECD Publishing, París.

- Da Cunha, D. A., A. B. Coelho y J. G. Féres (2015), "Irrigation as an Adaptive Strategy to Climate Change: An Economic Perspective on Brazilian Agriculture", *Environment and Development Economics*, vol. 20, núm. 01, pp. 57-79.
- Darwin, R., M. E. Tsigas, J. Lewandrowski y A. Raneses (1995), *World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations*, United States Department of Agriculture, Economic Research Service, Washington D. C.
- De Janvry, A., y E. Sadoulet (2009), "Agricultural Growth and Poverty Reduction: Additional Evidence", *World Bank Research Observer*, vol. 25, núm. 1, pp. 1-20.
- Deschênes, O., y M. Greenstone (2007), "The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather", *The American Economic Review*, vol. 97, núm. 1, pp. 354-385.
- , y M. Greenstone (2012), "The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Reply", *American Economic Review*, vol. 102, núm. 7, pp. 3761-3773.
- Di Falco, S., M. Veronesi y M. Yesuf (2011), "Does Adaptation to Climate Change Provide Food Security? A Micro-perspective from Ethiopia", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 93, núm. 3, pp. 829-846.
- , M. Yesuf, G. Kohlin y C. Ringler (2012), "Estimating the Impact of Climate Change on Agriculture in Low-income Countries: Household Level Evidence from the Nile Basin, Ethiopia", *Environmental and Resource Economics*, vol. 52, núm. 4, pp. 457-478.
- Dinshaw, A., S. Fisher, H. McGray, N. Rai y J. Schaar (2014), "Monitoring and Evaluation of Climate Change Adaptation: Methodological Approaches", documento de trabajo del medio ambiente de la OCDE núm. 74, OECD Publishing, París.
- Fernandes, E., A. Soliman, R. Confalonieri, M. Donatelli y F. Tubiello (2012), *Climate Change and Agriculture in Latin America, 2020-2050: Projected Impacts and Response to Adaptation Strategies*, Banco Mundial, Washington.
- Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir y L. L. White (eds.) (2014), *IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press / Cambridge, Reino Unido / Nueva York.
- Fischer, G., M. Shah, F. N. Tubiello y H. Van Velhuizen (2005), "Socio-economic and Climate Change Impacts on Agriculture: An Integrated Assessment, 1990-2080", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 360, núm. 1463, pp. 2067-2083.
- Fisher, A. C., W. M. Hanemann, M. J. Roberts y W. Schlenker (2012), "The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Comment", *The American Economic Review*, vol. 102, núm. 7, pp. 3749-3760.

- Gallup, J. L., S. Radelet y A. Warner (1998), "Economic Growth and the Income of the Poor", Manuscript, Harvard Institute for International Development, Universidad de Harvard, Cambridge, Massachusetts.
- Galindo, L. M., J. E. Alatorre y O. Reyes (2015a), "Adaptación al cambio climático a través de la elección de cultivos en Perú", *El Trimestre Económico*, vol. LXXXII, núm. 1327, pp. 489-519.
- , O. Reyes y J. E. Alatorre (2015b), "Climate Change, Irrigation and Agricultural Activities in Mexico: A Ricardian Analysis with Panel Data", *Journal of Development and Agricultural Economics*, vol. 7, núm. 7, pp. 262-273.
- , J. Samaniego, J. E. Alatorre y J. Ferrer (2014a), "Procesos de adaptación al cambio climático: análisis de América Latina", documentos de proyectos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe núm. 647, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.
- , J. Samaniego, J. E. Alatorre, J. Ferrer y O. Reyes (2014b), "Cambio climático, agricultura y pobreza en América Latina: Una aproximación empírica", documentos de proyectos núm. 620 de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.
- Gollin, D., S. Parente y R. Rogerson (2002), "The Role of Agriculture in Development", *American Economic Review*, vol. 92, núm. 2, pp. 160-164.
- Hanemann, W. M., y L. Dale (2006), "Economic Damages from Climate Change: An Assessment of Market Impacts", Departamento de Agricultura de la Universidad de Berkeley, California.
- Hertel, T. W., y S. D. Rosch (2010), "Climate Change, Agriculture, and Poverty", *Applied Economic Perspectives and Policy*, vol. 32, núm. 3, pp. 355-385.
- Howden, S. M., J. F. Soussana, F. N. Tubiello, N. Chhetri, M. Dunlop y H. Meinke, H. (2007), "Adapting Agriculture to Climate Change", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, núm. 50, pp. 19691-19696.
- Howitt, R. E. (1995), "Positive Mathematical Programming", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 77, núm. 2, pp. 329-342.
- Johnston, B. F., y J. W. Mellor (1961), "The Role of Agriculture in Economic Development", *The American Economic Review*, vol. 51, núm. 4, pp. 566-593.
- Jones, H. P., D. G. Hole y E. S. Zavaleta (2012), "Harnessing Nature to Help People Adapt to Climate Change", *Nature Climate Change*, vol. 2, núm. 7, pp. 504-509.
- Jones, P. G., y P. K. Thornton (2003), "The Potential Impacts of Climate Change on Maize Production in Africa and Latin America in 20552", *Global Environmental Change*, vol. 13, núm. 1, pp. 51-59.
- Kabubo-Mariara, J., y F. K. Karanja (2007), "The Economic Impact of Climate Change on Kenyan Crop Agriculture: A Ricardian Approach", *Global and Planetary Change*, vol. 57, núm. 3, pp. 319-330.
- Kane, S., J. Reilly y J. Tobey (1992), "An Empirical Study of the Economic Effects

- of Climate Change on World Agriculture”, *Climatic Change*, vol. 21, núm. 1, pp. 17-35.
- Kates, R. W., W. R. Travis y T. J. Wilbanks (2012), “Transformational Adaptation when Incremental Adaptations to Climate Change are Insufficient”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, núm. 19, pp. 7156-7161.
- Kurukulasuriya, P., N. Kala y R. Mendelsohn (2011), “Adaptation and Climate Change Impacts: A Structural Ricardian Model of Irrigation and Farm Income in Africa”, *Climate Change Economics*, vol. 2, núm. 02, pp. 149-174.
- , y S. Rosenthal (2013), “Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts and Adaptations”, documento de trabajo núm. 91, Agricultural and Rural Development Department.
- Lewis, W. A. (1954), “Economic Development with Unlimited Supplies of Labour”, *The Manchester School*, vol. 22, núm. 2, pp. 139-191.
- Lobell, D. B., M. B. Burke, C. Tebaldi, M. D. Mastrandrea, W. P. Falcon y R. L. Naylor (2008), “Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030”, *Science*, vol. 319, núm. 5863, pp. 607-610.
- , y M. B. Burke (2010), “On the Use of Statistical Models to Predict Crop Yield Responses to Climate Change”, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 150, núm. 11, pp. 1443-1452.
- Long, S. P., E. A. Ainsworth, A. D. Leakey, J. Nösberger y D. R. Ort (2006), “Food for Thought: Lower-than-expected Crop Yield Stimulation with Rising CO₂ Concentrations”, *Science*, vol. 312, núm. 5782, pp. 1918-1921.
- Lopez-Feldman, A. (2013), “Climate Change, Agriculture and Poverty: A Household Level Analysis for Rural Mexico”, *Economics Bulletin*, vol. 33, núm. 2, pp. 1126-1139.
- Magrin, G. O., J. A. Marengo, J.-P. Boulanger, M. S. Buckeridge, E. Castellanos y S. Vicuña (2014), “Central and South America”, en V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir y L. L. White (eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press/Cambridge, Reino Unido/Nueva York, pp. 1499-1566.
- McCarl, B. A. (2010), “Analysis of Climate Change Implications for Agriculture and Forestry: An Interdisciplinary Effort”, *Climatic Change*, vol. 100, núm. 1, pp. 119-124.
- Mendelsohn, R., W. D. Nordhaus y D. Shaw (1994), “The Impact of Global Warming on Agriculture: a Ricardian Analysis”, *American Economic Review*, vol. 84, núm. 4, pp. 753-771.
- , y A. Dinar (1999), “Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaptation Matter?”, *The World Bank Research Observer*, vol. 14, núm. 2, pp. 277-293.

- Mendelsohn, R., y M. E. Schlesinger (1999), "Climate-Response Functions", *Ambio*, vol. 28, núm. 4, pp. 362-366.
- (2009), "The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries", *Journal of Natural Resources Policy Research*, vol. 1, núm. 1, pp. 5-19.
- , J. Arellano-Gonzalez y P. Christensen (2010), "A Ricardian Analysis of Mexican Farms", *Environment and Development Economics*, vol. 15, núm. 2, pp. 153-171.
- Mora, J., J. L. Ordaz, A. Acosta, B. Serna Hidalgo y D. Ramírez (2010), "Panamá: efectos del cambio climático sobre la agricultura", Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.
- , D. Ramírez, J. L. Ordaz, A. Acosta y B. Serna (2010), "Guatemala: efectos del cambio climático sobre la agricultura", Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.
- Mullan, M., N. Kingsmill, A. M. Kramer y S. Agrawala (2013), "National Adaptation Planning: Lessons from OECD Countries", documento de trabajo del medio ambiente de la OCDE núm. 54, OECD Publishing, París.
- OECD (2012), *Farmer Behaviour, Agricultural Management and Climate Change*, OECD Publishing, París.
- (2014), *Climate Resilience in Development Planning: Experiences in Colombia and Ethiopia*, OECD Publishing, París.
- Ordaz, J. L., J. Mora, A. Acosta, B. Serna Hidalgo y D. Ramírez (2010), "Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura", Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.
- , J. Mora, A. Acosta, B. Serna Hidalgo y D. Ramírez (2010), "El Salvador: efectos del cambio climático sobre la agricultura", Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.
- , J. Mora, A. Acosta, B. Serna Hidalgo y D. Ramírez (2010), "Honduras: efectos del cambio climático sobre la agricultura", Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.
- , J. Mora, A. Acosta, B. Serna Hidalgo y D. Ramírez (2010), "Nicaragua: efectos del cambio climático sobre la agricultura", Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.
- , J. Mora, A. Acosta, B. Serna y D. Ramírez (2013), "Belize: Effects of Climate Change on Agriculture", Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.
- Park, S. E., N. A. Marshall, E. Jakku, A. M. Dowd, S. M. Howden, E. Mendham y A. Fleming (2012), "Informing Adaptation Responses to Climate Change Through Theories of Transformation", *Global Environmental Change*, vol. 22, núm. 1, pp. 115-126.
- Ponce, R., M. Blanco y C. Giupponi (2014), "The Economic Impacts of Climate Change on the Chilean Agricultural Sector: A non-linear Agricultural Supply Model", *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol. 74, núm. 4, pp. 404-412.

- Reilly, J. (1999), "What Does Climate Change Mean for Agriculture in Developing Countries? A Comment on Mendelsohn and Dinar", *The World Bank Research Observer*, vol. 14, núm. 2, pp. 295-305.
- Rosenzweig, C., y M. L. Parry (1994), "Potential Impact of Climate Change on World Food Supply", *Nature*, vol. 367, núm. 6459, pp. 133-138.
- Schlenker, W., W. M. Hanemann y A. C. Fisher (2005), "Will US Agriculture Really Benefit from Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach", *American Economic Review*, vol. 95, núm. 1, pp. 395-406.
- , W. M. Hanemann y A. C. Fisher (2006), "The Impact of Global Warming on US Agriculture: An Econometric Analysis of Optimal Growing Conditions", *Review of Economics and Statistics*, vol. 88, núm. 1, pp. 113-125.
- , y M. J. Roberts (2009), "Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to US Crop Yields under Climate Change", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, núm. 37, pp. 15594-15598.
- Seo, S. N. (2008), "Assessing Relative Performance of Econometric Models in Measuring the Impact of Climate Change on Agriculture Using Spatial Autoregressive Parameter", *Review of Regional Studies*, vol. 38, núm. 2, pp. 195-209.
- , y R. Mendelsohn (2008a), "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on South American Farms", *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol. 68, núm. 1, pp. 69-79.
- , y R. Mendelsohn (2008b), "An Analysis of Crop Choice: Adapting to Climate Change in South American Farms", *Ecological Economics*, vol. 67, núm. 1, pp. 109-116.
- (2010), "A Microeconometric Analysis of Adapting Portfolios to Climate Change: Adoption of Agricultural Systems in Latin America", *Applied Economic Perspectives and Policy*, vol. 32, núm. 3, pp. 489-514.
- Skoufias, E., y K. Vinha (2013), "The Impacts of Climate Variability on Household Welfare in Rural Mexico", *Population and Environment*, vol. 34, núm. 3, pp. 370-399.
- Smit, B., I. Burton, R. J. Klein y J. Wandel (2000), "An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability", *Climatic Change*, vol. 45, núm. 1, pp. 223-251.
- Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley (eds.) (2013), *IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press / Cambridge, Reino Unido / Nueva York.
- Strauss, J. (1986), "Does Better Nutrition Raise Farm Productivity?", *The Journal of Political Economy*, vol. 94, núm. 2, pp. 297-320.
- Thirtle, C., L. Lin y J. Piesse (2003), "The Impact of Research-Led Agricultural Productivity Growth on Poverty Reduction in Africa, Asia and Latin America", *World Development*, vol. 31, núm. 12, pp. 1959-1975.

- Timmer, C. P. (2002), "Agriculture and Economic Development", cap. 29, en B. L. Gardner, y G. C. Rousser (eds.), *Handbook of Agricultural Economics*, vol. 2, North-Holland, Ámsterdam.
- Timmins, C. (2006), "Endogenous Land use and the Ricardian Valuation of Climate Change", *Environmental and Resource Economics*, vol. 33, núm. 1, pp. 119-142.
- Tubiello, F. N., y C. Rosenzweig (2008), "Developing Climate Change Impact Metrics for Agriculture", *Integrated Assessment*, vol. 8, núm. 1, pp. 165-184.
- Tsakok, I., y B. Gardner (2007), "Agriculture in Economic Development: Primary Engine of Growth or Chicken and Egg?", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 89, núm. 5, pp. 1145-1151.
- Valdés, A., y W. Foster (2010), "Reflections on the Role of Agriculture in Pro-Poor Growth", *World Development*, vol. 38, núm. 10, pp. 1362-1374.
- Vergara, W., A. Rios, L. M. Galindo, P. Gutman, P. Isbell, P. Sluding y J. Samaniego (2014), "El desafío climático y de desarrollo en América Latina y el Caribe: opciones para un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono", División de Cambio Climático y Sostenibilidad, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D. C.
- Wang, J. X., J. K. Huang y Y. A. N. G. Jun (2014), "Overview of Impacts of Climate Change and Adaptation in China's Agriculture", *Journal of Integrative Agriculture*, vol. 13, núm. 1, pp. 1-17.
- Ward, F. A., y M. Pulido-Velazquez (2008), "Water Conservation in Irrigation can Increase Water Use", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105, núm. 47, pp. 18215-18220.