



Adaptación al cambio climático y sus efectos en la economía de los hogares rurales mexicanos productores de alimentos

Climate change adaptation and its effects on the economy of the rural Mexican household food producers

Alan Martín Hernández-Solano^{§*}
Véronique Sophie Avila-Foucat^{*}

Información del artículo

Recibido:
2 agosto 2017

Aceptado:
21 septiembre 2018

Clasificación JEL:
O13; O15; Q54; Q12

Palabras clave:
Agricultura;
Distribución del
Ingreso; Calentamiento
Global; Microanálisis
de empresas agrícolas,
hogares agrícolas y
mercados de insumos
agrícolas

Resumen

En este artículo, se analizan los posibles impactos del Cambio Climático (CC) y de sus medidas de adaptación en el superávit/déficit comercial del maíz, en la producción y los ingresos reales de los hogares establecidos en la zona rural de México, a partir de un Modelo de Equilibrio General Aplicado y Microeconómico, y de estimaciones directas de los efectos del CC en los rendimientos del maíz obtenidas de la literatura relacionada. Los resultados encontrados muestran que el cambio climático reducirá el ingreso real rural en 6.23% y que afectará, en mayor medida, a la producción de maíz, al grado que la zona pasará de ser superavitaria a deficitaria. Además, se obtuvo que, si bien las medidas de adaptación analizadas ayudarán a reducir los efectos negativos del fenómeno, estas no los eliminarán totalmente.

§ Programa de Becas Posdoctorales, UNAM. email: alan20mhs@gmail.com

*Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Mario de la Cueva, Ciudad de la Investigación en Humanidades, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, México, D.F.

ISSN Electrónico: 2448-8402 | ISSN Impreso: 1870-221X | ©2019 Los autores

Citar así: Hernández-Solano, A. y V.S. Avila-Foucat (2019). Adaptación al cambio climático y sus efectos en la economía de los hogares rurales mexicanos productores de alimentos. *Ensayos Revista de Economía*, 38(1), 61-86. <http://dx.doi.org/10.29105/ensayos38.1-3>

Esta investigación es parte del proyecto UNAM-DGAPA- PAPIIT IN301516.

Article information	Abstract
Received: 2 august 2017 Accepted: 21 september 2018	This article analyzes the possible impacts of the climate change (CC) and its adaptation measures on the maize trade surplus/deficit, on the production, and on the real income of households established in rural Mexico. The analysis is based on an Applied and Microeconomic General Equilibrium Model and on the estimates of the direct effects of CC on maize yields obtained from the related literature. The results show that climate change will reduce the real rural income by 6.23% and will affect corn production to the extent that the area will change from being a surplus to a deficit. In addition, it is found that while the adaptation measures analyzed in the paper will help to reduce the negative effects of the phenomenon, they will not completely eliminate them.
JEL Classification: O13; O15; Q54; Q12 Keywords: Agriculture; Income distribution; Global Warming; Micro Analysis of Farm Firms, Farm Households, and Farm Input Markets	

Introducción

En economía, se han usado distintas metodologías para predecir los impactos del cambio climático (CC) sobre la producción y los ingresos de los hogares. Una de ellas es la que a partir de un Modelo Ricardiano (MR), con el que se estima econométricamente el ingreso neto correspondiente al cultivo más rentable que puede producirse en cada granja a partir de ciertos niveles de temperatura y precipitación, posibilita proyectar los ingresos netos rurales futuros ante el CC (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw, 1994). Una extensión y mejora del MR es el llamado Modelo Estructural Ricardiano (MER). Su aplicación permite conocer explícitamente cómo se adaptan los agricultores ante el CC, y el cambio en el ingreso neto que ello trae consigo (Seo and Mendelsohn, 2008). Las limitaciones más importantes del MR y MER son, que los precios se asumen constantes en el tiempo y que no toman en cuenta los costos que los agricultores deben realizar para adaptarse (Seo y Mendelsohn, 2008).

Los Modelos de Equilibrio General Aplicados (MEGA) consideran cambios en precios, así como los efectos directos e indirectos del CC. Además, con este enfoque, se toman en cuenta adaptaciones específicas y los costos que estas generan (Döll, 2009; Hertel, Burke y Lobell, 2010; Mideksa, 2010; Ahmed, Diffenbaugh y Hertel, 2009). Un tercer conjunto de modelos para estimar los efectos del CC son los hidro-económicos, como el desarrollado por Medellín-Azuara, Howitt y Lund (2011), en el que combinan un modelo de producción agrícola (el SWAP) y uno hidro-económico usado para

administrar el sistema de agua de California. Por último, hay modelos biofísicos con los que se simulan los efectos del CC en la productividad de algunos cultivos y que, combinados con modelos de equilibrio parcial o de equilibrio general, evalúan los efectos del fenómeno, considerando algunas estrategias de adaptación (Fernandes, Soliman, Confalonieri, Donatelli y Tubiello, 2012; Nelson *et al.*, 2009).

En la literatura relacionada con el tema, son escasos los estudios que analizan las consecuencias del cambio climático en la economía mexicana. Un grupo de ellos se basa en estimaciones de funciones de producción (Meza-Pale y Yúnez-Naude, 2015; Gay, Estrada, Conde, Eakin y Villers, 2006) y otro grupo aplica el MR (Lopez-Feldman, 2013; Mendelsohn, Arellano-Gonzalez y Christensen, 2010; Galindo, Alatorre y Reyes, 2015). También está el modelo econométrico con el que Jessoe, Manning y Taylor (2014) estiman los efectos del CC en la migración doméstica y hacia los EUA de los hogares rurales mexicanos. Por último, están los MEGA de Yunez-Naude y Rojas-Castro (2008) y de Hernandez-Solano (2015): el primero enfocado a medir los impactos en la economía mexicana de la reducción del suministro de agua para irrigación, y el segundo, para estimar los impactos del CC en el medio rural con un enfoque microeconómico.

Con la finalidad de contribuir a la reducción de la brecha existente en la literatura sobre los impactos del CC en la economía mexicana, en este artículo, se analizan los posibles efectos del CC y de sus medidas de adaptación en los ingresos, la producción y los superávits/déficits comerciales de los hogares rurales de México y de la zona rural en general, a partir de un Modelo de Equilibrio General Aplicado y Microeconómico (o MEGAM) y de los datos de la Encuesta Nacional a Hogares Rurales de México de 2007.

Por varias razones, se considera que el presente estudio es relevante. En primer lugar, esta es la primera ocasión en que se analizan, para el caso de México, las implicaciones de adoptar medidas de adaptación explícitas ante el CC. En segundo lugar, el MEGAM empleado en el artículo es novedoso, ya que en él se modelan de manera conjunta las fallas en el mercado del maíz y del trabajo familiar, que conducen a algunos hogares a cultivar el grano totalmente para su autoconsumo y/o a sufrir de desempleo. Además, en él se permite la libre movilidad de la tierra y del trabajo familiar del hogar en las actividades del mismo. Finalmente, los resultados obtenidos aportarán elementos indispensables para la elaboración de políticas públicas. Entre otros, darán cuenta de las diferencias de los efectos del CC y de sus medidas de adaptación entre los distintos hogares y, en consecuencia, proporcionarán información para que el gobierno planee y focalice sus intervenciones destinadas a combatir los efectos negativos del fenómeno.

Incluyendo la actual, el artículo tiene siete secciones. En la segunda se exponen las ecuaciones y la lógica detrás del Modelo de Equilibrio General Aplicado y Microeconómico utilizado. En la tercera, se describe la información empleada: 1) para la elaboración de la Matriz de Contabilidad Social (o MCS) de la zona rural de México para 2007, con la que se calibra el MEGAM, y 2) la correspondiente a los impactos directos del CC y de sus medidas de adaptación en los rendimientos del maíz, utilizada para simular el fenómeno. Además, se explica brevemente la construcción de la MCS. En la cuarta sección, a partir de la MCS elaborada, se describe la estructura económica de la zona rural y de sus hogares. En la quinta, se exponen los resultados hallados y en la sexta, se profundiza sobre las implicaciones que estos tienen en términos de la seguridad alimentaria, la desigualdad y la explotación de los recursos naturales. Por último, en la séptima sección se presentan las conclusiones.

1. Modelo

Los efectos del cambio climático y de sus medidas de adaptación se estiman a partir de un Modelo de Equilibrio General Microeconómico y Aplicado (o MEGAM, por sus siglas en español), que se construye a partir del modelo de Taylor, Dyer y Yúnez-Naude (2005) y el de Hernández-Solano (2015). El MEGAM consiste en cinco modelos de hogares agrícolas que se insertan en un modelo de equilibrio general del sector rural, y estos simulan el comportamiento económico de los cinco tipos de hogares, en que se clasifica a los hogares rurales de México.

La clasificación de los hogares rurales mexicanos se realiza a partir de la tenencia de la tierra agrícola. Los carentes de ella, se distinguen en aquellos que la rentan para la producción agrícola y en los que no se dedican a actividades agropecuarias (que en ocasiones se les denominará hogares no productores), mientras que los propietarios se dividen de acuerdo con el tamaño del predio que cultivan, en: pequeños productores (superficie menor a 2 has.), medianos productores (superficie de entre 2 y 5 has.), y grandes productores (superficie mayor de 5 has.).

La diferencia principal del MEGAM construido con respecto a sus predecesores es que, en él, se modelan de manera conjunta las fallas en el mercado del maíz y del trabajo familiar que llevan a algunos hogares a cultivar el grano totalmente para su autoconsumo y/o a sufrir de desempleo. Además, el MEGAM construido permite la libre movilidad de la tierra y del trabajo familiar del hogar, en las actividades del mismo.

En las siguientes dos subsecciones, se describen las principales ecuaciones que definen al MEGAM elaborado. En la primera, se plantea el modelo de

hogar agrícola empleado para simular el comportamiento de los cinco tipos de hogares rurales y, en la segunda, se detallan las ecuaciones correspondientes a los cierres de mercado del modelo de equilibrio general de la zona rural mexicana.

1.1 Modelo de hogar agrícola

El modelo de hogar agrícola utilizado asume que el h -ésimo hogar rural ($h=1, \dots, 5$) consume una cantidad X_i^h del bien i ($i=1, \dots, I$), cuyo precio viene dado por p_i y cuyas preferencias de consumo pueden modelarse a partir de una función tipo Cobb-Douglas, definida por la expresión: $U^h(X_1^h, \dots, X_I^h) = \prod_{i=1}^I (X_i^h)^{\alpha_{i,h}}$. En donde, $\alpha_{i,h}$ es el porcentaje del ingreso que el hogar h destina al consumo del bien i .

El ingreso del hogar h proviene de dos fuentes. La primera corresponde a los retornos de los factores del hogar, los cuales se dividen, en: los rentados en el mercado, que pueden ser la tierra rentada ($O_{T,R}^h$); el trabajo asalariado ($O_{L,R}^h$) y el capital rentado ($O_{C,R}^h$), así como los que se emplean en las actividades económicas propias del hogar, que se identifican con la variable $O_{j,k,P}^h$, la cual indica la cantidad del factor propio k (tierra, capital o trabajo familiar), que el hogar h emplea en la actividad j ($j=1, \dots, J$). La segunda fuente son las transferencias monetarias que recibe el hogar, y que pueden ser públicas (de programas sociales) o privadas (como las recibidas de la iglesia), a las cuales se les representará mediante la variable \bar{Y}_h .

El hogar puede realizar J actividades económicas a partir de insumos y factores de producción, los cuales pueden ser propios, comprados o rentados en el mercado. Además, se asume que las funciones de producción son Cobb-Douglas, por lo que el beneficio neto obtenido por la j -ésima actividad realizada por el hogar h , viene dado por:

$$\pi_{j,h} = p_j * A_{j,h} \prod_{k,s} (D_{j,k,s}^h)^{\beta_{j,k,s,h}} - \sum_{k,s} w_{j,k,s,h} * D_{j,k,s}^h$$

Donde p_j es el precio del bien j y el subíndice k se refiere al k -ésimo factor o insumo de producción. $A_{j,h}$ es el factor de productividad de la actividad j -ésima del hogar h , $D_{j,k,s}^h$ es la demanda del k -ésimo insumo o factor de producción, el cual puede ser del hogar ($s=P$) o comprado o rentado en el mercado ($s=R$). Finalmente, los coeficientes $\beta_{j,k,s,h}$ son las elasticidades de los factores o insumos y $w_{j,k,s,h}$, el precio del factor o insumo k empleado en la producción de bien j , por parte del hogar h .

Es importante aclarar que, como en Taylor, Dyer y Yúnez-Naude (2005) y Taylor y Dyer (2009), la migración nacional y hacia Estados Unidos de

América (o EUA) se modelan como cualquiera de las actividades económicas del hogar. En particular, se asumió que la migración emplea como insumo trabajo del hogar y produce remesas. Las elasticidades del trabajo del hogar en la migración (los $\beta_{j,k,s,h}$ de la ecuación previa), se calcularon econométricamente, por tipo de hogar, utilizando la propuesta de Taylor y Dyer (2009) y los datos de la Encuesta Nacional de Hogares Rurales de México de 2007. Para ello, se estimó un modelo en el que se explica al logaritmo de las remesas (libres de los costos de migrar) enviadas a los hogares, a partir del logaritmo del trabajo asignado a la migración, corrigiendo por problema del sesgo de selección muestral. Además, dado que el hogar puede destinar el trabajo de sus miembros a las actividades económicas locales o a la migración para obtener remesas, entonces, la condición de equilibrio de la migración en el MEGAM es, que el producto marginal del trabajo asalariado de las actividades económicas locales sea igual al de la migración.

Dado todo lo anterior, se tiene que el hogar h decide cuánto producir y consumir de cada bien, al resolver el siguiente problema de optimización:

$$\text{Max } U^h(X_1^h, \dots, X_I^h)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^I p_i * X_i^h = \sum_{j=1}^J \pi_{j,h} + \sum_{j=1}^J \left(\sum_k w_{j,k,P,h} * O_{j,k,P}^h \right) + \bar{Y}_h$$

En el que k puede ser tierra, capital o trabajo y $j = 1, \dots, J$.

1.2 Cierres de mercado

El MEGAM tiene dos grupos de cierres de mercados, uno para los bienes y otro para los factores. En el primer caso, se asume que los precios de los bienes de consumo y producción distintos al maíz son exógenos y que se fijan por la oferta y demanda mundial, es decir, se considera el caso de una economía pequeña, por lo que pueden existir déficits o superávits comerciales.

Además, con la finalidad de modelar correctamente el mercado del maíz en México, se consideran dos cerraduras para dicho bien. La primera, corresponde a los hogares que no venden el maíz en el mercado, es decir, los productores de autoconsumo o subsistencia. Hernández-Solano, Ávila Foucat, and Dyer (2018) y Arslan y Taylor (2009), demuestran teórica y empíricamente que, en la zona rural de México, los hogares de autoconsumo producen el maíz a partir de un precio sombra y no el del mercado. Este precio sombra es no observable, endógeno al productor y es el que iguala la oferta y la demanda del maíz. Por lo anterior, la cerradura en el mercado del

maíz, para los pequeños productores propietarios (que producen el grano para la subsistencia), es:

$$Q_{maíz}^{pp} - (X_{maíz}^{pp} + V_{maíz}^{pp}) = 0$$

En donde, $Q_{maíz}^{pp}$ es la función de producción de maíz de los pequeños productores propietarios (*pp*), $X_{maíz}^{pp}$ es su consumo del grano y $V_{maíz}^{pp}$ es la cantidad total de maíz que estos emplean como insumo en sus actividades productivas.

La segunda cerradura en el mercado del maíz corresponde a los productores del grano que lo hacen con fines comerciales (productores distintos a los pequeños productores propietarios). En este caso, se asume que, como sucede en la realidad, México no tiene poder de mercado en el mundo por lo que el precio del maíz está dado por el internacional y los productores comerciales son tomadores de precios.

Algo que se debe reconocer es que, en este trabajo, se asume que los precios internacionales del maíz se mantienen constantes, lo que es una limitación, ya que en la medida en que el CC afecte (positiva o negativamente) al resto de los países, afectará a dicho precio y por tanto, tales cambios podrían modificar los resultados que se han encontrado.

En cuanto a los cierres de mercados de los factores de producción, se consideran tres tipos. El primero corresponde a la existencia de un mercado nacional rural para el factor tierra y trabajo, por lo que existe un único precio para el trabajo asalariado (w) y la renta de la tierra (rt), que son los que se ajustan para igualar la oferta y demanda nacional rural.

El segundo tipo de cierres de mercados considera, como se observa en la realidad mexicana, la existencia de fallas en el mercado de la tierra propia y del trabajo familiar, que solo permiten la movilidad de estos entre las actividades productivas del hogar. Por lo que existe un precio sombra en el nivel hogar para cada uno de estos factores, que iguala su oferta y demanda dentro del mismo.

Finalmente, el tercer tipo de cierres surge de asumir que el capital es fijo en cada actividad, por lo que debe existir un precio sombra que iguale su oferta y demanda en cada una de las actividades de los hogares.

2. Datos

La información utilizada en la presente investigación proviene de dos fuentes. La primera corresponde a la empleada para la construcción de la Matriz de Contabilidad Social (o MCS) de la zona rural de México para 2007, que proviene totalmente de la Encuesta Nacional a Hogares Rurales de

México de 2007 (o ENHRUM 2007). La cual es una encuesta representativa de los hogares rurales que viven en localidades de entre 500 y 2499 habitantes, y fue diseñada específicamente para la elaboración de dicha matriz. Por ello, recoge información sobre la composición de los hogares y las características de sus integrantes, así como de sus actividades económicas y de variables relacionadas con sus activos, créditos, servicios financieros, ahorros, gastos y vivienda.

La elaboración de la MCS de la zona rural de México sirvió para calibrar el MEGAM y sus características principales son las que siguen. Consta de 18 actividades productivas, que corresponden a las categorías en las que se clasificaron al total de las actividades económicas realizadas en el medio rural. La actividad agrícola cíclica se dividió en producción de maíz, de frijol y del resto de los productos cíclicos (denominados “otros cíclicos”), que a su vez se les diferenció por su acceso al agua, es decir, si son de riego o temporal. Los cultivos perennes se clasificaron en café, caña de azúcar y en el resto de los cultivos perennes (denominados “otros perennes”). En cuanto a la ganadería, se le diferenció, en: mayor, equina y de traspatio. La migración se dividió en la doméstica y la hecha hacia Estados Unidos de América (EUA). Finalmente, el resto de las actividades se clasificaron en construcción, comercios y servicios, extracción de recursos naturales y otras actividades.

La MCS es microeconómica ya que registra la información sobre los ingresos y gastos de cada uno de los cinco hogares en los que se les clasificó a los hogares rurales de México (véase sección anterior), así como los ingresos y gastos de cada una de sus actividades realizadas.

Los factores de producción considerados en la MCS son la tierra, el capital y el trabajo, los cuales se diferenciaron entre los que se rentan en el mercado y los que pertenecen al hogar. En cuanto a las instituciones, además de los cinco tipos de hogares, se toman en cuenta al gobierno, a los programas PROCAMPO y OPORTUNIDADES, y a las instituciones privadas. También, se consideró en la MCS, a la cuenta ahorro y al exterior, que se clasificó en la zona urbana y en los EUA.

La construcción de la MCS consistió de dos etapas. En la primera, se registraron los ingresos y gastos de cada una de las cuentas que componen a la matriz. Y en la segunda, se empleó la metodología *cross entropy* (Robinson y El-Said, 2000) para conciliar la información asentada.

El registro de los ingresos y gastos de las actividades económicas se hizo a partir de la información brindada por los hogares dedicados a tales actividades. Lo que es posible, ya que en la ENHRUM se registra detalladamente a nivel hogar, la información de los distintos costos (por usos de insumos y factores, créditos, transporte, impuestos, etc.) e ingresos (por

ventas, autoconsumo, regalos, programas sociales, etc.) monetarios y no monetarios, de cada una de las actividades económicas realizadas. Así como el lugar en donde se genera dicho ingreso o gasto (en la localidad, fuera de la localidad o en EUA). Algo que se debe mencionar es que, la producción de maíz de los hogares de subsistencia y el trabajo familiar, que se emplea en actividades propias, de todos los hogares se valoraron con sus precios sombra, los cuales se estimaron económicamente usando la metodología propuesta por Hernández-Solano, Ávila Foucat, and Dyer (2018).

Los gastos de los hogares se toman de la sección de la encuesta que registra detalladamente para cada hogar: los gastos en bienes duraderos y no duraderos; pagos de servicios públicos y privados, y por transferencias; y otros tipos de gastos. Cabe señalar que, en la gran mayoría de los casos, se indica si tales gastos se hacen en la localidad, fuera de la localidad o en EUA. En cuanto a los ingresos de los hogares, los provenientes de transferencias públicas y privadas vienen de los declarados por ellos mismos. También, de la sección de crédito se obtiene el pago que reciben por el ahorro en instituciones públicas o privadas. Los ingresos por los pagos a sus factores se toman de la sección de las actividades económicas y de una sección de la ENHRUM dedicada exclusivamente a recoger información del nivel hogar, sobre los salarios recibidos de las actividades locales y de la migración (interna y hacia EUA).

Por último, los ingresos y gastos del resto de las cuentas se obtienen de manera indirecta de la información recopilada en las fuentes previamente descritas.¹

La segunda fuente de información empleada en el artículo, corresponde a los efectos esperados en los rendimientos del maíz debidos al CC, con y sin considerar estrategias de adaptación. Las estimaciones provienen del trabajo de Rosenzweig e Iglesias (2000), quienes utilizan modelos de simulación de cultivos para calcular los posibles impactos del CC, en los rendimientos de varios cultivos de un conjunto de países, en los que se incluye al maíz de México. Los efectos del CC se simulan bajo tres escenarios: sin adaptación, con adaptación tipo I y adaptación tipo II. En donde la adaptación tipo I se refiere a cambios que implican pequeños costos a los productores: cambios en la fecha de siembra (de +/- 1 mes); aplicación adicional de agua de riego a cultivos que ya se encuentran bajo riego y, cambios en la variedad de cultivos. Y la adaptación tipo II comprende acciones que implican la realización de costos significativos: grandes cambios en la fecha de siembra

¹ Los cuestionarios de la ENHRUM 2007 y sus bases de datos pueden consultarse en <https://das-ac.mx/>

(> 1 mes); mayor aplicación de fertilizantes; instalación de sistemas de riego y el desarrollo de nuevas variedades.

Las estimaciones de Rosenzweig e Iglesias (2000) indican que el CC reducirá los rendimientos del maíz en México, en 41%; no obstante, si se emplean las medidas de adaptación tipo I, la reducción será sólo de 37% y bajo las medidas de adaptación tipo II será de 18%.

3. Estructura de la economía

La MCS elaborada permite conocer la estructura de la producción de la zona rural de México en 2007, así como los ingresos de los hogares que en ella habitan y las fuentes de tales ingresos.

En cuanto a la producción, las columnas 2-7 del cuadro 1 muestran las contribuciones a la producción nacional rural de las actividades de los hogares, y la columna 8, el valor de la producción rural de las distintas actividades económicas.

Dicho cuadro indica que los hogares con tierra agrícola son los que más contribuyen a la producción de la zona rural: los pequeños y medianos propietarios con el 21%, y los grandes con el 26%. Los hogares sin tierra contribuyen en menor medida, los que la arriendan, con el 17% y los no productores, con el 15%.

En cuanto a la estructura de la producción de los hogares, se tiene que para los que arriendan la tierra, los no productores agrícolas y los pequeños propietarios, más de la mitad de su producción depende solo de una actividad: los comercios y servicios para los primeros dos, y el maíz de temporal para el último. Contrario a lo anterior, la producción de los medianos propietarios depende en su mayoría de la producción de maíz (de riego y temporal) y de los comercios y servicios, mientras que la de los grandes propietarios depende fuertemente del maíz de temporal, de la ganadería mayor y de los comercios y servicios.

A partir del cuadro 1, también se puede analizar la importancia de cada una de las actividades económicas en la producción de la zona rural de México. Se observa que las que más contribuyen son los comercios y servicios (con un 36.9%), el maíz de temporal (con un 23.1%) y la ganadería mayor (con un 12.2%).

Cuadro 1
Contribución de las actividades económicas de los hogares a la
producción nacional rural

Actividades	Hogares sin tierra		Hogares con tierra			Todos	Valor de producción (MDP*)
	Arriendan	No productores	Subsistencia [0,2) has.	Mediano [2,5) has.	Grande +5 has.		
Maíz de temporal	0.1%	0.0%	10.2%	7.5%	5.1%	23.1%	63,606.88
Maíz de riego	0.1%	0.0%	0.6%	6.3%	1.9%	8.9%	24,552.19
Frijol de temporal	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.2%	0.4%	972.86
Frijol de riego	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.1%	0.3%	843.03
Otros cíclicos de temporal	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.1%	0.5%	1,442.83
Otros cíclicos de riego	0.0%	0.0%	0.1%	0.5%	2.2%	2.9%	7,924.32
Café	0.0%	0.0%	0.2%	0.1%	0.1%	0.4%	1,188.97
Caña de azúcar	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	1.1%	1.4%	3,800.27
Otros cultivos perenes	0.1%	0.0%	0.4%	0.9%	0.4%	1.9%	5,198.45
Ganadería mayor	2.8%	0.0%	2.7%	3.0%	3.8%	12.2%	33,683.32
Ganadería de traspato	0.4%	0.0%	0.4%	0.2%	0.1%	1.2%	3,234.44
Ganadería equina	0.2%	0.0%	0.3%	0.3%	0.3%	1.1%	3,055.49
Construcción	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	241.60
Comercios y servicios	10.8%	11.5%	3.6%	6.4%	4.5%	36.9%	101,652.20
Recursos naturales	1.8%	2.8%	1.4%	0.4%	1.4%	7.8%	21,486.12
Otras actividades	0.3%	0.5%	0.2%	0.0%	0.0%	1.1%	2,910.90
Todas las actividades	16.7%	14.9%	20.6%	26.3%	21.4%	100.0%	275,793.86

*MDP significa millones de pesos.

Fuente: Elaboración propia.

Por el lado de los ingresos, la MCS indica que los que obtienen los mayores son los grandes y medianos propietarios, y ascienden a \$23,054.75 y \$19,903.05 anules per cápita, respectivamente. Los ingresos de los pequeños propietarios son de \$10,605.30 y están en un rango intermedio, mientras que los de los hogares sin tierra son los más bajos: los que la rentan obtienen \$8,520.68 y los no productores, \$7,433.07.

La MCS también permite analizar las principales fuentes de ingresos de los hogares rurales. En el cuadro 2, se muestra la participación de distintas fuentes en los ingresos de los hogares. Se observa que, como se esperaba, los medianos y grandes propietarios obtienen la mayor parte de sus ingresos (el 71.26 % y 64.22%, respectivamente) por el uso de sus factores (tierra, trabajo y capital), en actividades económicas propias. Para el caso de los pequeños propietarios, estos obtienen cerca del 45.95% de sus ingresos por el concepto anterior, y además, para ellos representan fuentes importantes las transferencias recibidas de otros hogares de la localidad (aportan un 19.2%).

Cuadro 2
Participación de distintas fuentes en los ingresos de los hogares

Fuente	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		
	Arriendan	No productores	Subsistencia [0,2) has.	Medianos [2,5) has.	Grandes +5 has.
Factores					
Trabajo asalariado	19.02%	23.79%	12.00%	2.66%	3.48%
Trabajo familiar	17.46%	15.11%	19.03%	16.68%	15.77%
Resto de factores familiares	9.53%	8.54%	26.92%	54.57%	48.45%
Resto de factores	0.86%	0.59%	0.82%	2.28%	3.73%
Transferencias					
De hogares de la localidad	15.32%	16.78%	19.21%	6.43%	12.27%
PROCAMPO	0.99%	0.40%	1.08%	0.87%	2.70%
OPORTUNIDADES	6.12%	3.53%	4.88%	2.10%	1.70%
Gobierno	1.19%	2.44%	0.83%	0.70%	0.86%
Remesas	16.84%	15.50%	9.42%	10.31%	7.67%
De otras de instituciones privadas	0.08%	0.15%	0.01%	0.00%	0.01%
Otras fuentes	12.58%	13.18%	5.80%	3.40%	3.36%
Todas las fuentes	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

La generación de ingresos de los hogares sin tierra difiere a la de los hogares propietarios. Para estos hogares, los factores familiares empleados en las actividades propias participan en menor medida en sus ingresos, en un 27% para los que rentan la tierra y en 23.65% para los no productores. Una fuente principal de sus ingresos es el trabajo asalariado que aporta un 19.02% y 23.79%, respectivamente. Otra fuente importante son las transferencias recibidas de otros hogares de la localidad, que contribuyen con el 15.32% al ingreso de los hogares que rentan la tierra, y con el 16.78% al de los no productores. Finalmente, se debe mencionar que, la migración (dentro de México y hacia EUA) toma relevancia en la generación del ingreso de estos hogares: las remesas aportan un 16.84% al ingreso de los que rentan la tierra y un 15.5%, al de los no productores.

4. Resultados

El MEGAM elaborado se calibra con la MCS descrita en la sección anterior, para reproducir la economía rural de México en 2007; posteriormente, se emplea para simular tres escenarios de cambio climático y con ello analizar los posibles impactos que el fenómeno podría traer sobre la economía rural. El primer escenario de CC corresponde a la situación en que el fenómeno afecta los rendimientos del maíz en un 41%, y no se considera medida de adaptación alguna. En el segundo escenario, los hogares productores de maíz realizan adaptaciones al CC que conllevan gastos pequeños (adaptaciones tipo I), por lo que la reducción de los rendimientos es solo del 37%. Finalmente, en el tercer escenario, los hogares productores del grano realizan adaptaciones más costosas (adaptaciones tipo II), por lo que la caída en los

rendimientos es del 18%. Como se mencionó previamente, los cambios en los rendimientos del maíz debido al CC y a las medidas de adaptación vienen del trabajo de Rosenzweig e Iglesias (2000).²

La simulación de cada escenario se realiza como en Fernandes et al. (2012), y consiste en insertar en el MEGAM los efectos directos del CC en los rendimientos del maíz, como choques exógenos en el factor de productividad de las funciones de producción del grano de los hogares y, con ello, obtener el nuevo equilibrio de la economía (ahora con CC). En particular, si en el año base, la producción del maíz del hogar h viene dada por la función Cobb-Douglas $Q_{maíz}^h = A_{maíz,h} \prod_{k,s} (D_{maíz,k,s}^h)^{\beta_{maíz,k,s,h}}$ (véase la sección del modelo), y se espera que el CC reduzca su rendimiento en un $(\theta * 100)\%$, entonces, para llevar a cabo la simulación del escenario, se considerará que la nueva función de producción del maíz del hogar h , vendrá dada por $Q_{maíz}^{h*} = (1 - \theta) * A_{maíz,h} \prod_{k,s} (D_{maíz,k,s}^h)^{\beta_{maíz,k,s,h}}$.

La forma en que se modelan los escenarios, se debe a que los efectos directos del CC en los rendimientos del maíz, obtenidos a partir de modelos de cultivos, indican cómo varía la producción cuando se mantienen constantes los niveles de insumos y factores, y solo se modifican las variables climáticas y las relacionadas con ciertas medidas de adaptación. Algo que se debe reconocer, es que una limitación del modelo y de la mayoría de los Modelos de Equilibrio General utilizados para analizar los efectos de la adaptación al CC, radica en que no se consideran los costos de la adaptación, y la razón principal de que así sea, es la falta de información sobre dichos costos.

Una vez simulado cada escenario de CC (con y sin adaptación), se cuantifican los posibles impactos del fenómeno comparando el nuevo equilibrio de la economía con respecto a su estado base, es decir, la economía en 2007. A continuación, se describen los resultados hallados para cada escenario simulado.

2 Aunque es deseable utilizar información desagregada, no se encontraron datos públicos desagregados de los posibles impactos de medidas de adaptación sobre los efectos directos del CC en los rendimientos del maíz de México. No obstante, Fernandes et al. (2012), presenta estimaciones agregadas más recientes sobre los efectos directos del CC y de un tipo de adaptación (más parecida a la tipo II) en el maíz. Los resultados obtenidos a partir de los datos de Fernandes et al. (2012), y de Rosenzweig e Iglesias (2000) son muy similares, pero en este trabajo se emplean los segundos, ya que permiten una mejor discusión al estudiar dos tipos de adaptación.

4.1 Escenario de CC sin adaptación

En primer lugar, se simula el efecto que tendría en la economía rural la reducción del 41% de la productividad del maíz, resultado del cambio climático y de no realizar ninguna medida de adaptación.

El cuadro 3 muestra los efectos de los distintos escenarios de CC sobre los ingresos reales de los hogares y de la zona rural. Los resultados para el escenario analizado (sin adaptación) indican que los dos hogares sin tierra, quienes la rentan para actividades agrícolas y los que no realizan las anteriores, se verán beneficiados por el CC, ya que su ingreso real aumentará en 0.2% y 0.6%, respectivamente. Lo contrario sucede con los propietarios de dicho factor de producción, pues su ingreso real se reduce en 3.5% para los grandes productores, en 7.9% para los medianos y en 15.2% para los pequeños. Además, en términos agregados, el ingreso real rural decrece en un 6.23%.

Cuadro 3
Efectos del CC y de su adaptación en los ingresos reales de los hogares rurales

Escenario	Hogares sin tierra		Hogares con tierra			Zona rural
	Arriendan	No productores	Subsistencia [0,2) has.	Medianos [2,5) has.	Grandes +5 has.	
Sin adaptación	0.2%	0.6%	-15.2%	-7.9%	-3.5%	-6.23%
Adaptación tipo I	0.1%	0.5%	-14.2%	-7.8%	-3.4%	-5.95%
Adaptación tipo II	0.0%	0.2%	-7.5%	-7.5%	-3.0%	-4.10%

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la producción, cuadro 4, se tiene que en un escenario de CC sin adaptación, se reduce la rentabilidad del maíz para los hogares que rentan la tierra agrícola, por lo que disminuye su producción de riego en 55.84% y en 63.15% la de temporal. También, decrece ligeramente su producción de la ganadería mayor, la de otros cultivos perenes, la de la construcción, y la de la migración doméstica y hacia EUA, y en mayor medida, la producción de las actividades denominadas como otras y la de los recursos naturales. No obstante, su producción de los comercios y servicios, y la de la ganadería equina y de traspatio tiene un pequeño incremento, siendo este más grande en la producción de frijol de temporal y de otros cultivos cíclicos de temporal.

Cuadro 4
Efectos del CC (sin adaptación) sobre la producción de los hogares rurales

Actividad	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		
	Arriendan	No productores	Subsistencia [0,2] has.	Medianos [2,5] has.	Grandes +5 has.
Maíz de temporal	-63.15%		-41.32%	-100.00%	-100.00%
Maíz de riego	-55.84%		65.02%	-100.00%	-99.76%
Frijol de temporal	58.10%		-33.58%	-32.60%	0.88%
Frijol de riego			-4.59%	28.73%	1.52%
Otros cíclicos de temporal	59.28%		9.90%	-23.96%	5.73%
Otros cíclicos de riego	0.00%		-29.84%	24.84%	48.67%
Café			-100.00%	-100.00%	-100.00%
Caña de azúcar			-98.24%	5797.80%	636.51%
Otros cultivos perenes	-0.53%		-3.29%	19.01%	-7.06%
Ganadería mayor	-0.68%		-100.00%	-14.20%	-0.34%
Ganadería de traspatio	2.26%		-100.00%	-20.55%	17.50%
Ganadería equina	3.41%		-99.17%	-53.05%	134.12%
Construcción	-0.76%	0.50%	2.44%		
Comercios y servicios	3.74%	-0.11%	-100.00%	-12.39%	1.34%
Recursos naturales	-2.62%	-1.16%	187.57%	-99.10%	-0.56%
Otras actividades	-6.03%	-3.90%	4.97%	-32.89%	
Migración doméstica	-0.09%	-0.46%	-0.02%	-0.30%	-0.41%
Migración a USA	-0.30%	-0.25%	-0.07%	-0.20%	-0.12%

Nota: Un espacio en blanco significa que el hogar en cuestión no realiza dicha actividad.
Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los hogares sin actividades agropecuarias (columna 3 del cuadro 4), se observa que estos reducen parcialmente la producción de todas sus actividades económicas excepto la de la construcción, que presenta un pequeño incremento.

En cuanto a los efectos del CC (sin adaptación) sobre los pequeños hogares (columna 4 del cuadro 4), se tiene que estos reducen la producción del maíz de temporal y aumentan la de riego. Resultado que puede explicarse a partir

del precio sombra del grano, ya que aunque inicialmente la producción de maíz se ve reducida por la caída en sus rendimientos, el incremento de su precio sombra amortigua tal reducción, incluso, revierte el efecto para el grano cultivado bajo riego. Además, dichos hogares disminuyen la producción de riego del resto de los cultivos cíclicos, la del frijol de temporal y la de los otros cultivos perennes, así como la de la migración (doméstica y hacia EUA) y, de manera casi total, la de la caña de azúcar y de la ganadería equina. La producción de café, la de la ganadería mayor y de traspatio y la de los comercios y servicios dejan de ser rentables para estos hogares, por lo que son abandonadas. Sin embargo, actividades como la construcción, la siembra de otros cíclicos de temporal y las catalogadas como otras, sí se incrementan y en mayor medida lo hace la extracción de recursos naturales.

Los impactos del CC en los medianos productores (columna 5 del cuadro 4) indican que la reducción de los rendimientos del maíz, debida al fenómeno, provoca que la actividad ya no les sea rentable y, por tanto, dejan de realizarla. De manera similar, pero debido a los efectos de equilibrio general, reducen fuertemente la extracción de recursos naturales y abandonan el cultivo del café. El CC también reduce la producción de frijol de temporal, de los cultivos denominados otros cíclicos de temporal, de todos los tipos de ganadería, de los comercios y servicios, de las actividades clasificadas como otras y de la migración interna y hacia EUA. Lo contrario sucede con el cultivo del frijol y de los otros cultivos cíclicos de riego, y de los otros cultivos perennes.

Un caso especial que se debe subrayar, es el efecto del fenómeno en la producción de la caña de azúcar de los medianos productores, la cual incrementa 58 veces. Para explicar este resultado, se debe tener en cuenta que se espera que el escenario de CC simulado suceda en el largo plazo, por lo que es posible que, al abandonar la producción de maíz (debido a la gran caída en su productividad que generará el CC), la economía del hogar se reconfigure y se reasignen los recursos liberados hacia la producción de caña de azúcar. Así, el gran incremento en la actividad anterior es posible, ya que en el año base su producción es pequeña (su valor representa el 1.7% del valor de la producción del maíz del hogar y el .2% del valor de la producción nacional rural), y se espera una gran liberación de factores por el abandono de la producción de maíz (por ejemplo, se liberará más de 73 veces la superficie de tierra propia que el hogar empleó en 2007 en la producción de caña de azúcar).

Los resultados para los grandes productores (columna 6 del cuadro 4) muestran que, como en el caso de los medianos, la producción de maíz de temporal y de café deja de ser rentable para estos hogares, por lo que las abandonan. Lo mismo sucede con el maíz de riego, cuya producción se

reduce casi en su totalidad. La producción de otros cultivos perennes, la de la ganadería mayor, la migración (interna y hacia EUA) y la extracción de recursos naturales, se reduce ligeramente. Por el contrario, la producción de todos los cultivos cíclicos (de riego y temporal), de la ganadería de traspatio y de los comercios y servicios, aumenta, y lo hace —en mayor medida— la de la ganadería equina y la de la caña de azúcar.

De los resultados expuestos hasta ahora, resaltan dos comportamientos interesantes de los hogares rurales ante el CC, que merecen ser explicados. El primero se refiere a la reducción de la migración (interna y hacia EUA) de todos los hogares ante el CC. Resultado que se puede explicar a partir de los efectos de equilibrio general provocados por el fenómeno. En particular, la disminución de la producción de maíz debida a los efectos directos del CC, provoca un efecto sustitución con respecto a otras actividades económicas de los hogares que cultivan el grano, y a su vez, tal efecto incrementa la demanda de mano de obra en la zona rural (en los escenarios de CC siempre se observa un aumento del salario), lo que lleva a una reducción de la migración de todos los hogares.

El segundo comportamiento interesante es el de los hogares de subsistencia, que responden de manera distinta en términos de la extracción de los recursos naturales ante el CC: la aumentan mientras que el resto la disminuyen.³ Antes de explicar dicha conducta, hay que tener en cuenta que la extracción de recursos naturales se realiza esencialmente a partir de trabajo asalariado y familiar, y que el CC incrementa el salario rural y reduce el salario sombra de todos los hogares excepto el de los medianos productores, el cual aumenta. El incremento en el precio de la mano de obra y la asalariada explica el porqué los medianos productores reducen su extracción de recursos naturales. En el caso del resto de los hogares, se debe notar que los de subsistencia tienen una muy alta elasticidad de la producción de dicha actividad, con respecto al trabajo familiar: entre hogares y entre sus propias actividades. Lo que le permite, a diferencia de los grandes productores y de los hogares sin tierra, superar la caída en la extracción de recursos naturales por el aumento del salario rural, e incluso incrementarla al emplear efectivamente su trabajo familiar.

Un punto que se debe aclarar con respecto a la actividad anterior es que, aunque los pequeños productores incrementarán fuertemente la extracción de recursos naturales —en 187% como respuesta al CC—, en el agregado solo aumentará en un 28%, en la zona rural. Si bien el porcentaje es relativamente

3 En la revisión de la literatura realizada, no se encontraron estudios destinados a indagar sobre este tipo de comportamiento en el caso del México rural, lo que sugiere la necesidad de trabajos empíricos que ayuden a cerrar esta brecha.

pequeño, se debe reconocer que el CC puede afectar la disponibilidad de tales recursos, lo que podría implicar que los hogares de subsistencia no puedan extraer tantos recursos naturales como quisieran. No obstante, modelar dicha restricción está fuera del alcance de este estudio.

Finalmente, es importante profundizar en los resultados obtenidos para el caso de la producción de maíz, por la relevancia del grano en términos culturales y alimenticios. Para ello, en el cuadro 5, se analizan los efectos de los distintos escenarios del CC en el superávit o déficit comercial del maíz de los hogares y de la zona rural. Se puede apreciar que, si no se adopta ninguna medida de adaptación ante el CC, el déficit comercial del maíz aumentará en un 22% para los hogares que rentan la tierra y se reducirá en .1% para los no productores agrícolas. Los medianos y grandes propietarios, que inicialmente eran superavitarios, reducirán su superávit comercial en un 205% y 141%. En términos agregados, se tiene que la zona rural de México pasará de ser superavitaria a deficitaria, como producto del CC.

Cuadro 5
Efectos del CC y de su adaptación en el superávit comercial del maíz.

Escenario	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		Zona rural
	Arriendan	No productores	Medianos [2,5] has.	Grandes +5 has.	
Sin adaptación	22.10%	-0.11%	-205.08%	-140.99%	-236.63%
Adaptación tipo I	19.86%	-0.09%	-205.16%	-140.90%	-236.44%
Adaptación tipo II	9.87%	-0.03%	-204.19%	-133.00%	-230.23%

Notas: 1) Los hogares sin tierra agrícola tienen un déficit comercial en 2007, mientras que los medianos y grandes productores son superavitarios. 2) La zona rural de México tiene un superávit comercial.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Escenarios de CC con adaptación

En esta subsección, se analizan las posibles modificaciones a los impactos del CC en la producción, el superávit (o déficit) comercial del maíz y los ingresos, que traería el hecho de adoptar dos tipos de adaptación al fenómeno: una de bajo costo, denominada tipo I, y la otra llamada tipo II, que implica costos sustanciales.

El cuadro 3 indica que la adaptación tipo I reduce ligeramente los impactos negativos que el CC tiene en los ingresos de los medianos y grandes productores, y lo hace en mayor medida en el caso de los pequeños productores. No obstante, esta adaptación reduce los beneficios que el CC

trae a los hogares sin tierra; aunque se debe tener en cuenta que dichos cambios son pequeños y nunca superan los 0.2 puntos porcentuales (p.p). En el agregado, llevar a cabo la adaptación tipo I, reduce los impactos negativos del CC sobre el ingreso real rural en 0.27 p.p.

En comparación con la adaptación anterior, la tipo II modifica en mayor medida los impactos del CC en los ingresos reales. En el nivel México rural, esta adaptación reduce el efecto negativo del fenómeno en dicha variable, en 2.13 p.p., y en 7.72, 0.34 y 0.49 p.p., correspondiente a los pequeños, medianos y grandes productores. No obstante, reduce en 0.15 y 0.45 p.p, los beneficios que el CC le traería a los hogares que arriendan la tierra y a los no-productores agrícolas.

Después de comparar el cuadro 4 y el cuadro 6, el cual contiene los efectos del CC en la producción de los hogares al considerar la adaptación tipo I, se puede apreciar que para los productores agrícolas sin tierra, esta adaptación no tiene efectos significativos sobre los impactos del CC, salvo para el caso de la producción de maíz (de riego y temporal), que aumenta en 5 p.p. De igual manera, la producción de los hogares no-productores agrícolas no cambia sustancialmente al emplear dicho tipo de adaptación.

Para los pequeños productores propietarios, la adaptación tipo I solo afecta de manera importante a la producción de frijol de temporal, de otros cíclicos de riego, de maíz de riego y a la extracción de recursos naturales, pues en los primeros dos casos reduce la caída provocada por el CC en 7 y 6 p.p., y en los últimos dos, reduce y amplifica, respectivamente, en 15 y 6 p.p., los beneficios generados por el fenómeno. En el caso de los medianos productores propietarios, sólo hay cambios sustanciales en su producción de caña de azúcar (aumenta en 9.2 p.p, con respecto al escenario sin adaptación), mientras que la producción de los grandes productores propietarios no se modifica significativamente.

Con respecto a la adaptación tipo II, los cuadros 4 y 7 muestran que el considerarla no afecta sustancialmente los impactos del CC en la producción de los hogares no-productores agrícolas ni de los medianos productores propietarios, salvo para el caso de la producción de caña de azúcar realizada por los segundos (se reduce en 7.2 p.p.).

Cuadro 6
Efectos del CC sobre la producción de los hogares rurales, al considerar la adaptación tipo I

Actividad	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		
	Arriendan	No productores	Subsistencia [0,2) has.	Medianos [2,5) has.	Grandes +5 has.
Maíz de temporal	-58.02%		-37.21%	-100.00%	-100.00%
Maíz de riego	-51.02%		50.00%	-100.00%	-99.46%
Frijol de temporal	59.29%		-26.62%	-32.26%	0.89%
Frijol de riego			-3.36%	29.18%	1.47%
Otros cíclicos de temporal	60.02%		10.69%	-23.10%	5.80%
Otros cíclicos de riego	0.00%		-23.61%	26.03%	49.15%
Café			-100.00%	-100.00%	-100.00%
Caña de azúcar			-95.37%	5806.96%	637.44%
Otros cultivos perennes	-0.30%		-1.34%	19.76%	-4.71%
Ganadería mayor	-0.40%		-98.38%	-13.92%	-0.18%
Ganadería de traspato	1.86%		-100.00%	-21.02%	14.70%
Ganadería equina	3.17%		-97.36%	-53.96%	137.31%
Construcción	-0.60%	0.39%	2.06%		
Comercios y servicios	3.08%	-0.09%	-100.00%	-12.66%	1.14%
Recursos naturales	-2.06%	-0.92%	193.78%	-99.12%	-0.42%
Otras actividades	-4.80%	-3.11%	4.20%	-33.57%	
Migración doméstica	-0.07%	-0.37%	-0.02%	-0.24%	-0.33%
Migración a USA	-0.24%	-0.20%	-0.05%	-0.16%	-0.10%

Nota: Un espacio en blanco significa que el hogar en cuestión no realiza dicha actividad.

Fuente: Elaboración propia.

Además, la adaptación tipo II reduce la caída de la producción de maíz de temporal y de riego de los hogares que rentan la tierra en 32.9 y 29.8 p.p. Y, contrario a lo anterior, disminuye el incremento de su producción de temporal de frijol y de “otros cíclicos” en 17.7 y 18.9 p.p. Para el resto de las actividades del hogar, la adaptación no causa efectos sustanciales en los impactos que el CC tiene en su producción.

Los resultados correspondientes a los pequeños productores propietarios indican que la adaptación tipo II reduce sustancialmente los impactos negativos del CC en su producción, excepto para la del frijol de riego y la de la migración (interna y hacia EUA), en cuyos casos se mantiene relativamente igual. En cuanto a las actividades que se estimulan por el CC, se observa que este tipo de adaptación reduce ligeramente su crecimiento y lo hace, en gran medida solo para la extracción de recursos naturales y la producción de maíz de riego.

Cuadro 7
Efectos del CC sobre la producción de los hogares rurales, al considerar la adaptación tipo II.

Actividad	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		
	Arriendan	No productores	Subsistencia [0,2) has.	Medianos [2,5) has.	Grandes +5 has.
Maíz de temporal	-30.26%		-18.59%	-99.91%	-97.70%
Maíz de riego	-26.06%		9.24%	-98.90%	-85.66%
Frijol de temporal	40.45%		-3.26%	-31.04%	0.90%
Frijol de riego			-0.17%	30.59%	1.33%
Otros cíclicos de temporal	40.40%		8.66%	-20.99%	5.86%
Otros cíclicos de riego	0.00%		-3.62%	29.72%	48.88%
Café			18.98%	-100.00%	-100.00%
Caña de azúcar			-29.78%	5790.59%	607.08%
Otros cultivos perennes	0.07%		2.39%	21.75%	0.84%
Ganadería mayor	0.07%		-67.54%	-13.24%	0.17%
Ganadería de traspatio	0.74%		-93.77%	-21.91%	8.13%
Ganadería equina	1.89%		-60.49%	-55.87%	124.42%
Construcción	-0.22%	0.15%	1.05%		
Comercios y servicios	1.22%	-0.03%	-85.48%	-13.18%	0.66%
Recursos naturales	-0.76%	-0.34%	152.11%	-99.12%	-0.09%
Otras actividades	-1.81%	-1.17%	2.12%	-34.87%	
Migración doméstica	-0.03%	-0.14%	-0.01%	-0.09%	-0.12%
Migración a USA	-0.09%	-0.07%	-0.02%	-0.06%	-0.04%

Nota: Un espacio en blanco significa que el hogar en cuestión no realiza dicha actividad.

Fuente: Elaboración propia.

Para los grandes productores propietarios, la adaptación tipo II modifica ligeramente los efectos del CC en su producción. La excepción se da para el cultivo de maíz de riego y de los otros perennes, en cuyos casos se reducen en 14.1 y 7.9 p.p., los impactos negativos del CC, y para la producción de caña de azúcar, y la de la ganadería de traspatio y la equina, para las cuales la adaptación tipo II disminuye los posibles beneficios generados por el CC en 29.4, 9.4 y 9.7 p.p., respectivamente.

Finalmente, en el cuadro 5, se puede apreciar que la adaptación tipo I no modifica sustancialmente los efectos del CC, en los déficits o superávits comerciales del maíz, específicamente para el nivel hogar o zona rural. Lo contrario sucede cuando se adoptan medidas de adaptación tipo II, en cuyo caso, se reducen en 6.4 p.p., los efectos negativos que el CC tiene sobre el superávit comercial del maíz de la zona rural. Resultado que se debe principalmente a la caída en el déficit comercial de los hogares que arriendan la tierra y de los grandes productores propietarios, ya que los efectos de dicha adaptación al CC, en el resto de los hogares, son despreciables.

5. Discusión de los resultados

Los resultados sobre los efectos del cambio climático (CC) y de sus medidas de adaptación expuestos en la sección anterior, tienen relevantes implicaciones en términos de la desigualdad, la explotación de los recursos naturales y la seguridad alimentaria, como se muestra a continuación.

En primer lugar, los impactos del CC en los ingresos reales de los hogares muestran que el fenómeno tendrá efectos ambiguos sobre la desigualdad económica de la zona rural. Por un lado, el CC la reducirá, ya que aumentará los ingresos reales de los hogares sin tierra, que en 2007 tenían los menores ingresos per cápita: el de los hogares que la rentan era de \$8,520.68 y el de los que no producen bienes agrícolas fue de \$7,433.07. Por otro lado, el fenómeno disminuirá los ingresos reales de los hogares más ricos que son los pequeños, medianos y grandes productores propietarios, que en el año base tenían un ingreso per cápita de \$10,605.3, \$19,903.05 y \$ 23,054.75, respectivamente. No obstante, dicha reducción podría aumentar o reducir la desigualdad ya que esta será menor para los grandes productores que son los que poseen los mayores ingresos per cápita. Además, según se observa en el cuadro 3, adoptar cualquiera de las dos medidas de adaptación consideradas, no modificará el patrón observado.

Otros resultados, que se desprenden de analizar los efectos del CC en los ingresos, son los siguientes tres. Primero, se observa que existe una relación positiva entre la intensidad de la adaptación y la reducción de los impactos negativos del CC en el ingreso real de la zona rural: a mayor adaptación, mayores reducciones de dichos impactos. Segundo, los efectos de equilibrio general provocados por las medidas de adaptación son regresivos, ya que reducen los efectos negativos del CC en los ingresos reales de los hogares más ricos (los propietarios de tierra agrícola), pero también disminuyen los posibles beneficios que dicho fenómeno les traería a los más pobres (los no propietarios), y más aún, dicho patrón se acentúa con la intensificación de la adaptación. La disminución de los ingresos reales de los hogares más pobres, se puede explicar a partir del aumento de renta de la tierra y de la reducción del salario, derivados de la adopción de las medidas de adaptación. El aumento de la renta de la tierra, reduce los beneficios de los hogares que realizan actividades agrícolas a partir de tierra rentada, y la reducción del salario disminuye los ingresos salariales de los hogares que no producen actividades agrícolas, las cuales son su principal fuente de ingresos. Tercero, se observa que ninguna de las dos medidas de adaptación estudiadas, logrará revertir totalmente los impactos negativos que el CC podría tener sobre el ingreso real de la zona rural.

Por otro lado, los resultados encontrados correspondientes a la producción maicera son alarmantes, ya que muestran que el CC podría hacer que el cultivo del grano ya no sea rentable en la zona rural, por lo que su producción será abandonada casi en su totalidad, al grado de que dicha zona pasará de ser superavitaria a deficitaria. Lo que tendrá implicaciones importantes en términos de seguridad alimentaria, ya que el maíz es un cultivo básico en la alimentación de los mexicanos y el acceso a él dependerá totalmente de la oferta extranjera.

Otro efecto de la reducción de la producción del maíz debida al CC, es que los hogares movilizarán los factores de producción que previamente empleaban en tal cultivo hacia actividades más rentables, lo que generará impactos negativos en el medio ambiente, ya que como se muestra en el cuadro 4, la extracción de recursos naturales por parte de los pequeños productores aumentará sustancialmente, y tal aumento no se verá afectado de forma importante debido a la reducción de dicha actividad por parte del resto de los hogares: en el agregado, la extracción de recursos naturales aumentará un 28%.⁴

Los dos párrafos anteriores muestran la importancia de adoptar medidas de adaptación al CC, para reducir los efectos negativos del fenómeno en la seguridad alimentaria y el deterioro de los recursos naturales; no obstante, los resultados correspondientes a las adaptaciones simuladas, sugieren que los gastos necesarios, para llevar a cabo medidas de adaptaciones eficaces, deberán ser significativos para que puedan tener un impacto sustancial.

Por último, se debe resaltar la importancia que tendrán los pequeños productores en la seguridad alimentaria, ya que aunque el CC reducirá en 41% los rendimientos del maíz, volviendo no rentable su siembra para algunos hogares, la producción realizada por parte de los pequeños productores no se reducirá significativamente: caerá la de temporal en 41.32% y aumentará la de riego en 65.02%.

Conclusiones

En este artículo, se analizaron los posibles impactos del cambio climático (CC) y de sus medidas de adaptación en el superávit/déficit comercial del maíz, en la producción y los ingresos reales de los hogares establecidos en la zona rural de México, a partir de un Modelo de Equilibrio General Aplicado

4 En 2007, la producción debida a la extracción de los recursos naturales, por parte de los hogares que rentan la tierra, era de \$4,898,795,963.98 y la de los no-productores agrícolas, de \$7,783,378,719.48. La correspondiente a los pequeños, medianos y grandes propietarios era de \$3,707,526,467.75, \$922,236,959.50, \$3,944,613,146.73, respectivamente.

y Microeconómico (MEGAM) y de las estimaciones directas de los efectos del CC en los rendimientos del maíz.

El análisis realizado es relevante, ya que muestra cómo el fenómeno afectará a la economía de los hogares rurales de México y cómo algunas medidas de adaptación modificarán tales efectos. Además, desde una perspectiva metodológica, el MEGAM empleado es una gran mejora a sus predecesores, ya que en él se modelan de manera conjunta las fallas en el mercado del maíz y del trabajo familiar, que llevan a algunos hogares a cultivar el grano solamente para su autoconsumo y a sufrir de desempleo, lo que permite modelar de manera más precisa a la zona rural de países en desarrollo.

Los resultados encontrados muestran que el cambio climático afectará el ingreso real de la zona rural de México, reduciéndolo en 6.23%, y señalan que afectará en mayor medida a la producción de maíz, a tal grado, que la zona pasará de ser superavitaria a deficitaria. Lo anterior es alarmante, puesto que tendrá consecuencias negativas en la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales. También, los resultados hallados indican que si bien las medidas de adaptación analizadas ayudarán a reducir los efectos negativos del fenómeno, estas no los mitigarán totalmente.

Finalmente, se debe mencionar que como en la mayoría de las investigaciones, la presente tiene limitaciones y, entre ellas, cabe mencionar dos. Primero, se asumió que los efectos directos del CC y de sus medidas de adaptación en los rendimientos del maíz, son los mismos para todo el país, sin embargo, debido a las diferencias agroecológicas se esperaría que estos varíen significativamente a lo largo del territorio mexicano. La principal implicación de tal asunción es que los resultados obtenidos podrían estar sesgados, aunque debido a la complejidad de los efectos de equilibrio general es complicado identificar a priori el sentido del sesgo, es decir, si es negativo o positivo. Lo anterior muestra la necesidad de realizar estimaciones directas del cambio climático (y de sus medidas de adaptación) en los rendimientos de los cultivos, más detalladas, con el propósito de obtener investigaciones y propuestas de políticas públicas más precisas.

Segundo, el MEGAM que se empleó en la investigación, clasificó a los hogares en cinco tipos o categorías, y aunque es una mejora importante a los modelos de equilibrio general, ya que permite modelar fallas en el mercado del maíz, tal clasificación impide considerar la heterogeneidad existente entre los hogares del mismo tipo con respecto a su consumo, producción y generación de ingresos. Una posible solución a dicha limitación es modelar a cada uno de los agentes rurales en el MEGAM, lo que podría dar resultados más realistas y permitir analizar puntualmente los efectos del CC en la pobreza y la desigualdad, algo faltante en la literatura del tema.

Referencias

- [1] Ahmed, S. A., Diffenbaugh, N. S., & Hertel, T. W. (2009). "Climate volatility deepens poverty vulnerability in developing countries". *Environmental Research Letters*, 4(3), 034004.
- [2] Arslan, A., & Taylor, J. E. (2009). "Farmers' subjective valuation of subsistence crops: The case of traditional maize in Mexico". *American Journal of Agricultural Economics*, 91(4), 956-972.
- [3] Döll, S. (2009). "Climate change impacts in computable general equilibrium models: An overview". HWWI Research Paper.
- [4] Dowsell, C. R., Paliwal, R. L., & Cantrell, R. P. (1996). "Maize in the third world". Westview Press.
- [5] Fernandes, E., Soliman, A., Confalonieri, R., Donatelli, M., & Tubiello, F. (2012). "Climate Change and Agriculture in Latin America, 2020-2050: Projected Impacts and Response to Adaptation Strategies". Washington, DC: World Bank.
- [6] Galindo, L. M., Alatorre, J. E., & Reyes, O. (2015). "Adaptación al cambio climático a través de la elección de cultivos en Perú". *El Trimestre Económico*, 82(327), 489-519.
- [7] Gay, C., Estrada, F., Conde, C., Eakin, H., & Villers, L. (2006). "Potential impacts of climate change on agriculture: A case of study of coffee production in Veracruz, Mexico". *Climatic Change*, 79(3-4), 259-288.
- [8] Hernández-Solano, A. (2015). "Pobreza y cambio climático: El caso de México" (Tesis doctoral). El Colegio de México, D.F., México.
- [9] Hernández-Solano, A., Ávila Foucat, S., and Dyer, G. A. (2018). "Estimating Shadow Prices in Economies with Multiple Market Failures". *Working paper*.
- [10] Hertel, T. W., Burke, M. B., & Lobell, D. B. (2010). "The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030". *Global Environmental Change*, 20(4), 577-585.
- [11] Jessoe, K., Manning, D., & Taylor, J. E. (2014). "Climate Change and Labor Markets in Rural Mexico: Evidence from Annual Fluctuations in Weather". Agricultural & Applied Economics Association's 2014 AAEA Annual Meeting. Minneapolis, Minnesota.
- [12] Lopez-Feldman, A. (2013). "Climate Change, Agriculture and Poverty: A Household Level Analysis for Rural Mexico". *Economics Bulletin*, 33(2), 1126-1139.
- [13] Medellín-Azuara, J., Howitt, R. E. & Lund, J. R. (2011). "Hydro-economic Modeling to Assess Climate Impact and Adaptation for Agriculture in California". *Handbook on climate change and agriculture*, 342-354.
- [14] Mendelsohn, R., Arellano-Gonzalez, J., & Christensen, P. (2010). "A Ricardian analysis of Mexican farms". *Environment and Development Economics*, 15(02), 153-171.
- [15] Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D., & Shaw, D. (1994). "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis". *The American Economic Review*, 84(4), 753-771.
- [16] Meza-Pale, P., & Yúnez-Naude, A. (2015). "The Effect of Rainfall Variation on Agricultural Households: Evidence from Mexico". In 29th International Conference of Agricultural Economists, Milan.

- [17] Mideksa, T. K. (2010). "Economic and distributional impacts of climate change: The case of Ethiopia".
- [18] IFPRI (2009). "Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation". International Food Policy Research Institute: Washington, D.C.
- [19] Robinson, S., and El-Said, M. (2000). "GAMS code for estimating a social accounting matrix (SAM) using cross entropy methods (CE)". *International Food Policy Research Institute (IFPRI), Discussion Paper No. 64*.
- [20] Rosenzweig, C., & Iglesias, A. (2000). "Potential Impacts of Climate Change on World Food Supply, v1 (1995–2110)". Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. Available at <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/crop-climate-potential-impacts-world-food-supply>
- [21] Seo, S. N., & Mendelsohn, R. (2008). "Measuring impacts and adaptations to climate change: a structural Ricardian model of African livestock management". *Agricultural economics*, 38(2), 151-165.
- [22] Taylor, J. E., & Dyer, G. A. (2009). "Migration and the sending economy: a disaggregated rural economy-wide analysis". *The Journal of Development Studies*, 45(6), 966-989.
- [23] Taylor, J. E., Dyer, G. A., & Yúnez-Naude, A. (2005). "Disaggregated rural economywide models for policy analysis". *World Development*, 33(10), 1671-1688.
- [24] Yunez-Naude, A., & Rojas-Castro, L. G. (2008). Perspectivas de la agricultura ante reducciones en la disponibilidad de agua para riego: Un enfoque equilibrio general. Guerrero García Rojas, H. R., Yunez-Naude, A., & Medellín-Azuara, J. (Coord.), *El agua en México: Consecuencias de las políticas de intervención en el sector* (pp. 183-211). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica (FCE).